

Kalibrierung und Genauigkeitsuntersuchungen
zur neuen Hydrosweep DS-3 Anlage auf FS Polarstern

Bachelorarbeit



HafenCity Universität Hamburg

Studiengang Geomatik

Geodätisches Labor und Labor für Hydrographie

Eingereicht von: Patricia Slabon

Matrikel-Nr.: 3010390

Geboren am: 10.04.1989, Hamburg

Betreuung: Prof. Dr. Delf Egge

Hon. Prof. Dr. Hans Werner Schenke

Eingereicht am: 4. August 2011

Calibration and accuracy investigations
of the new Hydrosweep DS-3 System on RV Polarstern

Bachelor Thesis

Erklärung (§23(4) PSO)

Ich versichere, dass ich diese Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angaben der Quellen kenntlich gemacht.

Bremerhaven, 3. August 2011

(Patricia Slabon)

Inhalt

Abbildungsverzeichnis:	VI
Tabellen-Verzeichnis	VIII
Abstract	X
Zusammenfassung.....	XI
1. Einleitung.....	1
2. Das Forschungsschiff Polarstern	2
3. Die Tiefseefächerlotanlage Hydrosweep DS-3	3
4. Grundlagen der Kalibrierung.....	6
4.1. Kalibrierung der Time Latency	8
4.2. Kalibrierung des Pitch-Fehlers.....	10
4.3. Kalibrierung des Heading-Bias.....	12
4.4. Kalibrierung des Roll-Bias.....	14
4.5. Einmessung	15
5. Durchführung der Kalibrierung	16
5.1. Schallprofilbestimmung	18
5.2. Editieren der Daten als Grundlage für die Kalibrierung	19
5.2.1. Editieren in HYPACK	21
5.2.2. Editieren in CARIS.....	25
5.3. Kalibrierung mit HYPACK.....	28
5.3.1. Time Latency	29
5.3.2. Pitch.....	30
5.3.3. Heading	30
5.3.4. Roll.....	31
5.3.5. Pitch (Romanche-Bruchzone).....	31
5.4. Kalibrierung mit CARIS	33
5.4.1. Time Latency	36
5.4.2. Pitch.....	36
5.4.3. Heading	37
5.4.4. Roll.....	38
5.4.5. Kritische Beurteilung der Durchführung der Kalibrierung	39
6. Genauigkeitsanalysen.....	44

6.1.	Qualitätskontrolle	44
6.1.1.	QC-Test in CARIS HIPS	46
6.1.2.	Beam Angle Test in HYPACK	48
6.1.3.	Surface Difference in Fledermaus	51
6.1.4.	Kritische Beurteilung der Qualitätskontrolle	52
6.2.	Vergleich zu früheren Messungen mit DS-1 oder DS-2	53
6.2.1.	Lokation 2b	53
6.2.2.	Romanche Fracture Zone	55
6.2.3.	Fazit aus dem Vergleich zu früheren Messungen	57
6.3.	Vergleich der EIVA- und HYPACK-Daten	58
7.	Schlussfolgerungen und Ausblick	62
I	Anhang A	I
I.1	Daten-Übersicht	I
I.2	Kalibrierergebnisse	V
I.3	QC Test - Ergebnisse	XX
I.3.1	CARIS QC-Test	XX
I.3.2	HYPACK	XXIV
I.3.3	Fledermaus Surface Statistics	XXV
I.4	Vergleiche - Fledermaus Surface Statistics	XXVII
II	Anhang B	XXXII
II.1	Screenshots	XXXII
II.1.1	Kalibrierung HYPACK	XXXIII
II.1.2	Kalibrierung CARIS	XXXVIII
II.1.3	QC-Test	XLV
II.1.4	Lokation 2b	XLV
II.1.5	Romanche-Bruchzone	XLVI
II.1.6	EIVA-HYPACK in Fledermaus	XLVII
	Danksagung	XLIX

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 2.1: FS Polarstern (Koch, 2010).....	2
Abb. 3.1: Hydrosweep DS Fächerecholot auf FS Meteor analog zu FS Polarstern (ACT, 2011).....	4
Abb. 4.1: Darstellung der Schiffsbewegungen.	6
Abb. 4.2: Der Time Latency-Offset bewirkt eine zeitverzögerte Zuordnung der Tiefe zu einer Position (Mann, 1998).....	8
Abb. 4.3: Der Pitch-Offset bewirkt die Zuordnung einer falschen Tiefe zu einer bestimmten Position (Godin A. , 1996).....	10
Abb. 4.4: Das Hindernis wird beim Heading-Offset einer anderen Position zugewiesen, da der Swath um diesen Winkel zur Schiffsquerachse verdreht ist (Godin A. , 1996).	12
Abb. 4.5: Die Tiefen werden, aufgrund des schräg eingebauten Wandlers, beim Roll Offset mit dem IST-Winkel aufgezeichnet und dem SOLL-Winkel zugewiesen, sodass der Meeresboden um diesen Winkel falsch dargestellt wird (Godin A. , 1996).....	14
Abb. 5.1: Wasserschallgeschwindigkeitsprofile der Stationen PS77/0002-1 vom 28.10.10 (in violett), PS77/0005-1 vom 29.10.2010 (in rot) und PS77/0011-2 vom 13.11.10 (in grün) (AWI, 2010b)	18
Abb. 5.2: Editieren mithilfe der Querschnitts-Darstellung „By Rows“	21
Abb. 5.3: Zwischenstand des Editierens am Beispiel der QC-Fläche. Im oberen Bereich sind die hochgebogenen Beams bereits editiert, im unteren Teil hingegen noch deutlich sichtbar	22
Abb. 5.4: Screenshot der *.HSX-Daten in der HYPACK-Main Shell, mit dem 3°-Fehler, der die Daten auf das Festland Frankreichs verschoben hat.....	23
Abb. 5.5: Im Side, Profile und Rear View des CARIS HIPS Swath Editors sind die übersteuerten Nadir - und die systematisch verfälschten Außenbeams deutlich zu erkennen.....	26
Abb. 5.6: Der „Plan View“ des Fächers im Swath Editor stellt die gemessenen Daten des gefahrenen Tracks als Draufsicht dar.	26
Abb. 5.7: Screenshot des Patch Test Windows von HYPACK am Beispiel der Rollkalibrierung.	28
Abb. 5.8: Die um ca. 900 m versetzten Heading-Profile sind für die Kalibrierung mit HYPACK nicht nutzbar, da sie aus derselben Richtung befahren wurden. Die Auswirkung des Heading-Bias wird durch den Versatz in den Daten sichtbar.	31
Abb. 5.9: Field Sheet zur Roll-Feinkalibrierung mit BASE Surface-Darstellung	34
Abb. 5.10: Kalibrierwerkzeug „Calibration“ in CARIS HIPS.....	34
Abb. 5.11: Darstellung des Querprofils des selektierten Bereichs (gelbe Markierung) zur Kalibrierung eines Pitch-Profiles.....	35
Abb. 5.12: Darstellung des Kalibriertools zur Einstellung der Korrekturwerte für die jeweiligen Offsets	36
Abb. 5.13: Überlappung zweier Latency Profile zur Bestimmung der Offsets.	36
Abb. 5.14: Pitch Kalibrierfenster mit leicht seitlich versetztem Auswahlfenster, um den übersteuerten Nadirbereich zu meiden.....	37
Abb. 5.15: In CARIS konnte der in HYPACK detektierte 900 m-Versatz nicht reproduziert werden.	38
Abb. 5.16: Darstellung der gut übereinander gelegten Profile zur Bestimmung des Roll-Offsets.	38
Abb. 5.17: In den überlagerten Heading-Profilen, der Base Surface-Standardabweichungs-darstellung von CARIS, scheint ein erheblicher Rollfehler vorzuliegen!.....	41
Abb. 6.1: Übersicht der Profile des QC-Tests inklusive der Kontrollprofile (rot). Die Kantenlänge der Referenzfläche (schwarz) beträgt etwa 17 km. Damit wird eine Fläche von ca. 290 km ² aufgespannt, deren mittlere Tiefe bei etwa 4500 m liegt.....	44
Abb. 6.2: Einstellungen für den QC-Test nach der Beam-Anzahl.	46
Abb. 6.3: Darstellung des CARIS Worksheets mit den Ergebnissen des QC-Tests in Tabellenform.....	47
Abb. 6.4: Darstellung der von den Ausstrahlwinkeln abhängigen Tiefen im Bereich des 95%-Konfidenzintervalls.	48

Abb. 6.5: Darstellung der von den Ausstrahlwinkeln abhängigen Tiefen im Bereich des 95%- Konfidenzintervalls, für Tiefen, die nicht mit den Grenzwerten der Ausstrahlwinkel erfasst wurden.	49
Abb. 6.6: Details der Statistikauswertung mit dem nicht aussagekräftigen Histogramm.	50
Abb. 6.7: "Lokation 2b" aus editierten Daten von ANT-XXVII/1.....	54
Abb. 6.8: Darstellung der Romanche Fracture Zone als BASE Surface in CARIS.....	55
Abb. 6.9: Histogramm der Verteilung der verschiedenen starken Tiefenänderungen der Differenzfläche aus ANT- XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich der Romanche-Bruchzone mit entsprechender Farbskalierung.....	56
Abb. 6.10: Anhand des Screenshot aus Fledermaus sind die Abweichungen der verschieden eingefärbten Grids zu erkennen.....	59
Abb. 6.11: Das über der Farbskala gelegene Histogramm der Differenzfläche zwischen EIVA und HYPACK stellt die ungleichmäßige Verteilung der Tiefenabweichungen dar.	60
Abb. I.1: Übersicht der Daten der Kalibrierung in der Biskaya (AWI, 2010b).....	I
Abb. I.2: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 0026 und der Referenzfläche.	XXV
Abb. I.3: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 0138 und der Referenzfläche.	XXV
Abb. I.4: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 2152 und der Referenzfläche.	XXVI
Abb. I.5: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 2255 und der Referenzfläche.	XXVI
Abb. I.6: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XV/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.	XXVII
Abb. I.7: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXIII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.	XXVII
Abb. I.8: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXIII/1 und ANT-XV/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.	XXVIII
Abb. I.9: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.	XXVIII
Abb. I.10: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-XV/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.	XXIX
Abb. I.11: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-XXIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.....	XXIX
Abb. I.12: Flächenstatistik zur Differenzfläche zwischen den Daten von ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich der Romanche-Rinne.....	XXX
Abb. I.13: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus EIVA – HYPACK.	XXXI
Abb. I.14: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus HYPACK - EIVA.....	XXXI
Abb. II.1: Time Latency-Profile in HYPACK.	XXXIII
Abb. II.2: Time Latency-Profile mit Trimble gefahren – Ergebnis 0,5° bei einer Wassertiefe von 500 m bis 750 m.	XXXIV
Abb. II.3: Pitch - Kalibrierprofile in HYPACK.	XXXV
Abb. II.4: Pitch Kalibrierung, bei Angle Step 1 keine Justierung nötig.....	XXXV
Abb. II.5: Die um ca, 900 m versetzten Heading-Profile sind für die Kalibrierung mit HYPACK nicht nutzbar, da sie aus derselben Richtung befahren wurden, Die Auswirkung des Heading-Offsets wird durch den Versatz in den Daten sichtbar.....	XXXVI
Abb. II.6: Aufgrund der geringen Übereinstimmungen der Daten, durch den 900 m-Versatz, kann die Heading- Kalibrierung, für MINS 1 sowie MINS 2, nicht durchgeführt werden.	XXXVI
Abb. II.7: Roll-Kalibrierprofil.....	XXXVII
Abb. II.8: Der Roll-Offset liegt bei -0,2° bei einem Angle Step von 0,05.....	XXXVII
Abb. II.9: Tiefendarstellung aller vier Latency-Profile zusammen in CARIS.....	XXXVIII
Abb. II.10: Latency-Kalibrierung, Profile mit der MINS gefahren – Endergebnis 0,0s.....	XXXVIII
Abb. II.11: Tiefendarstellung aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.	XXXIX

Abb. II.12: Pitch-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren, Flachwasser – Ergebnis 1,0° bei einer Wassertiefe von 800 m bis 1200 m.....	XXXIX
Abb. II.13: Pitch-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 2 gefahren – Ergebnis: 0,3° im Tiefseebereich von 900 m bis 1200 m.....	XL
Abb. II.14: Tiefendarstellung aller Heading-Kalibrierprofile zusammen in CARIS: Field Sheet – Base Surface, hier ist kein 900 m-Horizontalversatz erkennbar, lediglich ein Rollversatz.	XLI
Abb. II.15: Darstellung der Standardabweichungen aller Heading-Kalibrierprofile zusammen in CARIS.	XLI
Abb. II.16: Heading-Kalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis: 0,0° bei Wassertiefen von 800 m bis 1200 m.....	XLII
Abb. II.17: Heading-Kalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis: 0,0° bei einer Wassertiefe von 1000 m bis 2000 m.....	XLII
Abb. II.18: Tiefendarstellung aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.	XLIII
Abb. II.19: Darstellung der Standardabweichungen aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.....	XLIII
Abb. II.20: Roll-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis -0,2.....	XLIV
Abb. II.21: Roll-Feinkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Endergebnis: 0,0°.....	XLIV
Abb. II.22: In Fledermaus ist sichtbar, dass die mit HS DS-3 gemessenen Flächen, abgesehen von den starken Ausreißern der Außenbeams, mit den vorangegangenen Messung gut zusammen passen.	XLV
Abb. II.23: Darstellung der Daten der Romanche-Bruchzone in CARIS BASE Surface.	XLVI
Abb. II.24: Darstellung der Daten der Romanche-Bruchzone in Fledermaus mit einer sechsfachen Überhöhung und der resultierende Surface Difference Fläche.	XLVI
Abb. II.25: Abweichungen zwischen EIVA und HYPACK in der Tiefsee.	XLVII
Abb. II.26: Darstellung der Daten in Fledermaus. Die unteren Daten sind die eigentlichen EIVA und HYPACK-Daten, während die bunt gefärbte Fläche die Differenzfläche mit den Höhenunterschieden durch die Abweichungen darstellt.	XLVIII

Tabellen-Verzeichnis

Tabelle 1: Systemparameter des Fächerecholotsystems Hydrosweep DS-3 auf Polarstern.	3
Tabelle 2: Vergleich der Kalibrierreihenfolgen und Vorgaben	7
Tabelle 3: Aus CARIS und HYPACK ermittelte und festgelegte Werte nach der Kalibrierauswertung (2011) (Mittel der plausiblen Werte genutzt):	39
Tabelle 4: In das System eingetragene Werte aus der Kalibrierung (28./29.10.2010):	40
Tabelle 5: Jeweils im Vergleich mit der Referenzfläche (siehe I.3.3 Anhang A).	51
Tabelle 6: Vergleich der Statistikwerte aus den Flächendifferenzen zwischen den Tiefen aus ANT-XXVII/1 mit älteren Messungen	54
Tabelle 7: Statistikwerte aus den Flächendifferenzen zwischen den Tiefen aus ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 in der Romanche-Bruchzone	55
Tabelle 8: Statistikwerte aus der Flächendifferenz zwischen EIVA und HYPACK	59
Tabelle 9: Kalibrierergebnisse von ANT-XXVII/1 von Bord mit HYPACK (28./29.10.2010) (Interne Informationen F. Niederjasper).	V
Tabelle 10: Kalibrierergebnisse von ANT-XXVII/1 von Bord mit CARIS HIPS (28./29.10.2010) (Interne Informationen F. Niederjasper).	V
Tabelle 11: Endergebnis der gemittelten HYPACK -Ergebnisse (2011).	V
Tabelle 12: Endergebnis der gemittelten CARIS Ergebnisse (unter Ausschluss unplausibler Werte) (2011). ..	VI
Tabelle 13: Ergebnisse für HYPACK	VI
Tabelle 14: Ergebnisse für CARIS	VII
Tabelle 15: Informationen über die jeweiligen Daten	VII

<i>Tabelle 16: Übersicht der ausführlichen Kalibrierergebnisse im Bereich der Romanche Bruchzone - hier mit HYPACK</i>	VIII
<i>Tabelle 17: Kalibrierung Pitch im Bereich der Romanche - Bruchzone mit CARIS</i>	XI
<i>Tabelle 18: Kalibrierung mit CARIS: 29072011, mit UTM, WGS-84, Zone 30N</i>	XI
<i>Tabelle 19: Ergebnisse "Patch Test edited"</i>	XII
<i>Tabelle 20: Kalibrierte Werte "Patch Test unedit"</i>	XIII
<i>Tabelle 21: Kalibrierung HYPACK 28072011</i>	XIV
<i>Tabelle 22: Checkline 0026</i>	XX
<i>Tabelle 23: Checkline 0138</i>	XX
<i>Tabelle 24: Checkline 2152</i>	XX
<i>Tabelle 25: Checkline 2255</i>	XXI
<i>Tabelle 26: Checkline 0026</i>	XXII
<i>Tabelle 27: Checkline 0138</i>	XXII
<i>Tabelle 28: Checkline 2152</i>	XXIII
<i>Tabelle 29: Checkline 2255</i>	XXIII

Abstract

Abstract

This thesis deals with the calibration of the in autumn 2010 modified Multibeam Echosounder System Hydrosweep DS-3 from ATLAS Hydrographic, on Research Vessel Polarstern. The calibration of the entire system was carried out on expedition ANT-XXVII/1 in the Bay of Biscay.

The calibration is the primary process to guarantee the correct measurement of data and has to be accomplished carefully. The offsets and biases, due to inexact mounting of transducer and motion sensor, have to be detected and applied in the system. Subsequently, these values can be verified by specific tests and relations to earlier measurements.

For parameter determination and calculation the corresponding tools of the software HYPACK 2010 and CARIS 6.1 were used. At the conduct of the calibration, the problems of both programs, with regard to the deep sea, become apparent.

During the calibration on board, a few errors and uncertainties concerning the interface between the control-software of the HYDROSWEEP system from ATLAS and the software HYPACK occurred, which were presented and corrected if applicable. Those uncertainties may have influence on the measurement results and have to be resolved by the responsible companies.

The investigation of correctness of calibration and the analysis of the quality control give information on the usability of the Hydrosweep DS - Echosounder for succeeding measurements. The results of the quality control by several different processing software programs used, can be compared, depending the accuracy.

In case of incorrect calibration values, the calibration has immediately to be rerun to eliminate the constant systematic errors and to avoid a laborious postprocessing.

The relation of Hydrosweep DS-3 data to prior measurements with the previous installed systems DS-1 and DS-2 shall give a qualitative statement of the excellence and the accuracy of the new measuring system. About usability of the multibeam echosounding system for following measurements a conclusion has to be drawn.

The comparison of simultaneously recorded data by the data acquisition- and visualization software programs HYPACK and EIVA gives the possibility to verify one another and gives information about the usage of different calculation algorithms. Due to poor information about data acquisition on board, only some aspects were occupied with.

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Diese Arbeit behandelt die Kalibrierung des im Herbst 2010 umgerüsteten Tiefseefächerecholots Hydrosweep DS-3 der Firma ATLAS Hydrographic auf dem Forschungsschiff Polarstern. Die Kalibrierung des gesamten Systems wurde auf der darauf folgenden Expedition ANT-XXVII/1 in der Biskaya durchgeführt.

Die Kalibrierung ist der wichtigste Prozess zur Gewährleistung korrekter Messdaten und muss daher behutsam durchgeführt werden. Dabei gilt es die, durch den Einbau des Wandlers und der MINS bedingten, Offsets und Bias-Fehler zu bestimmen und rechnerisch im System anzubringen, sodass korrekte Tiefendaten erfasst werden. Anschließend können diese Werte mittels verschiedener Tests und Vergleichen zu früheren Messungen überprüft werden.

Für die Kalibrierung wurden die entsprechenden Werkzeuge der Softwareprogramme HYPACK 2010 und CARIS 6.1 genutzt. Bei der Durchführung der Kalibrierung werden die Schwächen beider Programme, besonders in Bezug auf die Tiefsee, deutlich.

Während der Kalibrierung an Bord sind offenbar einige Fehler und Unstimmigkeiten hinsichtlich der Datenverwendung (Interface) zwischen der Kontroll- und Steuerungssoftware des HYDROSWEEP Systems von ATLAS und dem Softwareprogramm HYPACK aufgetreten, die hier aufgezeigt und gegebenenfalls korrigiert werden. Diese Unstimmigkeiten haben Auswirkungen auf die Messergebnisse des Fächerecholots und müssen daher von den verantwortlichen Firmen geklärt werden.

Die Untersuchung der Kalibrierung auf Richtigkeit und die Analyse der Qualitätskontrolle geben Aufschluss über die Verwendbarkeit des Fächerecholots für die darauf folgenden Messungen. Für die Überprüfung der Qualität wurden verschiedene Auswerteprogramme genutzt, deren Ergebnisse, in Abhängigkeit der Genauigkeit, verglichen werden können. Im Falle von inkorrekten Kalibrierwerten muss die Kalibrierung zeitnah wiederholt werden, um die konstanten systematischen Fehler zu beheben und ein umständliches Postprocessing zu vermeiden.

Der Vergleich der Hydrosweep DS-3 Daten zu älteren Messungen mit den Vorgängersystemen DS-1 und DS-2 soll eine qualitative Aussage über die Güte und Genauigkeit des neuen Messsystems liefern. Danach kann ein Urteil über die Verwendbarkeit des Fächerecholotsystems für folgende Messungen gefällt werden.

Die Gegenüberstellung gleichzeitig aufgenommener Messergebnisse verschiedener Datenerfassungs- und Visualisierungssoftwareprogramme stellt eine gegenseitige Kontrolle dar und gibt zusätzlich Aufschlüsse über die Nutzung unterschiedlicher Berechnungsalgorithmen. Aufgrund mangelnder Informationen zur Datenaufnahme an Bord, werden hier lediglich einige Aspekte aufgegriffen.

1 Einleitung

1. Einleitung

Das Forschungsschiff Polarstern, das vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (AWI) betrieben wird, ist seit 1989 mit einer Tiefseefächerlotanlage des Typs Hydrosweep DS von ATLAS Hydrographic ausgestattet und seitdem mehrfach aufgerüstet worden.

In der Werftzeit im Oktober 2010 wurde die bestehende Fächerlotanlage Hydrosweep DS-2 auf den TYP DS-3 umgerüstet. Damit wurde zeitgleich das Datenerfassungs-, Bearbeitungs- und Visualisierungsprogramm HYPACK der Firma HYPACK, Inc. installiert, welches das bisherige Hydromap Online-Programm der Firma ATLAS HYDROGRAPHIC ersetzt. Um Fehler der Messungen des Lots auszuschließen wurde während der darauf folgenden Expedition ANT-XXVII/1 in der Biskaya eine vollständige Systemkalibrierung durchgeführt. Dafür wurden während der Fahrt den Vorgaben entsprechende Gebiete aufgesucht, um dort die jeweiligen Kalibrierungen durchzuführen.

Dabei wurde auf FS Polarstern erstmals das Kalibrier-Tool der HYPACK-Software genutzt. Da mit der Umrüstung auf Hydrosweep DS-3 (HS DS-3) das bisherige Kalibrierprogramm der Firma ATLAS entfällt, musste nun auf die Kalibrier-Auswertemethoden von HYPACK zurückgegriffen werden.

Die Kalibrierung, wurde anschließend ebenfalls mit der Software CARIS auf übereinstimmende Ergebnisse überprüft. Während der Expedition wurden diese Ergebnisse diskutiert und in das System angebracht. Diese Kalibrierergebnisse wurden im Rahmen dieser Arbeit nachvollzogen und damit erneut auf ihre Richtigkeit geprüft.

Anschließend wurden zur Qualitätskontrolle der durchgeführten Kalibrierung mehrere Messungen in bekannten Testgebieten in der Biskaya "Lokation 2b" und vor der Küste Afrikas im Bereich der Romanche Bruchzone (Kapitel 6.2.2) durchgeführt. Die Messdaten werden in dieser Arbeit zur Qualitätskontrolle unter Hinzunahme von Daten aus früheren Expeditionen mittels verschiedener Softwareprogramme verglichen und beurteilt. Zusätzlich wurden einige Messdaten zeitgleich zu HYPACK mit der Software EIVA aufgezeichnet. Diese wurden im Umfang dieser Arbeit auf Gleichheit untersucht.

Im zweiten Kapitel wird auf das Forschungsschiff Polarstern als Trägerplattform des Hydrosweep DS-3 eingegangen. In Kapitel 3 erfolgt eine Beschreibung der Tiefseefächerlotanlage mit Bezug auf die korrespondierenden Instrumente. Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Grundlagen der Kalibrierung und den Auswirkungen, der zu bestimmenden Offsets und Bias-Fehler, für die Tiefenmessung. In Kapitel 5 wird auf die Kalibrierung während der Expedition ANT-XXVII/1 eingegangen und ein Vergleich zu später durchgeführten Kalibrierungsergebnissen gezogen. Das sechste Kapitel befasst sich mit verschiedenen Vergleichen und Methoden zur Genauigkeitsanalyse. Im Anschluss werden Schlussfolgerungen und ein Ausblick gegeben.

2 Das Forschungsschiff Polarstern

2. Das Forschungsschiff Polarstern

Das Forschungsschiff Polarstern ist Eigentum der deutschen Bundesregierung, vertreten durch den Bundesminister für Bildung und Forschung und wird durch das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in der Helmholtz-Gemeinschaft betrieben.

FS Polarstern dient als eisbrechendes Forschungs- und Versorgungsschiff in den Polargebieten - unter anderem zur Versorgung der Neumayer-Station III in der Antarktis (AWI, 2010c). Der Forschungseisbrecher, Baujahr 1982, hat eine Länge über alles von 118 m, eine Breite an den Spanten von 25,00 m sowie einen Tiefgang von maximal 11,50 m. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 16 kn (AWI, 2011d), wobei i.d.R. eine ökonomische Fahrtgeschwindigkeit von 10-12 kn eingehalten wird.



Abb. 2.1: FS Polarstern (Koch, 2010)

Als eines der dauerhaft installierten Forschungsinstrumente an Bord, ist seit 1989 das Tiefseefächerecholot Hydrosweep DS zur Erfassung der bathymetrischen Daten eingesetzt. Im Rahmen der technischen Weiterentwicklungen wurde es mehrfach aufgerüstet.

3. Die Tiefseefächerlotanlage Hydrosweep DS-3

Seit 1989 ist zur Vermessung des Meeresbodens die Tiefseefächerlotanlage Hydrosweep DS der Firma ATLAS Hydrographic auf FS Polarstern im Einsatz, deren zweites Nachfolgemodell DS-3 seit Herbst 2010 installiert ist. Der Name HYDROSWEEP stammt von HYDROgraphic Multibeam SWEEPing Survey Echosounder, während DS-3 für die dritte Generation der Tiefseefächerecholote (Deep Sea) der Firma ATLAS HYDROGRAPHIC (Im Folgenden mit „ATLAS“ bezeichnet) steht (Gutberlet & Schenke, 1989).

Tabelle 1: Systemparameter des Fächerecholotsystems Hydrosweep DS-3 auf Polarstern.

Einbau/Umrüstung	2010
Frequenz	15,5kHz
Anzahl „Hard“-Beams	141
Anzahl „Soft“-Beams	345
Öffnungswinkel	Bis 120°
Pulslänge	1 - 25 ms
Array Dimensionen	0,3 m x 3,0 m
Stabilisation	Alle Achsen
Messbare Wassertiefe	10 – 11000m
Genauigkeit	<1% der Wassertiefe

(Diese Angaben basieren auf mündlichen Mitteilungen Jörn Ewert (2011), da das Hydrosweep DS-3 -Nutzerhandbuch noch nicht vorliegt.)

Das durch den festen Einbau im Schiffsrumpf (Kastenkiel mit Aufweitung und Eisabweiser) für die Tiefsee und Polarregionen ausgerichtete Fächerecholot der Polarstern sendet und empfängt Schallwellen mit einer Messfrequenz von 15,5 kHz, aus deren Laufzeiten die Meeresbodentiefen berechnet werden. Hydrosweep DS-3 (HS DS-3) kann damit Wassertiefen zwischen 10 m und 11.000 m messen (ATLAS, 2011b).

Der Fächer besteht laut mündlichen Informationen, durch Dr. Wolfgang Lindlohr der ATLAS HYDROGRAPHIC GmbH, momentan aus 141 Empfangs-„Hard“-Beams je single ping, bzw. Preformed Beams. Der Öffnungswinkel dieser einzelnen vorgeformten Hardbeams beträgt jeweils 2,0° (quer) x 2,3° (längs zur Fahrtrichtung).

Im High Definition Bearing Estimation (HDBE) bzw. High Order Beamforming-Mode arbeitet das Fächerecholot mit 345 „Soft“-Beams, wählbar durch den Operator. Dies bedeutet, dass die Daten der Hardbeams interpoliert und dadurch weiter unterteilt werden, um mehr Tiefeninformationen zu erhalten (NIO, 2005). Die absolute Messgenauigkeit wird dadurch jedoch nicht wesentlich gesteigert.

Der Öffnungswinkel des Schallkegels kann stufenlos von 90° bis 120° reguliert werden (AWI, 2010c).

Ein Öffnungswinkel von 120° wird lediglich bei geringen Wassertiefen unter 350 m genutzt, da sich das Signal/Rausch-Verhältnis in der Tiefsee verschlechtert.

3 Die Tiefseefächerlotanlage Hydrosweep DS-3



Abb. 3.1: Hydrosweep DS Fächerecholot auf FS Meteor analog zu FS Polarstern (ACT, 2011).

Die Schallsignale des Fächerecholots werden vom Schwinger ausgesandt. Dabei brechen sich die Schrägstrahlen an den unterschiedlich dichten Wasserschichten. Sie erzeugen bei einem falschen Profil der Wasserschallgeschwindigkeit, aufgrund der Refraktion, gebogene Randstrahlen als systematische Fehler in den Daten. Zur Berechnung der tatsächlichen Tiefen und Positionen werden Wasserschallprofile genutzt, die bis zum Meeresboden aufgenommen werden. Je nach Einstellung wird jeden Meter oder jede Sekunde ein Wert aufgezeichnet, um ein möglichst genaues Bild der Schichten in der Wassersäule zu erhalten.

Da mit DS-3 die Kreuzfächerkalibrierung (Schenke, 1992) zur Bestimmung der mittleren Wasserschallgeschwindigkeit nicht mehr durchgeführt werden kann, wird zum Zweck der Erfassung eines korrekten Wasserschallprofils auf Polarstern eine CTD-Sonde (Conductivity, Temperature, Depth - Profiler) oder eine transportable SVP-Sonde (Sound Velocity Profiler) der Firma Valeport Ltd genutzt. Die SVP-Sonde gewährt aufgrund der geringen Größe eine leichtere Handhabung und somit den häufigeren Einsatz für genaue Wasserschallprofilmessungen.

Die CTD misst mit verschiedenen Sensoren den Salzgehalt über die Leitfähigkeit des Wassers, die Temperatur mit Hilfe eines Thermometers, die Tiefe mittels eines Drucksensors und bestimmt so die Dichte der Wasserschichten. Dadurch lässt sich die Wasserschallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Tiefe mithilfe der Coppens-Formel berechnen. Die SVP-Sonde hingegen misst über die Schalllaufzeit eine bekannte Strecke, die aufgrund der Dichteänderungen in den Schichten ebenfalls Änderungen erfährt. Mit der SVP-Sonde kann daher die Wasserschallgeschwindigkeit direkt gemessen werden.

Die neu installierte C-Keel Sonde, ist am Schiffsrumpf eingebaut. Die C-Keel Sonde misst die Wasserschallgeschwindigkeit direkt am Schiff, die für die Berechnung des Abstrahlwinkels benötigt wird. Die C-Keel Sonde ist ein Systemteil von Hydrosweep und leitet die Daten an ATLAS Hydromap Control weiter. Dort wird dieser Wert für das Beamforming genutzt, um den Schall, abhängig von der Wasserschallgeschwindigkeit unter dem Kiel, in die richtige Richtung abzustrahlen. Wenn die C-Keel-Sonde falsche Werte liefert, werden sämtliche Messwerte verfälscht und können nicht korrigiert werden.

3 Die Tiefseefächerlotanlage Hydrosweep DS-3

Um die Schiffsbewegungen, die sich auf die Messdaten auswirken, zu korrigieren und zu kompensieren ist an Bord ein Motion-Sensor-System, die „MINS“ (Marines Inertiales Navigationssystem) installiert (siehe auch Kapitel 4.5). Die Zentrierelemente und die Messdatenqualität zwischen MINS und Fächerecholot zu prüfen ist die Aufgabe der Kalibrierung.

Bisher wurde mit dem Hydrosweep DS-2 System die Darstellungssoftware HYDROMAP ONLINE von ATLAS genutzt, die nun nicht mehr zur Verfügung steht. Zur Datenaufnahme, zur Verarbeitung und Visualisierung der aufgenommenen Daten, im Online-Modus als auch im Post-Processing, wurde von der Firma ATLAS die Nutzung der Softwarepakete HYPACK oder EIVA angeboten. Das Alfred-Wegener-Institut hat sich hierbei für die HYPACK-Software der Firma HYPACK, Inc., ehem. Coastal Oceanographics, Inc. entschieden, da EIVA das geforderte Leistungsspektrum der Anforderungen beim Arbeiten in der Forschung nicht erfüllt. Diese Software verarbeitet die Tiefen und bindet automatisch die Positionsinformationen ein.

4. Grundlagen der Kalibrierung

Auf Polarstern wird die Kalibrierung, nicht wie bei kleineren Vermessungsschiffen jeden Tag oder in ähnlichen regelmäßigen Abständen, sondern in der Regel nur nach Neuinstallation oder Reparatur der Systeme bzw. der Wandler, maximal einmal pro Jahr, durchgeführt. Der Grund für die seltene Kalibrierung des Fächerecholots, liegt vor allem darin, dass keine größeren Veränderungen der Parameter während des Messbetriebs zu erwarten sind.

Die Notwendigkeit der Kalibrierung ergibt sich aus der Überprüfung der Exzentrizitäten der an verschiedenen Orten auf dem Schiff installierten Sensoren (Position/GPS-Antenne, Schiffslage/MINS, Sonar-Messköpfe/HS DS-3) und aus eventuell vorhandenen systematischen Fehlern in der Zeitmessung, Kursbestimmung/Nullpunktfehler, Lagemessung (falscher scheinbarer Horizont).

Ohne die korrekte Anbringung der Offsets oder Biases sind die gemessenen Tiefen fehlerhaft, wie nachfolgend dargestellt.

Fehlerhafte Biases von Roll (Rollen), Pitch (Stampfen) und Heading (Gieren) (siehe Abbildung 4.1) wirken sich besonders stark in der Tiefsee aus, sodass eine Kalibrierung für ein Tiefseefächerecholot wie Hydrosweep DS-3 unumgänglich ist. Daher müssen diese Winkel und die Zeitverzögerung (Time Latency) unbedingt bestimmt und angebracht werden, um Fehler zu vermeiden und ein umständliches Post-Processing zu umgehen. Dabei dürfen diese Winkel nicht mit den instantanen Lagewinkeln des Schiffes während der Fahrt verwechselt werden, die wiederum durch Kompensation aus den Daten herausgerechnet werden.

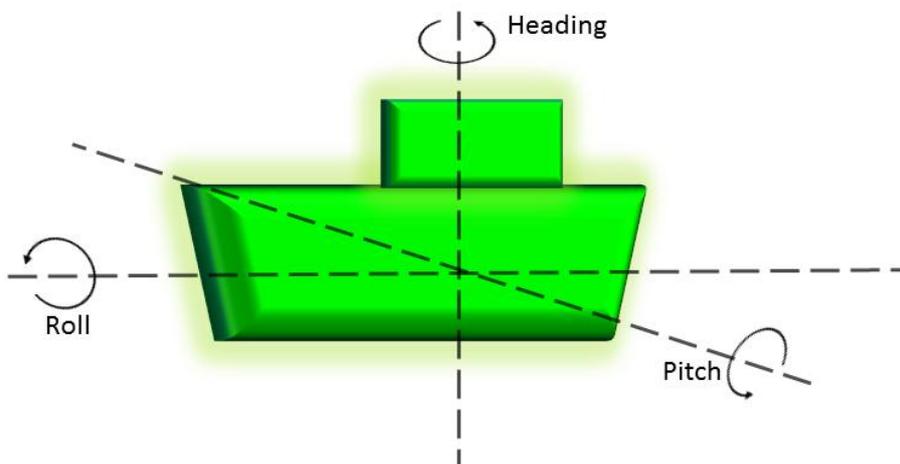


Abb. 4.1: Darstellung der Schiffsbewegungen.

Für die Kalibrierung müssen entsprechend den zu kalibrierenden Offsets verschiedene Profile mit bestimmten topographischen Eigenschaften abgefahren werden.

Da die Winkel-Fehler von Roll und Pitch tiefenabhängig wirken (HYPACK, 2010a), muss in Bezug auf die normale Messtiefe das Kalibriergebiet im tiefst möglichen Bereich gewählt werden

Weiterhin muss die Messgenauigkeit des Fächerecholots, in diesem Fall Hydrosweep DS-3 mit 0,5-1 % der Wassertiefe, einkalkuliert werden. Objekte, die kleiner als das Messrauschen sind, werden

4 Grundlagen der Kalibrierung

nicht erfasst und somit muss die jeweilige Tiefe des Kalibriergebiets berücksichtigt werden. Bei 4000 m Tiefe liegen daher Abweichungen von bis zu 40 m innerhalb des Messrauschens.

Um absolute Werte als Ergebnis der Kalibrierung zu erhalten, sollten zu Beginn der Aufzeichnungen alle zu kalibrierenden Offsets auf Null gestellt werden.

Für die Durchführung der Kalibrierung gibt es nach Literaturangaben unterschiedliche Reihenfolgen, die es einzuhalten gilt (siehe Tabelle 4.1). Auch je nach Hersteller variieren die Reihenfolgen, womit eine Kalibrierreihenfolge nicht unbedacht auf ein anderes System angewandt werden kann. Da interne Berechnungsmethoden mit einbezogen werden, die voneinander abweichen können, ist dem Handbuch der entsprechenden Auswerte-Software zu folgen. Anhand der internen Herstellerangaben in den Manuals zur Kalibrierung ist erkenntlich, dass im Laufe der Jahre offensichtlich die Kalibrierreihenfolgen überdacht und verändert worden sind, oder auf Grund neuer technischer Entwicklungen oder verbesserter Messmethoden weiterentwickelt werden.

Tabelle 2: Vergleich der Kalibrierreihenfolgen und Vorgaben

HYPACK Manual 2009	2010 User Manual und *.ppt 2010	CARIS HIPS & SIPS 6.1 und 7.0 Users Guide 2007, 2008, 2011	R. Mann (nach A.Godin) 1998	Kalibrierung ANT-XXVII/1 2010
Roll	Latency	Latency	Latency	Latency
Latency	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch
Pitch	Roll	Yaw	Roll	Yaw
Yaw	Yaw	Roll	Yaw	Roll
Reihenfolge irrelevant, lediglich Yaw am Schluss!		(nach A.Godin)	analog zu HYPACK	Reihenfolge nach CARIS

Mittlerweile sind aufgrund neuer Berechnungsmethoden und besserer Instrumente die Reihenfolgen zumindest für HYPACK an vielen Stellen angeblich hinfällig geworden. Hier wird lediglich empfohlen Heading (Yaw) als letztes durchzuführen, da dies der am meisten durch die anderen Offsets beeinflusste Fehler ist (HYPACK, 2009).

In Bezug auf die Definition und Bestimmung der einzelnen Offsets, sind zwischen den verschiedenen Softwareprodukten jedoch keine Unterschiede festzustellen.

Die Kalibrierergebnisse sollten immer auf Plausibilität untersucht, umgehend im System angebracht und durch eine erneute Durchführung der Kalibrierfahrt überprüft werden. Eine weitere Möglichkeit der Überprüfung bietet das mehrfache Abfahren der Kalibrierprofile und die Mittelung der Werte im Anschluss. Anschließend kann zum nächsten zu kalibrierenden Offset übergegangen werden.

Dabei sollten die ermittelten Werte nicht mehr als 0,5° bis 1° voneinander abweichen.

4.1. Kalibrierung der Time Latency

Time Latency ist das Positions-Datenalter und somit eine eventuelle Verzögerung der Positionsübergabe in die synchronisierende Auswertesoftware des Fächerecholots. I.d.R. sind normalerweise nur positive Werte zu erwarten.

Die Kalibrierung wird durchgeführt, um den zeitlichen Versatz zwischen der Positionierung über GNSS und den Messwerten zu erfassen und anschließend im System anbringen zu können (HYPACK, 2010b). Je höher die Geschwindigkeit ist, desto stärker wirkt sich dieser Fehler aus, da die Position nachgeschleppt wird. Dieser Offset muss als erstes bestimmt und beseitigt werden, da hiervon alle anderen Offsets abhängen.

Für die Kalibrierung der Time Latency müssen zwei Profillinien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten z.B. 5 kn und 10 kn in gleicher Richtung gefahren werden. Die Kalibrierprofile sollten dabei über ein klar definiertes Hindernis oder einen Hang, mit gleichmäßigem Gefälle hinauf führen und folglich vom tiefen Bereich ins flache Wasser gefahren werden. Je steiler der Hang an dem der Latency-Offset kalibriert wird, desto höher ist die Auflösung des erfassten Werts, da die Abweichungen an der Hangkante deutlich zu erkennen und einzustellen sind. Dabei sollte der Hang, abhängig von der Geschwindigkeit und der Rückstreuungseigenschaften des Bodens nicht zu steil gewählt werden, da dies von Seiten des Sonar-Systems unter Umständen zu Fehlmessungen und Systemabstürzen führt. Für die Durchführung werden sämtliche Offsets auf Null gestellt, um absolute Werte zu erhalten.

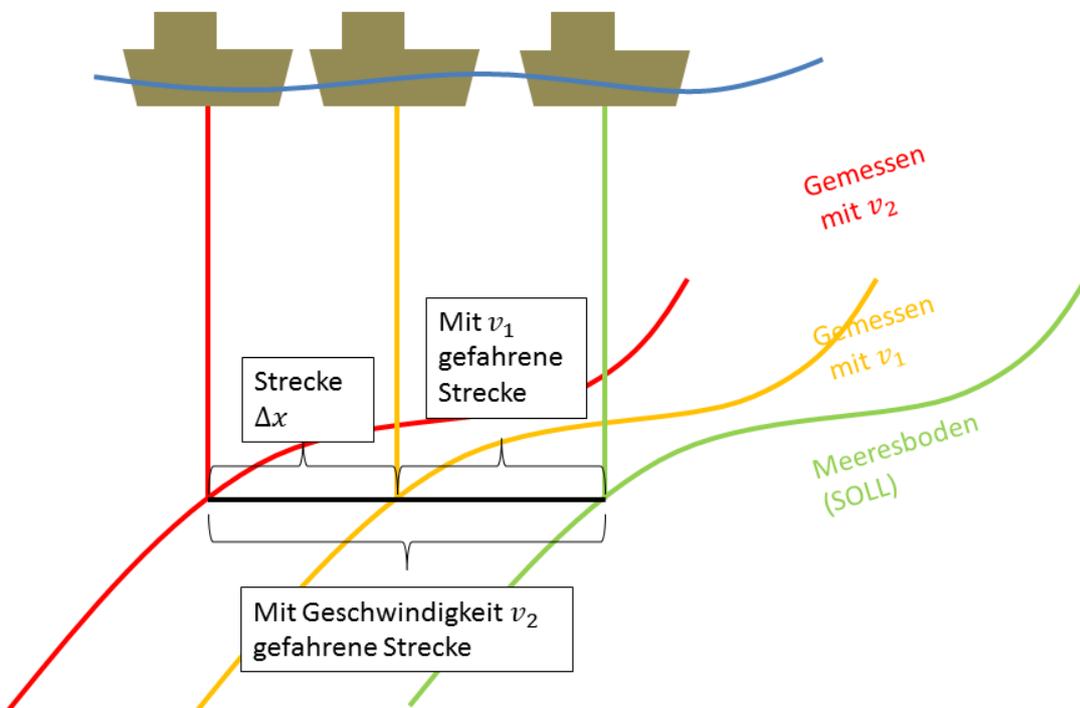


Abb. 4.2: Der Time Latency-Offset bewirkt eine zeitverzögerte Zuordnung der Tiefe zu einer Position (Mann, 1998)

4 Grundlagen der Kalibrierung

Formel zur Berechnung des Time Latency-Offsets (Mann, 1998):

$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1}$$

Δx : Horizontaler Versatz zwischen den beiden Profilen nahe Nadir

v_i : Geschwindigkeit des Schiffs, v_1 : langsam (5 kn), v_2 : schnell (10 kn)

Bei einem Latency-Offset im System würde, wie aus der Grafik ersichtlich, aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeit, die Hanglage jeweils an anderen Positionen gemessen werden. Dabei geht die Auswertesoftware davon aus, dass die gemessene Tiefe (grün) an der Position von v_1 (gelb) bzw. v_2 (rot) gemessen wurde. Somit wird die Position „nachgeschleppt“, da die Positionsdaten verspätet übertragen. Dies geschieht in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, da die überfahrenen Strecken in einem Zeitintervall betrachtet werden. In diesem Zeitintervall wird mit einer höheren Geschwindigkeit v_2 eine größere Strecke zurückgelegt, die mit der kürzeren Strecke aus v_1 verglichen wird.

Für die Auswertung werden ausschließlich die Nadirbeams, die Ausstrahlwinkel senkrecht nach unten, verwendet, da diese gegenüber Roll und Heading unempfindlich sind. Dabei müssen die Längsschnitte des Nadirbeams entlang der beiden Profile flächig übereinander liegen. Lediglich der Pitch Offset könnte sich an dieser Stelle auswirken, da er ebenfalls über den Versatz entlang des Längsprofils bestimmt wird. An der zu untersuchenden Stelle müssen, um begründete Ergebnisse zu erhalten, genügend Daten vorhanden sein.

Problematisch sind Variationen des Datenalters, da diese Werte sich nicht konstant auswirken und somit die Messergebnisse verfälschen. Dieses Problem ist auf der späteren ANT-XXVII/4 - Expedition aufgetreten, als Vergleiche zwischen den GPS-Empfängern und der MINS große Unterschiede aufgezeigt haben. Hier war offensichtlich eine Verzögerung durch Verwendung unterschiedlicher Übertragungsprotokolle verantwortlich (TCP/IP). Solche ungleichmäßigen Time Latency-Variationen verursachen grobe Fehler in der Zuordnung der Messdaten und können mithilfe der Latency-Kalibrierung nicht behoben werden.

4.2. Kalibrierung des Pitch-Fehlers

Der Pitch-Fehler (Bias) ist der Stampfwinkel, um den der Schallwandler des Echolots zur Längsachse des Schiffs geneigt ist. Dieser Winkel entsteht, wenn der Sendewandler nicht genau parallel zur Längsachse eingebaut wurde. Dadurch wird der Schall entsprechend nach vorne oder hinten, und nicht senkrecht nach unten abgestrahlt. Dies wiederum hat zur Folge, dass den Tiefenwerten falsche Positionen zugeordnet werden, die abhängig von der Tiefe variieren. Je tiefer der Meeresboden, desto größer die Auswirkungen des Pitch-Bias, da der Abstand zur Sollposition wächst. Mithilfe der Kalibrierung wird dieser Winkel erfasst und im System angebracht, sodass der Position die entsprechende richtige Tiefe zugeordnet wird. Zuvor muss die ermittelte Time Latency angebracht worden sein, um das Kalibrierergebnis nicht zu verfälschen.

Zur Kalibrierung des Pitch-Fehlers werden zwei Profile in entgegengesetzter Richtung über ein Hindernis oder einen Hang mit gleichmäßigem Gefälle gefahren. Das Gefälle sollte dabei größer als der zu erwartende Fehler sein, da er sonst kaum erkennbar ist. Auch hier gilt, je steiler der Hang, desto genauer und zuverlässiger die Messung. Die Messfahrt sollte mit gleichmäßiger Geschwindigkeit auf beiden Profilen durchgeführt werden.

Bei der Auswertung werden lediglich die Nadirbeams betrachtet, da diese weniger von den anderen Bias-Fehlern beeinflusst werden, als die Außenbeams. Es wird untersucht, ob gleiche Tiefen an markanten Stellen unterschiedlichen Positionen zugewiesen werden. Der Abstand zwischen den Positionen entspricht in nachfolgender Abbildung Δx .

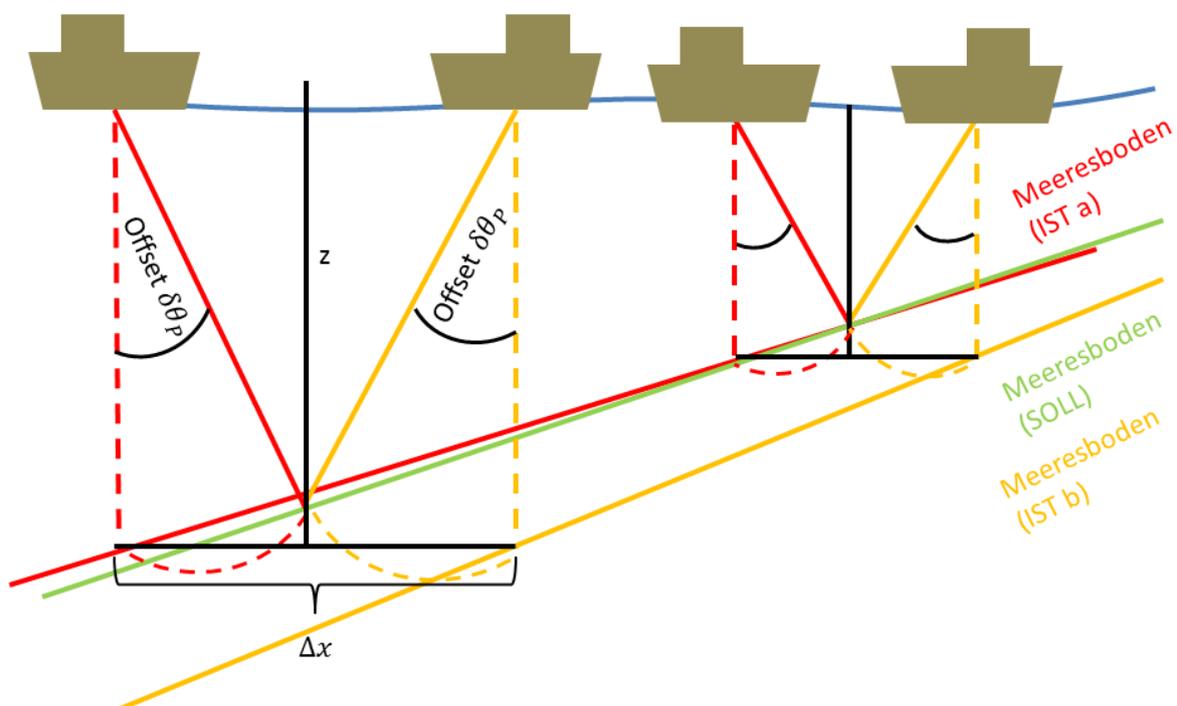


Abb. 4.3: Der Pitch-Offset bewirkt die Zuordnung einer falschen Tiefe zu einer bestimmten Position (Godin A. , 1996).

4 Grundlagen der Kalibrierung

Formel zur Berechnung des Pitch-Offsets (Mann, 1998):

$$\delta\theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta x}{2z} \right)$$

Δx : Horizontaler Abstand zwischen den beiden Nadir-Profilen

z : mittlere Tiefe des Profilstücks Δx

Dabei geht die Auswertesoftware davon aus, dass die gemessene Tiefe (grün) an der Schiffposition gelb bzw. rot gemessen wurde, solange kein entsprechender Offset eingetragen wurde, der dies korrigiert.

Abweichungen in den Positionen für verschiedene Wassertiefen bei einem Pitch-Fehler von 1°:

$$\Delta x = \tan(\delta\theta_p) * z$$

$$20\text{m}, 1^\circ \Rightarrow 0,34\text{m}$$

$$200\text{m}, 1^\circ \Rightarrow 3,49\text{m}$$

$$2000\text{m}, 1^\circ \Rightarrow 34,91\text{m}$$

Ein Pitch-Fehler von 1° wirkt sich demnach in der Tiefsee bedeutend größer aus. Daher ist es ratsam in tieferen Gebieten zu kalibrieren um die Abweichungen nicht zu übersehen.

4.3. Kalibrierung des Heading-Bias

Der Heading-Bias, auch Yaw oder Gierwinkel genannt, stellt einen systematischen Fehler bei der rechtweisenden Kursbestimmung dar, der durch fehlerhaften Einbau des Wandlers zur Längsachse des Schiffs oder durch fehlerhafte Bestimmung der Nordrichtung des Kreiselkompass entsteht.

Eine Abweichung vom Soll bewirkt an dieser Stelle eine Schallabstrahlung schräg zur Fahrtrichtung. Dies hat ebenfalls falsche Positionsangaben für die Tiefenwerte zur Folge, allerdings wirkt sich dieser Wert nicht in Abhängigkeit von der Tiefe aus. Folglich sind die Tiefen zwar korrekt, gehören jedoch an eine andere Stelle. Um fehlerhafte Kalibrierergebnisse auszuschließen, sollten zuvor zumindest Latency und Pitch kalibriert worden sein, da der Heading-Bias besonders stark von den anderen Bias-Fehlern beeinflusst wird. Die vorherige Kalibrierung des Roll-Fehlers wird in einigen Manuals (HYPACK, 2010b) ebenfalls als sinnvoll erachtet. Für ein gutes Kalibrierergebnis ist weiterhin eine gute Positionierung über GPS nötig.

Die Kalibrierung liefert den Winkel um den der Swath (Fächer) theoretisch gedreht werden müsste, um wieder senkrecht zur Fahrtrichtung ausgestrahlt zu werden. Der Wert wird anschließend rechnerisch im System angebracht und bei der Zeitmessung berücksichtigt.

Während der Kalibrierung werden zwei Profile in entgegengesetzter Richtung versetzt über einen Hügel oder ein anderes klar definiertes Hindernis gefahren. Je genauer das Objekt definiert ist, umso einfacher ist die Erfassung des Heading-Wertes. Dabei muss das Objekt in einem Abstand von etwa einem halben Swath gefahren werden, um eine Überlappung zu gewährleisten. Der Abstand zwischen den beiden Profilen ΔL bezieht sich jeweils auf den gefahrenen Track bzw. den Nadirbereich der Messung. Im Überlappungsbereich der Fächer wird die Position des Hindernisses betrachtet. Im Falle eines Heading-Offsets hat das Hindernis je gefahrenem Profil eine andere Position. Durch Berechnung des Abstands zwischen den Positionen kann der Heading-Offset ermittelt werden.

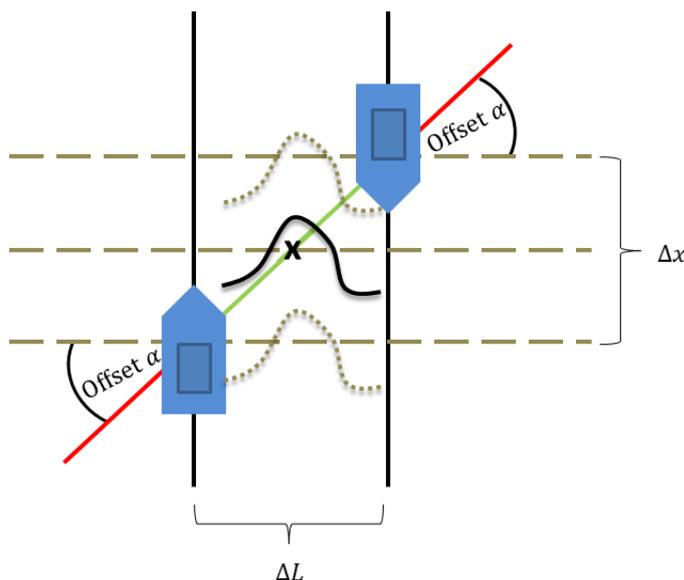


Abb. 4.4: Das Hindernis wird beim Heading-Offset einer anderen Position zugewiesen, da der Swath um diesen Winkel zur Schiffsquerachse verdreht ist (Godin A. , 1996).

4 Grundlagen der Kalibrierung

Formel zur Berechnung des Heading-Offsets (Mann, 1998):

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right)$$

Δx : Horizontaler Abstand zwischen den Positionen des Hindernisses

ΔL : Abstand zwischen den Profillinien.

Die Berechnung aus parallel in gleicher Richtung gefahrenen Heading-Profilen wäre nach obiger Formel ebenfalls möglich, hängt aber von den individuell abweichenden Berechnungsalgorithmen und somit von den Herstellerangaben der Softwarefirmen ab.

4.4. Kalibrierung des Roll-Bias

Der Roll-Offset stellt den Winkel zur Querachse dar, um den der Wandler um die Längsachse des Schiffes gedreht ist. Der Fehler entsteht, wenn der Wandler nicht streng horizontal ausgerichtet ist. Dadurch werden die Tiefen nicht direkt unter dem Schiff, sondern schräg versetzt gemessen. Auf gleichmäßigem ebenem Boden verdreht sich das Profil und impliziert aufgrund der längeren Laufzeiten tiefere und flachere Messungen, als tatsächlich vorhanden sind. Der Meeresboden wird folglich schräg statt eben dargestellt. Da sich dieser Wert mit zunehmender Tiefe stärker abzeichnet, wird für die Kalibrierung des Tiefseefächerecholots eine ebene Fläche in der Tiefsee genutzt.

Mittels Profilfahrt in entgegengesetzter Richtung kann der Fehler kalibriert werden. Dabei sollte zumindest der Latency-Offset ermittelt und angebracht worden sein.

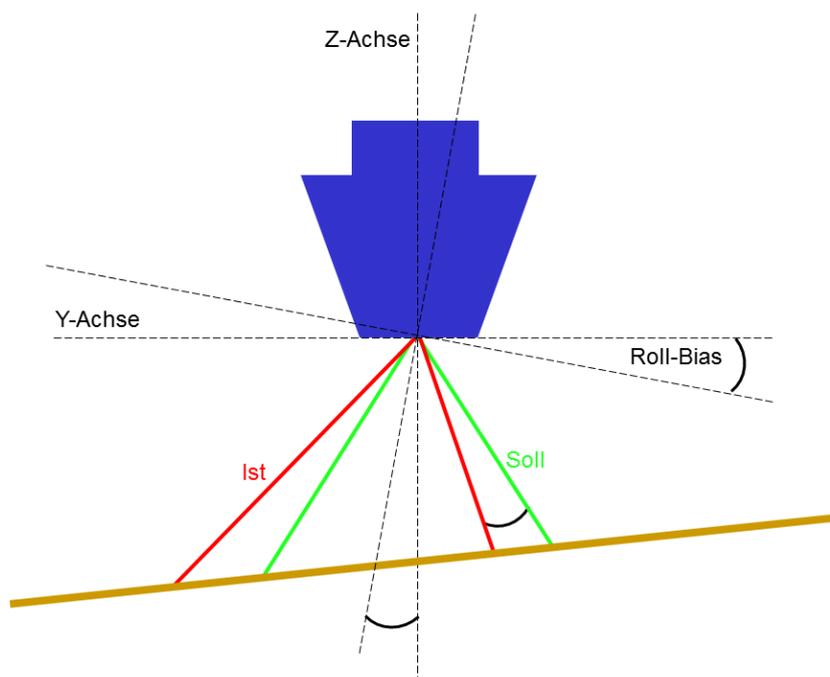


Abb. 4.5: Die Tiefen werden, aufgrund des schräg eingebauten Wandlers, beim Roll Offset mit dem IST-Winkel aufgezeichnet und dem SOLL-Winkel zugewiesen, sodass der Meeresboden um diesen Winkel falsch dargestellt wird (Godin A. , 1996).

Der Roll-Winkel lässt sich nach der Profilfahrt über die Differenzen zwischen den äußeren Beams beider Profile bestimmen. Dabei wird der Fehler durch Übereinanderlegen und Angleichung der beiden Profile erfasst.

Formel zur Berechnung des Roll-Offsets (Mann, 1998):

$$\delta\Theta_R = \arctan \frac{\Delta z}{2\Delta y}$$

Δz : Vertikaler Abstand zwischen den Außenbeams der entgegengesetzten Profile.

Δy : Abstand des halben Fächers vom Nadir- zum Vergleichspunkt

4 Grundlagen der Kalibrierung

4.5. Einmessung

Als Voraussetzung einer guten Kalibrierung gilt die sehr genaue Einmessung des Fächerecholots und der MINS, die trotz bestmöglicher Einbaus generelle Abweichungen zum Ideal besitzen und verursachen. Die MINS (Marines Inertiales Navigationssystem) wird hier mit dem MINS-Interface gleichgesetzt und stellt die zentrale Verteilerstelle für die Positionsdaten dar. Die MINS-Sensoren, die ihre Daten an das MINS-Interface liefern sind Laser-Navigations-Plattformen (AWI; 2010c) und liefern die wichtigen Navigationsdaten, wie Position (1 Hz), Pitch, Roll und Heading im Takt von <20 Hz, mithilfe von intern erfassten Beschleunigungswerten. Von diesen Plattformen sind zwei separate Geräte (MINS 1 und MINS 2), die ihre Positionsdaten (Koordinaten) jeweils von einem 2-Frequenz-GPS-Empfänger erhalten (TRIMBLE 1 und TRIMBLE 2), an Bord. Die Positionsdaten des TRIMBLE-GPS-Empfängers erfahren jedoch keine Änderungen, sondern werden direkt an das Hydrosweep-System weitergeleitet.

Die MINS-Plattformen sind nahe des Schiffschwerpunktes (Pivotpunkt) gelegen, um Fehler durch die Schiffsbewegungen möglichst zu minimieren. Der Mittelpunkt zwischen den MINS-Plattformen bildet den Nullpunkt des Schiffskoordinatensystems (SKS) (AWI, 2010c). Die MINS leitet die Positionen, die im 1-Sekunden-Takt von den GPS-Empfängern an Bord geliefert werden, an die auswertenden Systeme weiter. Diese Positionen werden im Sekundentakt zur Verfügung gestellt mit einer absoluten Positionsgenauigkeit von ca. $\pm 10-15$ m.

Für die Vermessung von FS Polarstern einschließlich der Einmessung des Fächerecholots und der MINS wurde die Firma OVERATH & SAND SHIP SURVEYORS beauftragt. Die letzte Einmessung fand im Mai und Oktober 2010 vor der Kalibrierfahrt statt. Das Ergebnis weist eine Winkelmessgenauigkeit von 0,2 mgon und einer Streckenmessgenauigkeit von +/- 0,8 mm plus 1 ppm auf. Die Strecken wurden anschließend über die Gaußsche Methode der Kleinsten Quadrate in das Schiffskoordinatensystem transformiert.

Die vorherige dreidimensionale Erfassung und Einstellung der Hebelarme, d.h. die Abstände zwischen MINS, GPS-Antenne und Fächerecholot, in den Softwareprodukten ist nötig, um anschließend korrekte Werte bei der Kalibrierung der Offsets zu erhalten (OVERATH & SAND SHIP SURVEYORS, 2010)

5 Durchführung der Kalibrierung

5. Durchführung der Kalibrierung

Während der Wertzeit im Oktober 2010 wurden die Motion Sensoren (MINS 1 und MINS 2) ausgetauscht, sodass der Bezug zwischen den Schallwandlern des Fächerecholots und dem Schiffskoordinatensystem wieder hergestellt bzw. überprüft werden musste.

Die Hydrosweep DS-3 Anlage wurde daher auf der folgenden Expedition ANT-XXVII/1 in der Biskaya kalibriert. Dabei waren unter anderem Vertreter der Bathymetrie des Alfred-Wegener-Institutes sowie Techniker der Firma ATLAS HYDROGRAPHIC, von denen die System- und Software-Einstellungen sowie die Kalibrierungen durchgeführt wurden, anwesend. Vertreter der Erfassungs- und Auswertesoftware HYPACK waren allerdings nicht an Bord. Aufgrund der schlechten Wetterbedingungen, musste die Messung der Kalibrierprofile für die Feinkalibrierung, gekürzt werden (AWI, 2010a).

Die Durchführungsreihenfolge entsprach der Reihenfolge, welche die Software CARIS für die Kalibrierung angibt.

1. Latency
2. Pitch (grob und fein)
3. Heading
4. Roll (grob und fein)

Für die Aufnahme der Kalibrierprofile wurden zu Beginn sämtliche zu bestimmende Winkel-Offsets auf Null gestellt, um absolute Werte zu ermitteln. Die Eingabe des Koordinaten- und des Bezugssystems erfolgte in Hydromap Control als auch in HYPACK unter der Funktion „Geodesy“ zur Eingabe der Projektionsparameter. Dabei wurde WGS 84 als Bezugsellipsoid und die winkeltreue Mercator -Projektion genutzt und eingestellt. Weitere Einstellungen wurden hier, soweit bekannt, nicht getätigt, sondern auf Null belassen. Diese Einstellungen wurden bei der Überprüfung erneut genutzt.

Nach jeder Neubestimmung eines Offsets wurde der Wert in Hydromap Control eingetragen und somit für die nachfolgenden Vermessungen angewandt. Dies hat den Vorteil, dass die übrigen Offsets, nicht mehr durch den zuvor bestimmten Wert verfälscht werden können. Zusätzlich zu den einzelnen Kalibrierfahrten wurden in einigen Fällen Feinkalibrierungen durchgeführt, bei der alle Offsets und Bias-Werte angebracht und die noch vorhandenen Restfehler bestimmt wurden. Mit der Feinkalibrierung erfolgt primär eine Überprüfung und Verbesserung der Grobkalibrierung. Daher sollten nur geringe Abweichungen festzustellen sein, die noch nachjustieren wären. Im Idealfall sind keine Abweichungen im Rahmen des Genauigkeitsbereichs festzustellen.

Die Auswertung der Kalibrierung auf ANT-XXVII/1 erfolgte an Bord von Polarstern mithilfe der Softwarepakete HYPACK 2010 und CARIS HIPS 6.1, um zwei gesonderte Bestimmungen zu erhalten.

HYPACK legt bei der Aufzeichnung der Daten zwei Rohdatenformate an. In den *.RAW-Dateien werden dabei die Positionsinformationen des gefahrenen Tracks als projizierte kartesische Koordinaten (X, Y) und geographische Koordinaten (Latitude/Longitude) gespeichert, während die

5 Durchführung der Kalibrierung

*.HSX - Daten die eigentlichen Tiefeninformationen und Metadaten zu den Instrumenten enthalten.

Die genutzten *.HSX-Daten (siehe I.1 Anhang A) wurden ohne die zugehörigen *.RAW-Dateien in beiden Softwareprogrammen verwendet. Zusätzlich wurden einige Feinprofile gefahren (siehe I.1 Anhang A), die allerdings während ANT-XXVII/1 nicht für die Kalibrierung ausgewertet wurden. Die Feinprofile sind im Rahmen der Überprüfung ebenfalls ausgewertet worden.

Nach dem Editieren und generellen Prozessieren der Daten (siehe Kapitel 5.2) wurde das jeweilige Kalibrier-Tool manuell angewandt. Zwar enthält die Software HYPACK in diesem Zusammenhang eine Automatikfunktion, welche allerdings keine überzeugenden Ergebnisse lieferte und daher nicht genutzt wurde. Ob diese Funktion während der Kalibrierung auf ANT-XXVII/1 verwendet wurde ist unklar.

In CARIS HIPS wurde für die Auswertung der Kalibrierung das "Calibration"-Tool genutzt, während in HYPACK das sogenannte „Patch Test“-Tool verwendet wurde. Beide Kalibrier-Tools beruhen auf dem Prinzip des Querschnittvergleichs (Cross Section). Dafür werden in einem begrenzten Bereich die Punkte beider Grids in einem Quer- bzw. Längsprofil dargestellt, um miteinander visuell und rechnerisch verglichen zu werden. Sämtliche Berechnungen und Analysen beziehen sich auf den jeweils dargestellten Bereich der Cross Section.

Anschließend wurde die Plausibilität der Werte diskutiert, die Ergebnisse teilweise gemittelt und in das System übernommen. In einigen Fällen wurden zusätzliche Feinkalibrierungen durchgeführt, um die ermittelten und angebrachten Werte zu verifizieren und zu bestätigen.

Nachdem bei der Kalibrierung unplausible Werte für den Pitch-Offset detektiert wurden, musste dieser Teil der Kalibrierung in der Romanche-Bruchzone erneut durchgeführt werden. Informationen darüber, welche Ergebnisse während der Kalibrierfahrt im Bereich der Romanche-Bruchzone ermittelt wurden und ob diese darauf folgend in das System übernommen worden sind und somit die zuvor ermittelten Werte ersetzt haben, liegen nicht vor.

5.1. Schallprofilbestimmung

Um möglichst korrekte Tiefenwerte zu erhalten, wurde vor den Kalibrierfahrten mit der Valeport MIDAS SVP 600 - Sonde der Firma Valeport Ltd am 28. und 29. Oktober, sowie am 13. November 2010 jeweils ein Wasserschallprofil erfasst. Anschließend wurden die Wasserschallprofilaten mithilfe der Software DataLog Express ausgewertet und in ATLAS Hydromap Control, der Kontroll- und Steuerungssoftware des HYDROSWEEP Systems, als auch in der HYPACK-Software eingelesen

Die SVP-Sonde misst während des „Downcast“, dem Herablassen an einem Stahlseil, entsprechend den Einstellungen, jeden Meter bzw. jede Sekunde die Wasserschallgeschwindigkeit über eine geeichte Messstrecke, mithilfe eines Ultraschallsensors und speichert das Ergebnis intern ab. Die Variationen der Laufzeit stellen die unterschiedliche Wasserschallgeschwindigkeit in den verschiedenen Wasserschichten dar. Anschließend kann die Sonde mit der Software Data Log Express ausgelesen und die Daten weiterverarbeitet werden. Während der Expedition ANT-XXVII/1 wurden die Wasserschallprofile bis zu einer Tiefe von 2500 m gemessen (AWI, 2010a). Die Genauigkeit der Schallgeschwindigkeitsmessung dieses Instruments liegt bei ca. 0,02 m/s mit einer Auflösung von 0,001 m/s (Valeport, 2011).

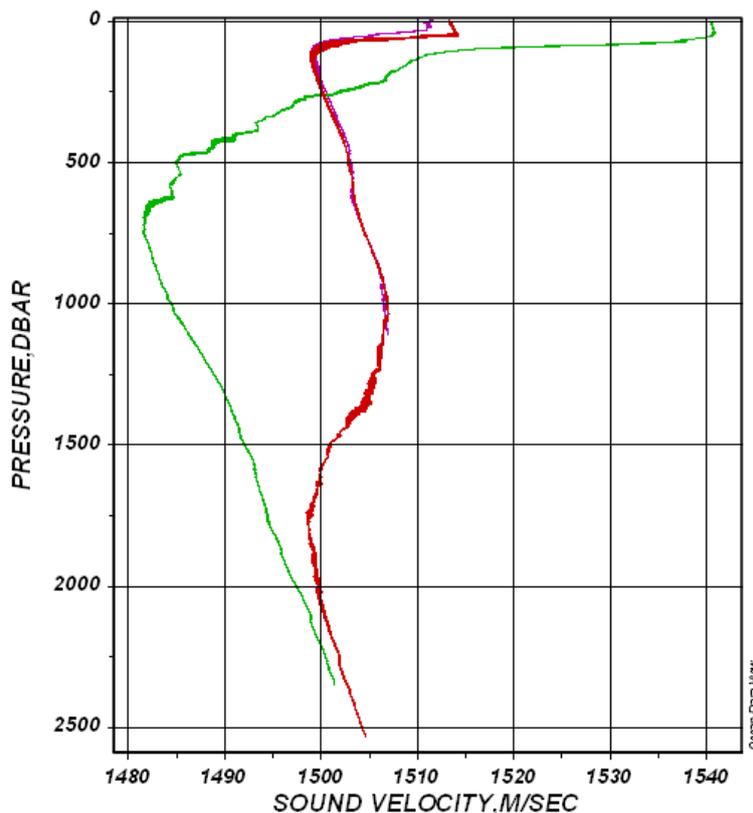


Abb. 5.1: Wasserschallgeschwindigkeitsprofile der Stationen PS77/0002-1 vom 28.10.10 (in violett), PS77/0005-1 vom 29.10.2010 (in rot) und PS77/0011-2 vom 13.11.10 (in grün) (AWI, 2010b)

5 Durchführung der Kalibrierung

5.2. Editieren der Daten als Grundlage für die Kalibrierung

Ziel des Editierens ist an dieser Stelle die Vermeidung von Fehlinterpretationen während der Kalibrierung aufgrund von Ausreißern und systematischen Fehlern in den Tiefenwerten. Dabei ist die Messgenauigkeit von 0,5-1 % der Tiefe zu berücksichtigen, wobei benachbarte Punkte in einem Swath um weniger als 0,5 % der Wassertiefe zueinander variieren sollten.

Für das Editieren ist es wichtig, sich über auftretende Fehler und ihre Quellen bewusst zu sein. Dabei muss zwischen systematischen und zufälligen Fehlern unterschieden werden. Grobe Fehler dürfen hingegen nicht auftreten, da dies auf gänzlich fehlerhafte Hardware oder Probleme bei der Messdatengewinnung (z.B. Luft oder Eis unter den Wandler-Elementen) zurück zu führen ist und nicht mittels Editieren behoben werden kann.

Systematische Fehler sind nach (Schenke, 1992):

- Roll-, Stampf- und Gierfehler und durch die zugehörigen Offsets verursachte Abweichungen
- Höhenfehler (Hub)
- Positionsfehler des Schiffes
- Refraktionsfehler durch falsche Wasserschallgeschwindigkeit

zufällige Fehler:

- Interferenzen durch andere hydroakustische Messsysteme oder Störgeräusche des Schiffs
- Rückstreuungseigenschaften des Meeresbodens
- Omega-Effekt (an Hängen wird teilweise das seitliche Echo der Schallkeule vor dem eigentlichen Echo empfangen und erzeugt somit eine flachere Tiefe)
- Tunnel-Effekt (bei einem seitlich geneigten Schallkegel wird anstatt des eigentlichen Echos das früher empfangene Signal einer vertikal gerichteten Nebenkeule verarbeitet, so dass die äußeren Beams flacher als tatsächlich dargestellt werden.)

Daher müssen die Daten vor dem weiteren Postprocessing auf Fehler kontrolliert und gegebenenfalls editiert werden. Da die Kalibrierung entsprechend der Durchführung auf ANT-27/1 nachvollzogen werden sollte, wurden die Daten separat in HYPACK als auch in CARIS editiert. Die Editierung wurde im Hysweep MB Max-Editor von HYPACK und manuell im Swath-Editor des Software-Programms CARIS HIPS/SIPS durchgeführt.

In HYPACK wurde bei der Aufnahme und während der Auswertung keine Tide angebracht, erkenntlich aus den TID-Markierungen in den *.HSX-Dateien. Dies liegt daran, dass sich die Gezeiten auf den Ozeanen deutlich geringer auswirken und Beträge von nur wenigen Dezimetern haben. Bei einer Tiefengenauigkeit von 0,5-1 % der Wassertiefe wirkt sich die Anbringung der Tide daher kaum aus und kommt lediglich im Flachwasser zur Geltung. Daher ist die Anbringung der Tide nach IHO S-44 im Tiefenbereich von tiefer als 200 m auch nicht nötig.

Da die Wasserschallgeschwindigkeit bereits in Hydromap Control und HYPACK importiert und berücksichtigt wurde, wird davon ausgegangen, dass diese im Nachhinein nicht erneut an die Daten angebracht werden muss. Dabei ist die Wasserschallgeschwindigkeit für die Kalibrierung

5 Durchführung der Kalibrierung

vernachlässigbar, da sich das zu bestimmende Winkelverhältnis, aufgrund desselben Ausstrahlwinkels, davon nicht beeinflussen lässt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen in beiden Programmen dieselben Einstellungen vorgenommen werden.

5 Durchführung der Kalibrierung

5.2.1. Editieren in HYPACK

Zur besseren Orientierung wurde für die Kalibrierung ein neues Projekt "ANT-27_1_neu.ini" in HYPACK angelegt mit Mercator als Projektion und WGS84 als Ellipsoid, entsprechend den auf Polarstern genutzten winkeltreuen nautischen Karten. Analog zum früheren ATLAS Hydromap Online-System wurden keine weiteren Einstellungen in der „Geodesy“ angebracht, da dies angeblich die Einstellungen auf ANT-XXVII/1 waren. In dieses Projekt wurden die genutzten Daten, die in einem gesonderten Ordner Calibration (Von User6\ANTXXVII1_Fred\Calibration (siehe Daten-CD)) ohne Bezug zu den ursprünglichen Projekteinstellungen abgelegt waren, importiert. Dabei stellte sich im Nachhinein unter Betrachtung der Ursprungsdateien im Projekt Daten ANT 27_1\ANTXXVII1\hypack\PST (siehe Datenträger) heraus, dass die Daten mit anderen Einstellungen erfasst wurden: Im „Geodesy“-Fenster, zur Einstellung der Projektionsparameter, war der Zentralmeridian auf 3°W statt der erwarteten 0°W eingestellt. Dies wäre möglicherweise früher aufgefallen, wäre zuvor das Original-Projekt geöffnet und daraus das neue Projekt erstellt worden, um die korrekten Einstellungen der „Geodesy“ zu übernehmen.

In dem Projekt werden die aufgenommenen *.HSX-Dateien geöffnet und im HYSWEEP Editor (MB Max) ohne die Verwendung von automatischen Filtern editiert. Allerdings scheint auf ANT-XXVII/1 ein automatischer Filter die hochgebogenen Außenbeams entfernt zu haben. Die *.RAW-Daten werden hier nicht weiter genutzt.

Während des Editiermodus wurden die Ausreißer und hochgebogenen Daten gelöscht.



Abb. 5.2: Editieren mithilfe der Querschnitts-Darstellung „By Rows“.

5 Durchführung der Kalibrierung

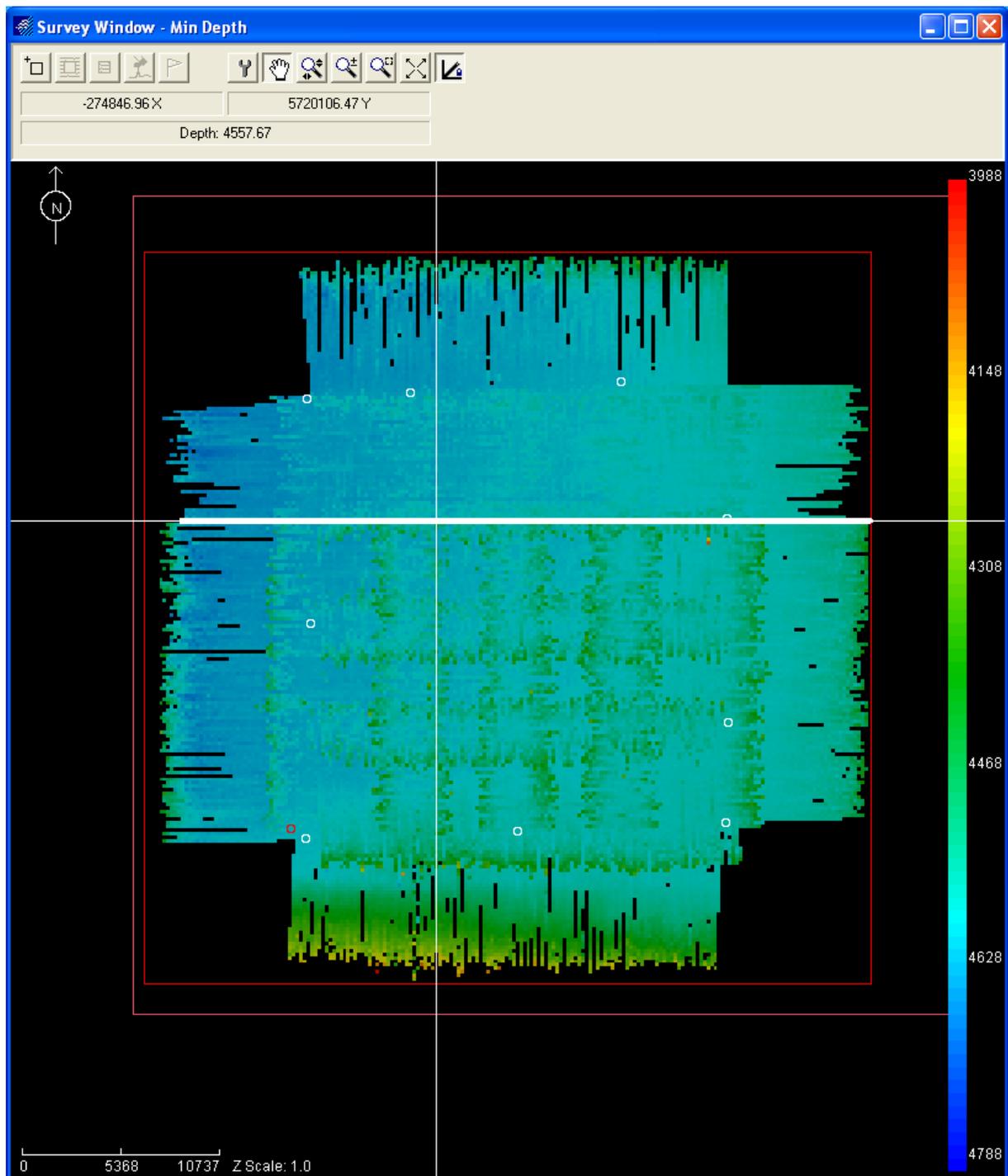


Abb. 5.3: Zwischenstand des Editierens am Beispiel der QC-Fläche. Im oberen Bereich sind die hochgebogenen Beams bereits editiert, im unteren Teil hingegen noch deutlich sichtbar

Da die Wasserschallgeschwindigkeit bereits vor der Messung eingelesen und jeweils angebracht wurde, musste diese in der Prozessierungskette, nach damaligem Wissensstand, nicht erneut angewandt werden. Lediglich für die später erfolgte Kalibrierung des Pitch-Bias in der Romanche-Bruchzone sollte im Nachhinein ein SV-File eingefügt werden, da die letzte Wasserschallprofilmessung 14 Tage zuvor stattfand und sich seit dem das Messgebiet, und dem entsprechend das Wasserschallprofil, geändert hatte. Das verwendete Wasserschallprofil wurde

5 Durchführung der Kalibrierung

dabei erst nach der Messung erfasst, sodass es erst im Anschluss im Post-Processing an die Daten angebracht werden konnte.

Durch die oben genannten unbewussten falschen Einstellungen trat zunächst in sämtlichen Daten ein Fehler von 3° auf. Dadurch wurden nahezu sämtliche Daten um 3° nach Osten auf das Festland von Frankreich verschoben. Dies konnte weder durch Projektion in eine andere UTM-Zone noch durch den in HYPACK für diesen Fall konzipierten Export gelöst werden. Auch Mitarbeiter der Firma HYPACK konnten diesen Fehler nicht beheben. Letztlich lag der Fehler lediglich in den falschen „Geodesy“-Einstellungen und konnte durch Verwendung der richtigen Projektionsparameter behoben und die Kalibrierung erneut durchgeführt werden. Dabei hatten die unterschiedliche Projektion jedoch keinen Einfluss auf die Tiefendaten und die Kalibriereigenschaften.

Allerdings lässt die gesamte Darstellung von HYPACK 2010 bisher noch einiges zu wünschen übrig, da in der HYPACK-„Main Shell“ nur die Trackpunkte anstatt des gesamten Swaths angezeigt werden. Die Darstellung der gesamten Tiefendaten ist lediglich in HYPACK-Survey und HYPACK-Editor möglich.

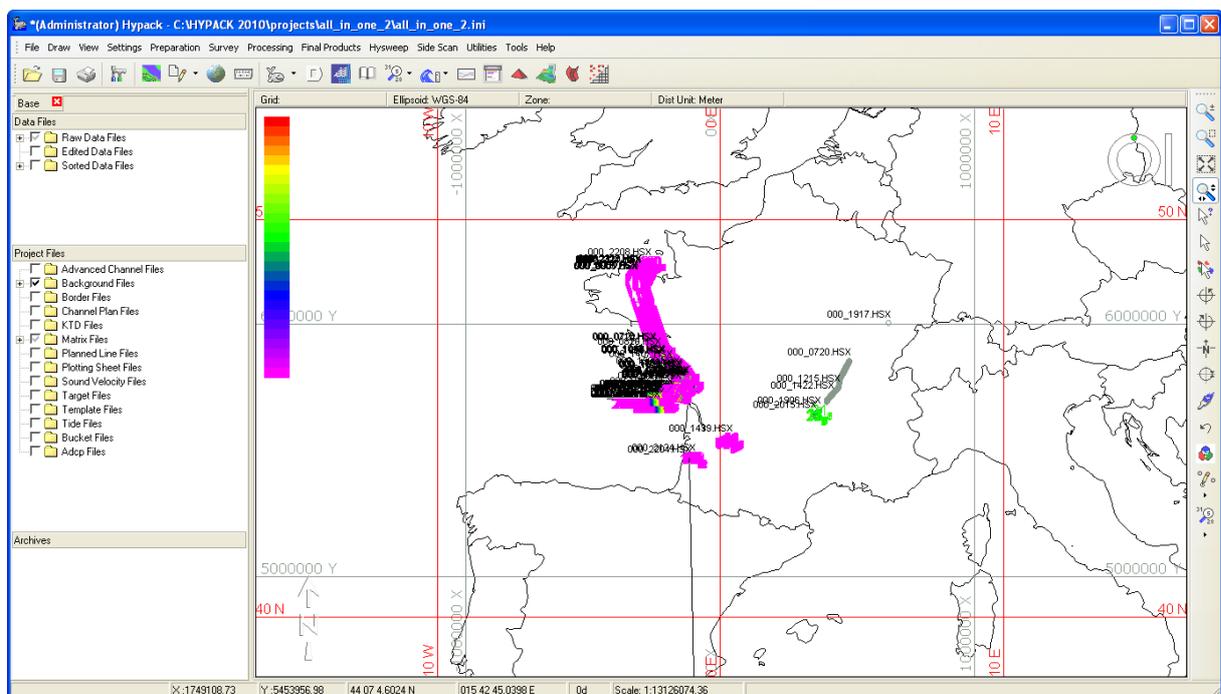


Abb. 5.4: Screenshot der *.HSX-Daten in der HYPACK-Main Shell, mit dem 3° -Fehler, der die Daten auf das Festland Frankreichs verschoben hat.

Um weitere Probleme mit falschen Projektionen zu umgehen, wurde von der Firma HYPACK der Bathymetriegruppe des AWI nahegelegt, die UTM-Projektion mit der jeweiligen UTM-Zone und WGS84 als Ellipsoid anstatt Mercator zu verwenden. Dem entsprechend müssen auch die hinterlegten Karten eingestellt sein, da sie sonst verzerrt werden. Dabei werden die Vektor-Daten der Karte trotz mitgelieferter Projektionsdatei nicht umprojiziert.

5 Durchführung der Kalibrierung

Dieses Problem der falschen Projektion hat sich nun sicherlich erübrigt, wobei ein automatisches Ausrichten der Daten, nach den Projektionsinformationen in der *.RAW-Datei durch das Programm sinnvoll erscheint.

5.2.2. Editieren in CARIS

Für die Kalibrierung in CARIS 6.1 wurde ebenfalls ein neues Projekt, hier jeweils für den einzelnen Kalibrierabschnitt, erstellt. Darin wurde Polarstern_HDBE als VesselConfig-File und der 28.10.2010 (Tag 301) als Tag der Vermessung eingestellt. Im VesselFile wurden keine Einstellungen vorgenommen, sodass die Offsets und Biases sämtlich auf Null gestellt sind, da angenommen wird, dass die von ATLAS gelieferten Daten mit den entsprechenden Einstellungen aus Hydromap Control berücksichtigt werden (CARIS, 2011). Anschließend konnten die *.HSX- und *.RAW-Daten aus dem HYPACK-Projekt, mithilfe des CARIS - „conversion wizards“ importiert werden.

Beim Import der HYPACK-Daten in CARIS konnte der 3°-Fehler in CARIS 6.1 über das nacheinander einfügen von *.RAW und *.HSX-Dateien gelöst werden, da die *.RAW-Dateien die Parameter beinhalten, mit denen die Lage der Datenpunkte zurück transformiert werden kann. Somit wurde in diesem Fall das Problem gelöst, da keine Unterschiede in den Daten der jeweiligen Projektion festgestellt wurden. In Caris 7.0 wird die jeweilige *.RAW-Datei automatisch mitgeführt, solange sie im selben Ordner wie die *.HSX-Datei liegt. Ansonsten werden falsche Koordinaten erzeugt oder Programmabstürze hervorgerufen. Während ANT-XXVII/1 wurden hingegen jeweils 3° von den Koordinaten der Longitude abgezogen.

Für einige der *.RAW-Dateien fehlen die zugehörigen *.HSX-Dateien, sodass einige Profile aufgrund der fehlenden Tiefendaten unbrauchbar sind.

Die vorhandenen Daten wurden je Profil im Swath Editor geöffnet und pingweise editiert. Anhand der Darstellung kommen der übersteuerte Nadirbereich und die schlechten Außenbeams stärker zur Geltung (siehe Abb.: 5.5). Für die Kalibrierung wurden die hochgebogenen Außenbeams teilweise entfernt. Dies ist für die Kalibrierung nicht zwangsweise nötig, solange die Struktur erhalten bleibt, da alle Beams entsprechend systematisch verformt sind.

5 Durchführung der Kalibrierung

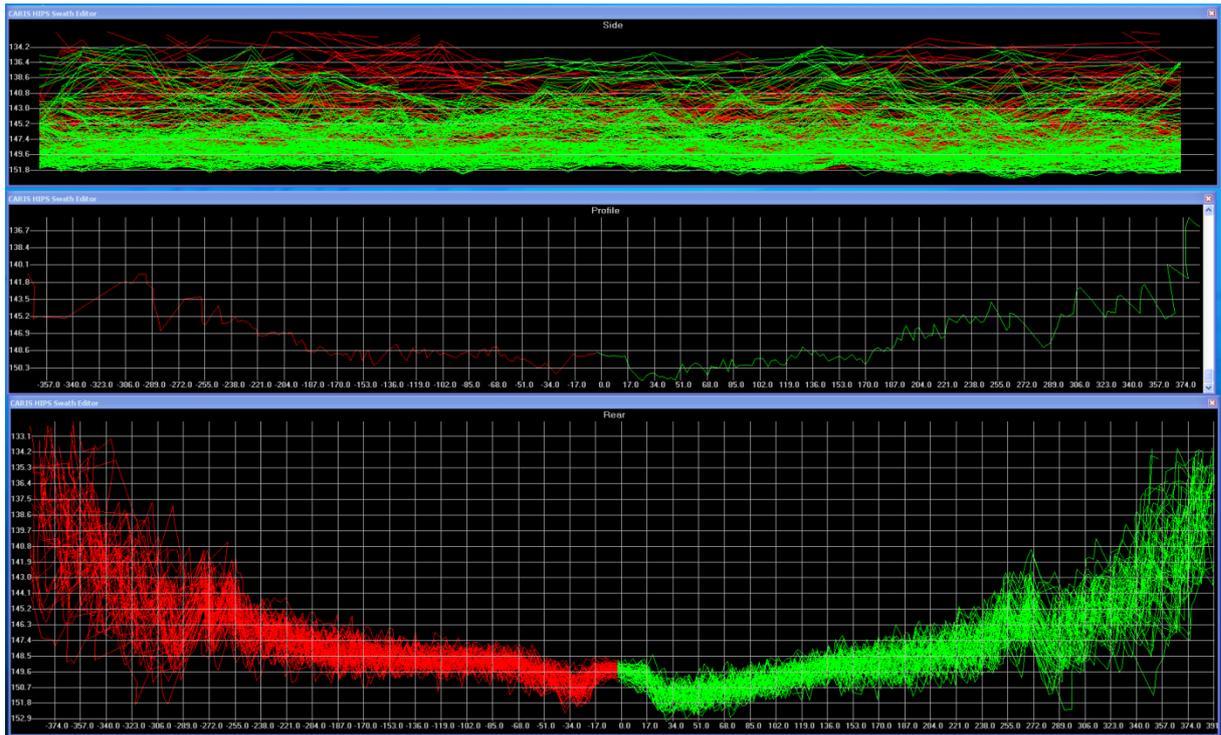


Abb. 5.5: Im Side, Profile und Rear View des CARIS HIPS Swath Editors sind die übersteuerten Nadir - und die systematisch verfälschten Außenbeams deutlich zu erkennen.

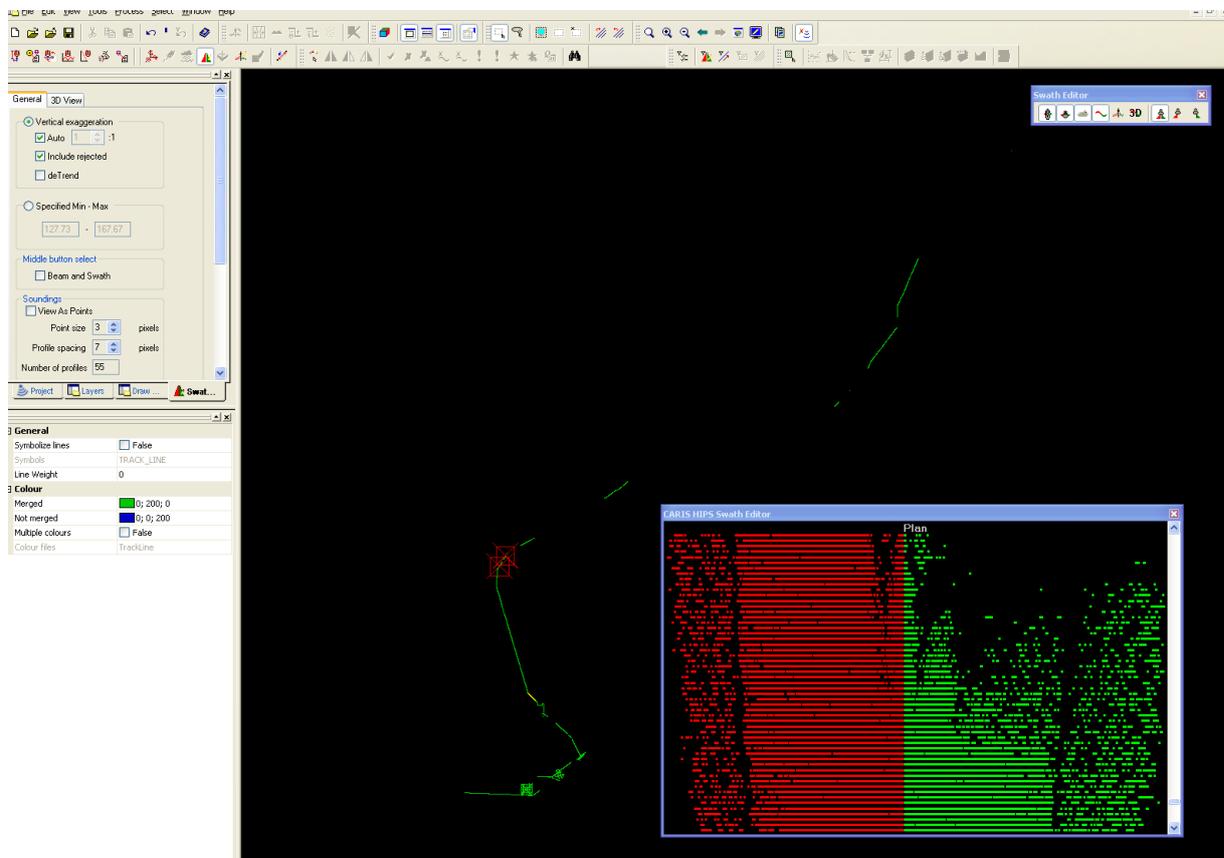


Abb. 5.6: Der „Plan View“ des Fächers im Swath Editor stellt die gemessenen Daten des gefahrenen Tracks als Draufsicht dar.

5 Durchführung der Kalibrierung

Um die Daten der einzelnen Sensoren von MINS und Echosounder nach dem Editieren zusammen zu führen, werden diese in CARIS „gemerged“. Dabei wird über das HIPS Vessel File (VesselConfig) die Beziehung zwischen den einzelnen Sensoren und den gemessenen Tiefen hergestellt und jedem Tiefenwert eine eindeutige Position in geographischen Koordinaten zugewiesen (CARIS, 2008). Die Biases für Roll, Pitch, und Yaw (Heading) wurden, nach damaligem Kenntnisstand, bereits zuvor in Hydromap Control an die Daten angebracht, sodass in den Vessel Files keine Werte eingetragen sind.

Für den Schritt des Mergens benötigt CARIS eine Information über die Tide, die allerdings für Polarstern nicht relevant und daher nicht aufgezeichnet worden ist. Dies entspricht den Anforderungen der IHO S-44, da laut Order 3, ab 200 m Wassertiefe für gewöhnlich keine Tiden angebracht werden müssen. Dies hat den Hintergrund, dass sich die vergleichsweise geringen Tiden in der Tiefsee mit den erreichbaren Genauigkeiten im offenen Ozean nicht signifikant sind. HYPACK legt in diesem Fall eine Tidendatei mit dem Wert Null an, während EIVA keine Tide registriert. Um in diesem Fall das Mergen zu ermöglichen, liefert CARIS die „Zerotide.tid“, eine Tidendatei, die keine abweichenden Tiefeninformationen enthält.

Diese Tidendatei kann auf beide Datensätze angebracht werden, da ein erneutes Anbringen der Tide in CARIS nicht zu geänderten Tiefenberechnungen, sondern zum Überschreiben der bisherigen Informationen führt. Folglich hat das Anbringen der Zerotide auf die Daten in beiden Fällen keine Auswirkung.

5 Durchführung der Kalibrierung

5.3. Kalibrierung mit HYPACK

Die Kalibrierung, auch „Patch Test“ genannt, wird in der Software HYPACK 2010 erst nach dem Editieren ermöglicht. Dafür müssen die Daten erneut mit dem Hysweep Editor (MB Max) in der Editierphase 3 geöffnet werden. Es empfiehlt sich dabei, jeweils nur die zwei zu kalibrierenden Profile einzuladen, um Verwechslungen zu vermeiden.

Um die Kalibrierung nachzuvollziehen, wurden die entsprechenden *.HSX-Dateien aufgerufen. Dabei wurde analog zu Kapitel 5.2.1 vorgegangen, um den Kalibriermodus in Editierphase 3 zu erreichen.

Die Kalibrierung wird mithilfe von Profilquerschnitten (Cross Sections) vollzogen. Durch das manuelle Definieren einer Linie im zu untersuchenden Bereich der beiden Profile öffnet sich das Kalibrierfenster (Patch Test Window), in dem die Daten auf dieser Linie angezeigt werden. Die Möglichkeit automatische Cross Sections zu nutzen, ist hierfür nicht sinnvoll, da die Position der genutzten Querschnittslinie nicht eindeutig bekannt ist. Welche Variante genutzt wurde, ist aus den zur Verfügung gestellten Informationen nicht ersichtlich.

Eine Aussage über die mit dieser Querschnittslinie umfasste Menge der Daten ist hier nicht möglich, da der genutzte Bereich nicht dargestellt wird.

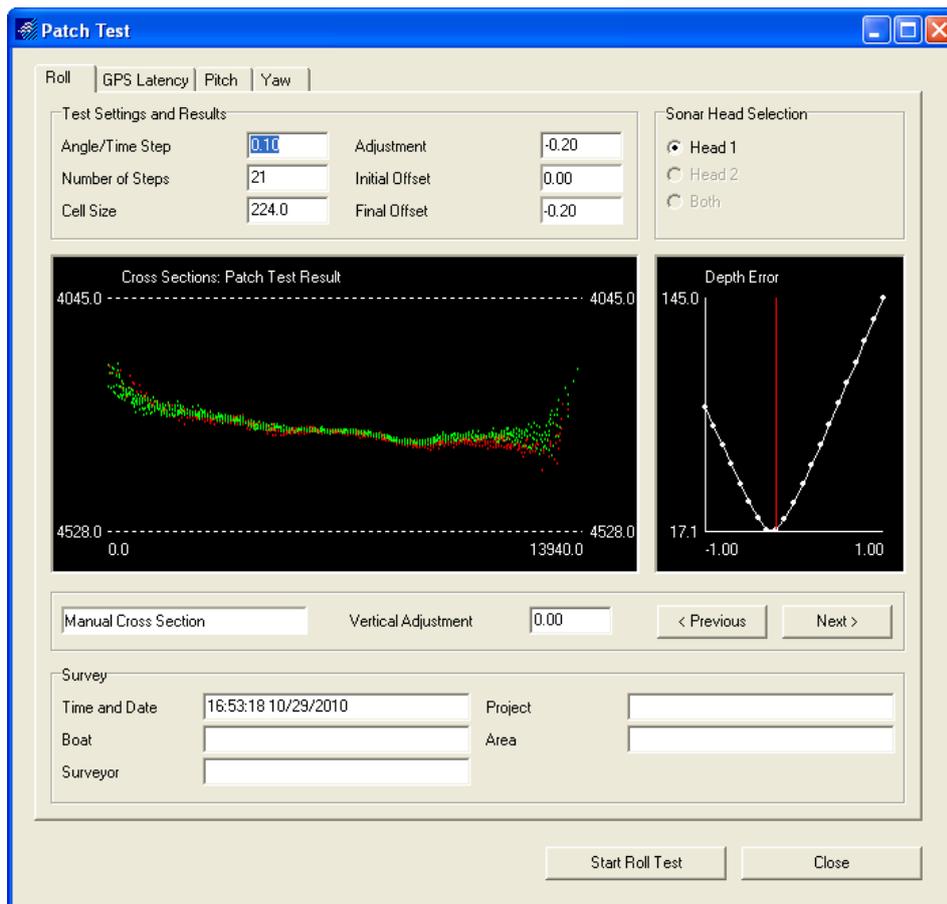


Abb. 5.7: Screenshot des Patch Test Windows von HYPACK am Beispiel der Rollkalibrierung.

5 Durchführung der Kalibrierung

Bei der Durchführung ist die visuelle Kalibrierung durch das Übereinanderschleben der Daten häufig korrekter als die berechneten Werte des „Minimum Error“, aufgrund der Strukturen, die u.U. von dem Berechnungsalgorithmus nicht richtig erkannt und berücksichtigt werden.

Der Minimum Error wird mithilfe der numerischen Methode berechnet. Dabei wird an verschiedenen Winkelversätzen (Angle Offsets) von -10° bis $+10^\circ$ in 1° Schritten der Offset als mittlerer Fehler zwischen den Tiefenabweichungen der Cross Section berechnet.

Dieser Fehler wird U- oder V-förmig im Kalibrierfenster von HYPACK graphisch dargestellt, indem auf der Hochachse der Fehler als Abweichung zwischen den Cross Sections und auf der Querachse die entsprechende Justierung als Winkel oder Zeit angezeigt wird (HYPACK, 2010a)

Laut HYPACK (HYPACKManual.pdf) ist der Rollfehler der wichtigste zu bestimmende Fehler. Die Kalibrierung des Rollfehlers ist nach den Angaben in allen Datensätzen bestimmbar und erreicht reproduzierbare Ergebnisse, was auch während der Überprüfung fest zu stellen war. Hingegen ist es durchaus möglich, dass die Ergebnisse der anderen Bias-Kalibrierungen nicht übereinstimmen. In diesen Fällen sollten die Ergebnisse gemittelt werden. HYPACK geht dabei davon aus, dass ein GPS-Positionsdrift dafür verantwortlich sei (HYPACK, 2009). Diese Probleme sind auch während der Kalibrierung aufgetreten und lassen an der Genauigkeit dieser Methode zweifeln.

Laut Joseph Burnett von HYPACK ist die Kalibrierung unabhängig von der Geodesy oder des Schallprofils. Deshalb wurde die Kalibrierung zusätzlich in der entsprechenden UTM-Zone 30N, mit WGS 84 als Bezugsellipsoid durchgeführt. Die Ergebnisse wichen nur geringfügig von den auf ANT-XXVII/1 ermittelten Werten ab. Lediglich der Pitch-Bias der MINS 1 variiert stärker zu den während der Kalibrierfahrt bestimmten Ergebnissen.

Die Ergebnisse der Kalibrierung sind aus der Tabelle 3 unter Kapitel 5.4.5 ersichtlich

5.3.1. Time Latency

Die Kalibrierung der Time Latency auf ANT-XXVII/1 wurde entsprechend der Vorgaben (siehe Kapitel 4.1) durchgeführt. Dabei wurden sogar vier Linien übereinander gefahren mit einem Linienpaar je Positionssystem. Folglich wurden zwei Linien für das GNSS sowie für das System MINS aufgenommen.

Für gewöhnlich werden die Messungen über die MINS positioniert, daher ist der Wert des Offsets und des Bias für die MINS entscheidend. Allerdings ist die MINS das Instrument, welches unter anderem die GPS-Daten verarbeitet und an das Fächerecholot weitergibt. Somit ist eine Überprüfung der zur MINS gesendeten GPS-Daten mithilfe der Kalibrierung ebenfalls sinnvoll.

Die Werte der Kalibrierung wurden mehrfach überprüft. Dabei wurde in sämtlichen Einstellungen, aufgrund des hohen Rauschens, eine eindeutige Festlegung auf einen von Null abweichenden Minimalwert für den Latency Fehler als zu spekulativ erwohnen (siehe Abb. II.1 und II.2 unter II.1.1.1 Anhang B). Als Endergebnis wurde daher $0,0$ s für die Time Latency für GPS und MINS festgelegt, da die Abweichungen um etwa $\pm 0,5$ s um den Nullpunkt schwanken. Innerhalb dieses Rahmens sind keine signifikanten Änderungen der Time Latency festzustellen, die auf einen anderen Wert schließen lassen (siehe Abb. I.1 und I.2 unter II.1.1 Anhang B).

5 Durchführung der Kalibrierung

5.3.2. Pitch

Für die Kalibrierung des Pitch Bias wurden, analog zu den Vorgaben, die Profile möglichst übereinander gefahren (siehe Abb.: II.3 und II.4 unter II.1.1.2 Anhang B). Dabei wurden sogar acht Profillinien gemessen, mit entsprechend zwei Profillinienpaaren je MINS. Die Ergebnisse liegen mit einem Rauschen von $\pm 0,5^\circ$ vor.

(siehe Tabellen unter I.2 in Anhang A)

5.3.3. Heading

Die Heading-Profile beinhalten in HYPACK aus noch nicht geklärten Gründen einen horizontalen Positionsversatz von ca. 900 m (siehe Abb. II.5 und II.6 unter II.1.1.3 Anhang B). Eine verwechselte MINS dürfte einen solchen Versatz nicht auslösen und auch die GPS-Geräte an Bord mit Abweichungen von ca. 0,5 m bis 5 m für MW-GPS sowie ca. 15 m für GPS sind deutlich genauer und ermöglichen keinesfalls einen 900 m Versatz in den Daten.

Durch diesen Versatz sind in HYPACK keine übereinstimmenden Strukturen in den Daten zu erkennen, nach denen sich für die Kalibrierung orientiert werden könnte (siehe Abb. 5.8 sowie Abb II.5 und II.6 unter II.1.1.3 Anhang B)

Hinzu kommt die Tatsache, dass an dieser Stelle die Kalibrierprofile vertauscht wurden. Dabei wurde jeweils die MINS 1 auf dem einen Profil hin und zurück und MINS 2 analog auf dem zweiten Profil genutzt. Dies hätte allerdings, entsprechend der Vorgaben, jeweils parallel versetzt in entgegengesetzte Richtung geschehen sollen. Dies ist nun offenbar nicht geschehen. Damit sind die Daten unbrauchbar, da zwei verschiedene Motion Sensoren für diesen Fehler nicht miteinander verglichen werden können und die Fahrt auf einem Profil hin und zurück nicht zum gewünschten Ergebnis führt. Theoretisch könnte zwar trotzdem aus diesen Werten der Heading-Bias berechnet werden, dies scheint aber aufgrund der in der Software implementierten Berechnungsalgorithmen mit HYPACK nicht möglich.

Daher konnte weder auf ANT-XXVII/1, noch in der Nachbereitung, die Kalibrierung des Heading-Bias für diese Datensätze mit HYPACK durchgeführt werden.

Eine Kalibrierung in CARIS HIPS hat dabei in der einen Richtung einen Fehler von $-0,6^\circ$ und in der entgegengesetzten $+0,6^\circ$ erbracht und unterstreicht damit die Unbrauchbarkeit der Daten. Anhand des Bildes ist gut zu erkennen, dass die Profile in dieselbe Richtung gefahren worden sind, da die Startpunkte, in HYPACK mit einem kleinen Kreis an der Linie markiert, im unteren Bereich des Hangs liegen. Anhand des Bildes ist der seitliche Versatz deutlich zu erkennen. Ein durch leichte Schrägstellung des Wandlers hervorgerufener Versatz in Profilrichtung, entsprechend des Heading-Winkels, ist hingegen nicht erkennbar.

Aufgrund der zu dem Zeitpunkt nicht bekannten Gründe des Versatzes wurde von einer weiteren Kalibrierung des Heading-Bias zunächst abgesehen.

5 Durchführung der Kalibrierung

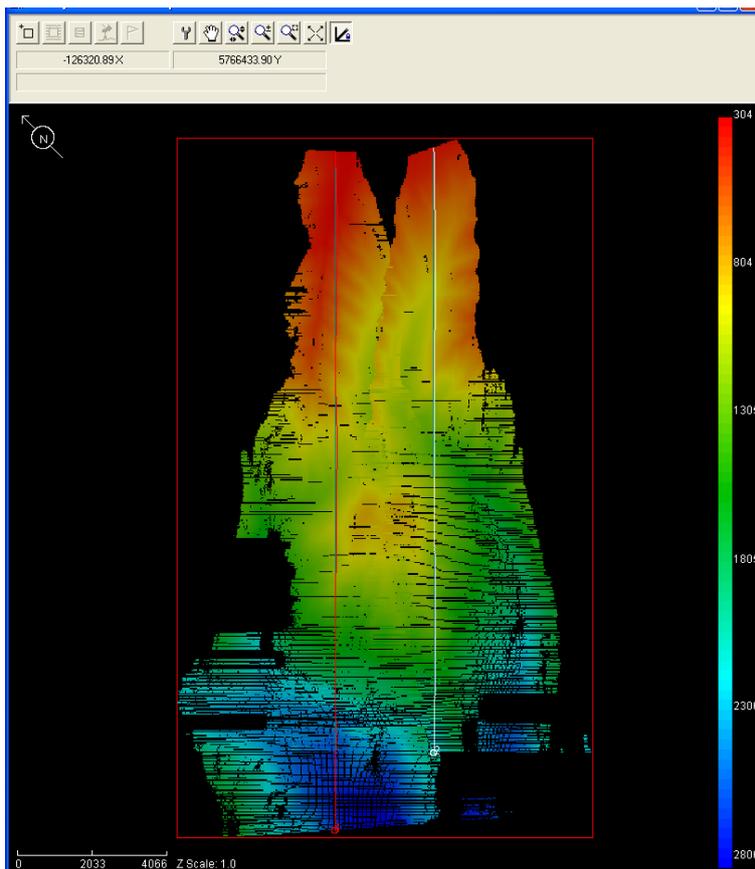


Abb. 5.8: Die um ca. 900 m versetzten Heading-Profile sind für die Kalibrierung mit HYPACK nicht nutzbar, da sie aus derselben Richtung befahren wurden. Die Auswirkung des Heading-Bias wird durch den Versatz in den Daten sichtbar.

5.3.4. Roll

Auch die Erfassung des Roll-Fehlers wurde entsprechend der Vorgaben unter Kapitel 4.4 durchgeführt. Dabei ist der Roll-Fehler im Vergleich zu den anderen Biases sehr leicht zu erkennen, da der Querschnitt des einen mit dem Querschnitt des anderen verglichen wird, wodurch die Strukturen aufeinander zum Liegen kommen (siehe Abb. II.7 und II.8 unter II.1.1.4 in Anhang B).

Die Erfassung des Roll-Fehlers gelingt mit einer sehr hohen Auflösung und erreicht einen Wert von $0,21^\circ \pm 0,02^\circ$ für MINS 1 und $0,18^\circ \pm 0,02^\circ$ für MINS 2.

Dabei sind die Werte so genau eingestellt worden, dass während der anschließenden Feinkalibrierung Werte um $0^\circ \pm 0,02^\circ$ erreicht wurden.

5.3.5. Pitch (Romanche-Bruchzone)

Für die „Romanche Calibration“ wurden die Einstellungen analog zu den vorangegangenen Kalibrierungen durchgeführt. Hier wurde nun zusätzlich ein Wasserschallprofil („RT_13112010.vel“) genutzt, da sich im Verlauf der Fahrt die Wasserschallgeschwindigkeit verändert hatte und für eine genaue Vermessung in dem Bereich nicht mehr taugte. In der Romanche-Rinne (siehe dazu auch Kapitel 6.2.2) sollte die Kalibrierung des Pitch-Bias erneut durchgeführt werden, da die Ergebnisse zuvor nicht zufriedenstellend waren. Auch der Heading-Fehler hätte hier noch einmal überprüft

5 Durchführung der Kalibrierung

werden können. Dies ist aber nach dem Stand meiner jetzigen Informationen nicht geschehen und wurde auch während der Nachbereitung aufgrund fehlender Informationen zu den genutzten MINS-Sensoren nicht durchgeführt.

Ergebnisse siehe Tabelle 3 in Kapitel 5.4.5.

5 Durchführung der Kalibrierung

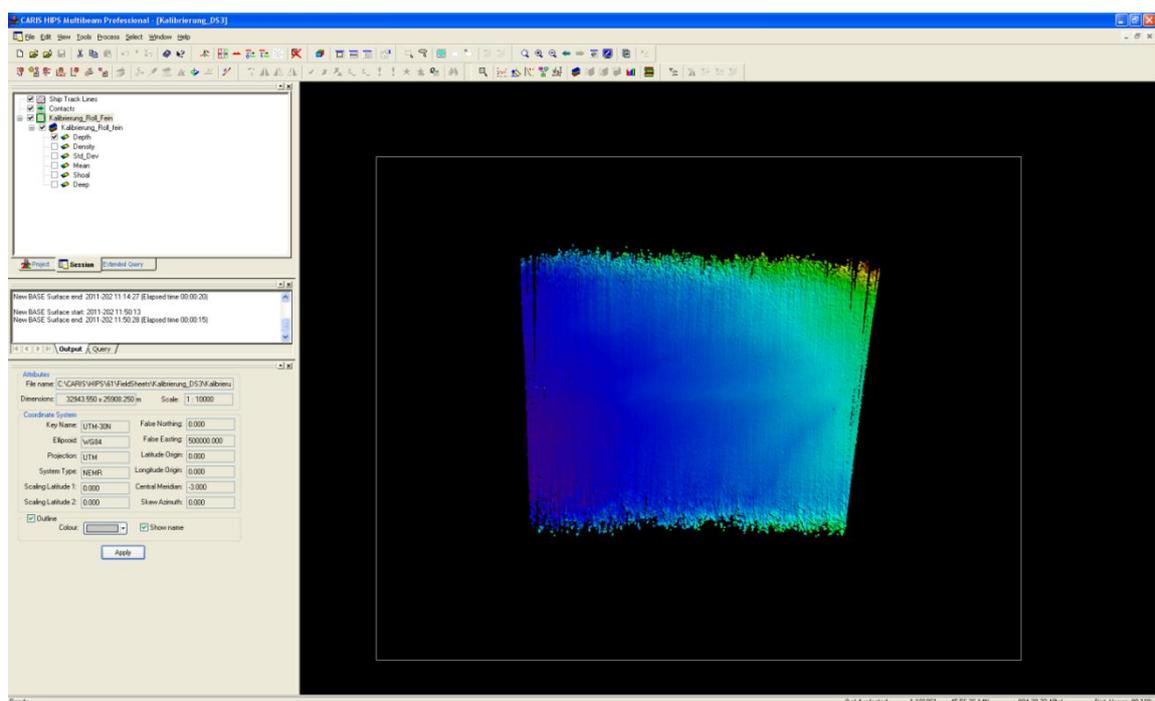
5.4. Kalibrierung mit CARIS

Nach dem Editieren der Daten wird in CARIS HIPS 6.1 das „Calibration“-Tool zum Kalibrieren verwendet. In CARIS 6.1 ist noch die IHO S-44 Version 4 von 1998 (IHO, 1998) implementiert, auf die sich während der Kalibrierung auf ANT-XXVII/1 und der Nachbereitung bezogen wurde. In CARIS wird im Gegensatz zu HYPACK nur eine manuelle/visuelle Kalibrierung durchgeführt, da sich diese Vorgehensweise als erfolgreich bewährt hat. Dabei wird intern über den eingegebenen Korrekturwert, nach den Formeln von A. Godin (siehe Kapitel 4), die Verschiebung der Querschnittsprofile zueinander berechnet (CARIS, 2007).

Um die Kalibrierung nachzuvollziehen, wurde das während der Expedition erstellte CARIS-Projekt „CalibrationDS3“ geöffnet. Allerdings besteht in diesem Projekt der 3°-Fehler, da hier nur die *.HSX-Daten ohne die zugehörigen *.RAW-Daten in CARIS 6.1 importiert wurden. Dieser Fehler dürfte aber keine Auswirkungen auf die Kalibrierergebnisse mit sich bringen, was durch die Überprüfung auch bewiesen wurde.

Im Folgenden sind die Durchführungsschritte dargestellt und die Screenshots, welche beispielhaft die verschobenen Profile zeigen. Die Ergebnisse sind anhand der Tabelle 3 in Kapitel 5.4.5 zu entnehmen. Weitere Abbildungen zur Nachvollziehung der Kalibrierung sind im Anhang unter II.1.2 zu finden.

Vor der Durchführung wurden jeweils Field Sheets mit Base Surfaces zur Darstellung der Daten angelegt (siehe Abb.: II.9 im Anhang unter II.1.2). Die Field Sheets umfassen einen abgegrenzten Bereich, in dem Daten dargestellt werden können. Mithilfe der Base Surfaces werden die Punkte im Bereich des Field Sheets in Form eines Rasterpunktgrids dargestellt. Dabei werden mehrere Grids erzeugt. Unter anderem eine Darstellung der Tiefen und der Standardabweichungen der Daten.



5 Durchführung der Kalibrierung

Abb. 5.9: Field Sheet zur Roll-Feinkalibrierung mit BASE Surface-Darstellung

Anhand der Topographie des Meeresbodens, ersichtlich am BASE Surface, kann verifiziert werden, ob die Anforderungen an das Kalibriergebiet eingehalten wurden. Durch markieren zweier zusammengehöriger Kalibrierprofile und Ausführen des Befehls „Calibration“ unter Tools wird das Kalibrierfenster geöffnet:

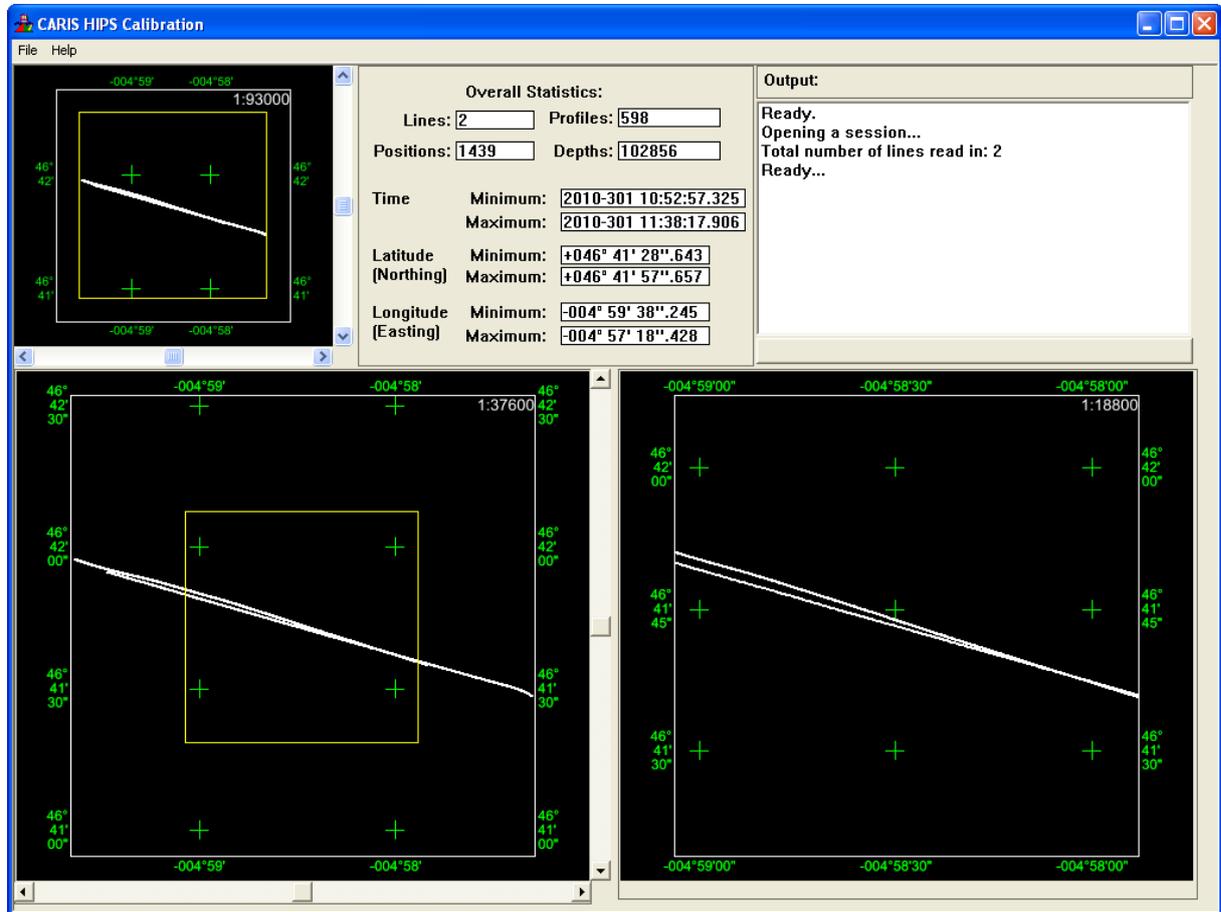


Abb. 5.10: Kalibrierwerkzeug „Calibration“ in CARIS HIPS

Dabei zeigen die drei Fenster denselben Ausschnitt in verschiedenen Maßstäben an. Die Anzeige kann mithilfe der Computer-Maus in die gewünschte Größe gezogen werden, soweit es das Programm zulässt. Die Darstellung ist jedoch auf die angezeigte Fenstergröße beschränkt und kann nur in geringem Maße höher aufgelöst werden.

Anschließend werden, zur Unterteilung des Gebiets und der hohen Datenmengen, in diesem Rahmen Subsets definiert, um Daten performanter bearbeiten zu können. Mehrere kleine Subsets ermöglichen eine schnelle Berechnung und Darstellung der Daten, größere erhalten hingegen die Übersicht der gesamten Geometrie. An dieser Stelle muss auf die Rotation des Subsets um die gemessenen Profile geachtet werden, da eine Berücksichtigung dessen in späteren Schritten nicht möglich ist. Die Kanten des Subsets sollten parallel bzw. senkrecht zu den Profilen liegen.

5 Durchführung der Kalibrierung

Da in CARIS keine automatisierten Kalibriermethoden zur Verfügung stehen, muss der zu verwendende Bereich manuell selektiert werden. Dies erfolgt durch verschieben und aufziehen eines Auswahlfensters.

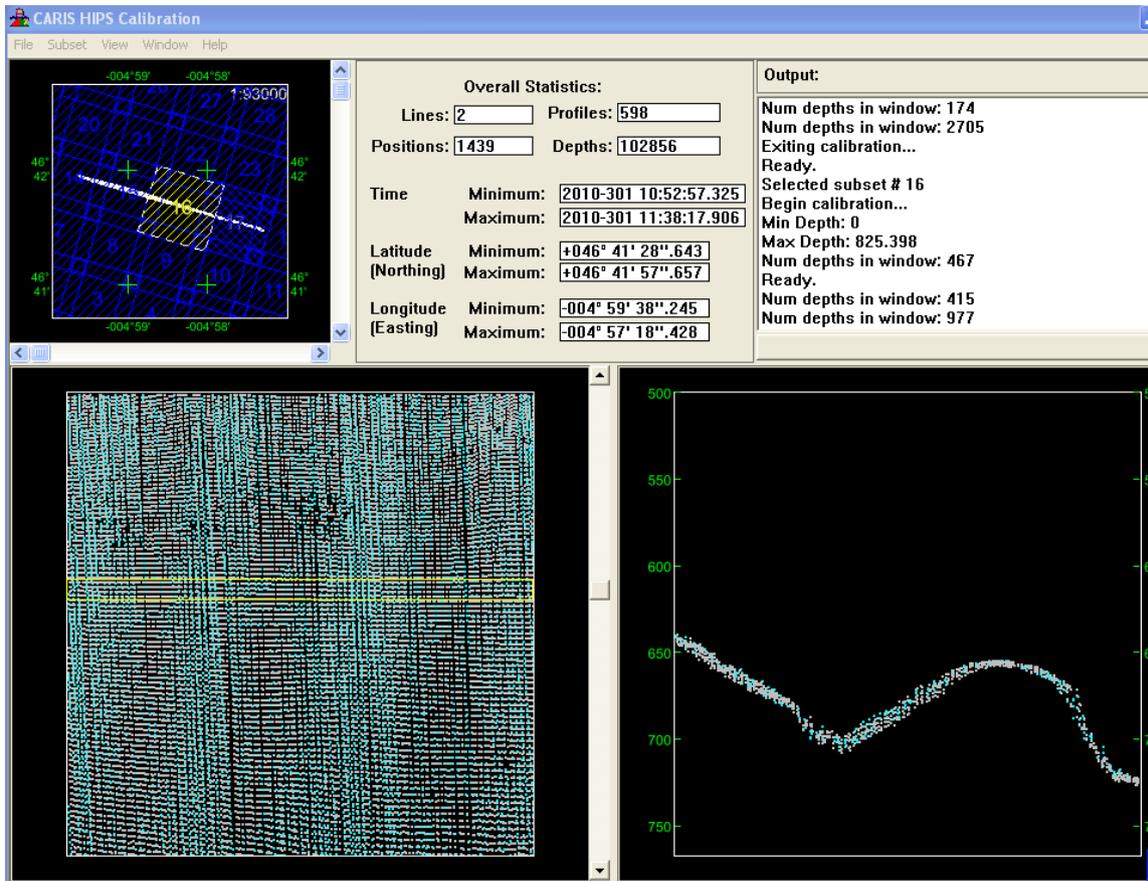


Abb. 5.11: Darstellung des Querprofils des selektierten Bereichs (gelbe Markierung) zur Kalibrierung eines Pitch-Profiles.

Mithilfe des Kalibriertools können die Offsets und Biases eingetragen und die Veränderungen der Querschnittsprofile zueinander beobachtet werden. Dabei besteht hier die Möglichkeit sämtliche Justierungen gleichzeitig anzubringen um bessere Ergebnisse zu erhalten, die weniger von den übrigen Winkel-Fehlern beeinflusst sind.

5 Durchführung der Kalibrierung

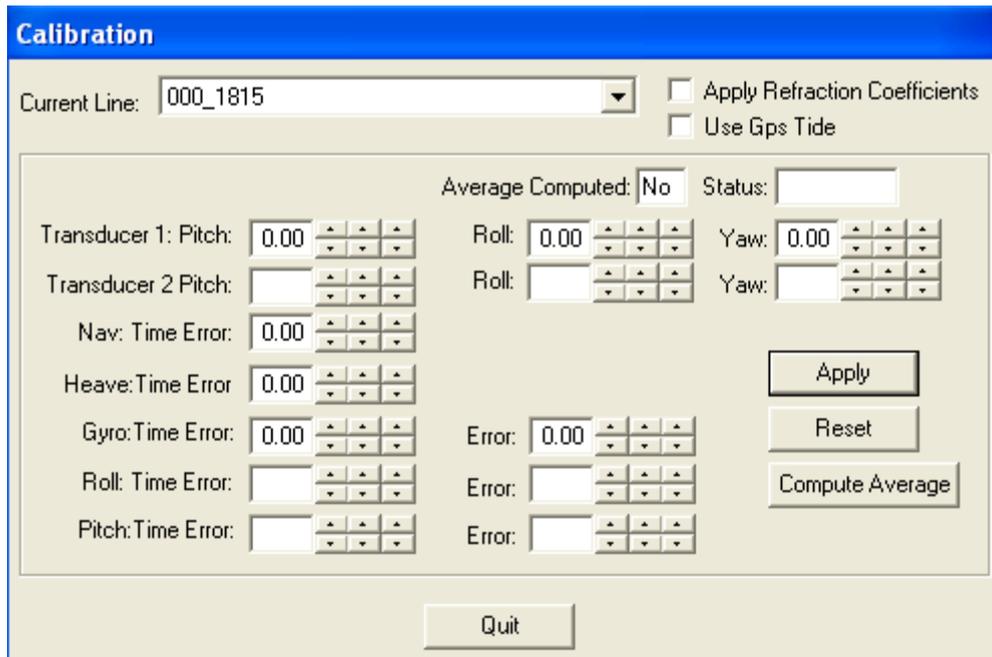


Abb. 5.12: Darstellung des Kalibriertools zur Einstellung der Korrekturwerte für die jeweiligen Offsets

5.4.1. Time Latency

Analog zu den dargestellten Schritten wurde für jeden Offset vorgegangen (siehe II.1.2 Anhang B).

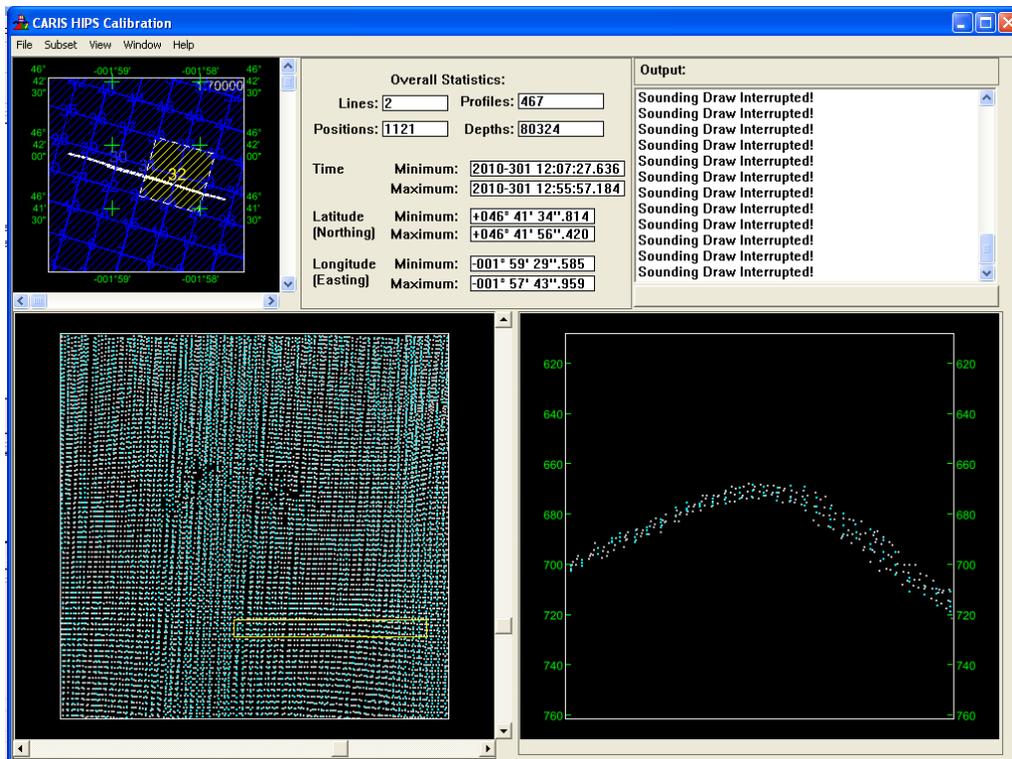


Abb. 5.13: Überlappung zweier Latency Profile zur Bestimmung der Offsets.

5.4.2. Pitch

5 Durchführung der Kalibrierung

Entsprechend wurde ebenfalls der Pitch-Offset detektiert (siehe dazu auch Abb.: II.11 - II.13 unter II.1.2.2 Anhang B). Das Kalibrier-Fenster zeigt sich hier folgendermaßen:

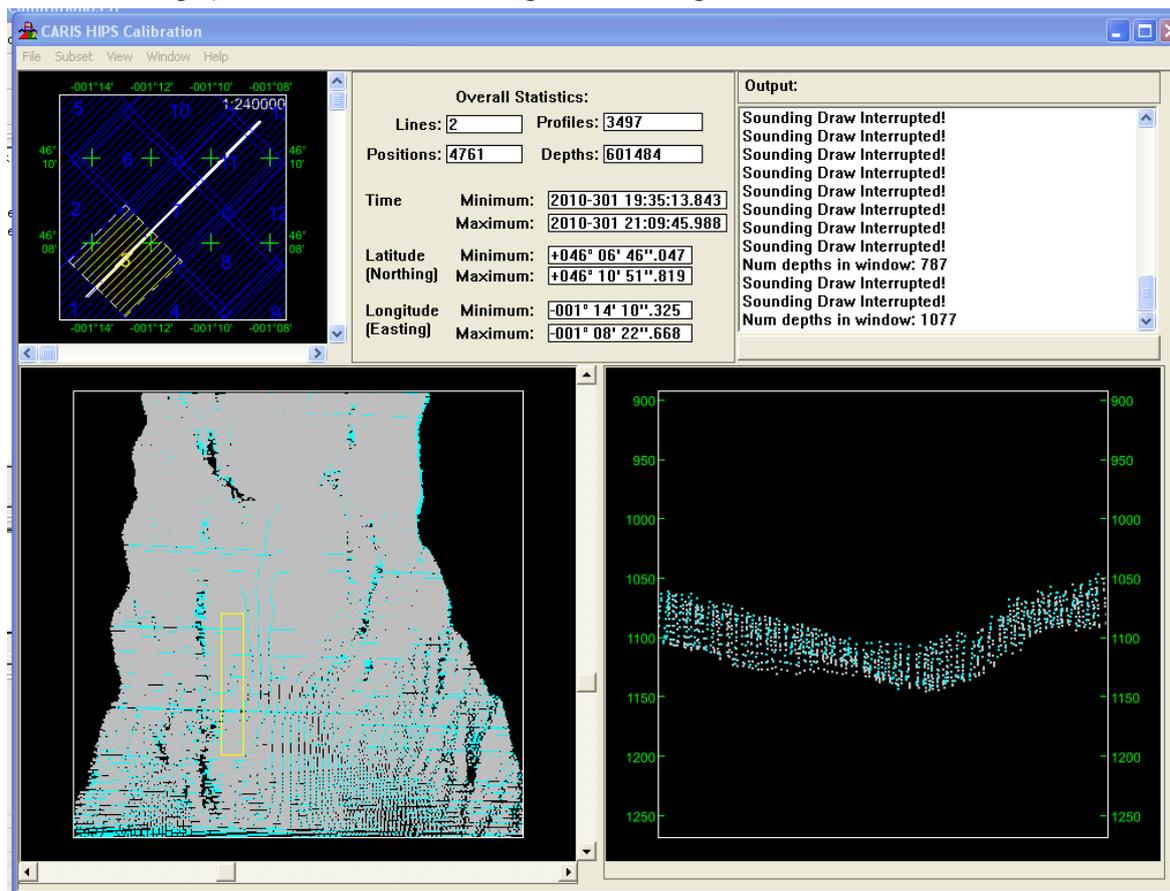


Abb. 5.14: Pitch Kalibrierfenster mit leicht seitlich versetztem Auswahlfenster, um den übersteuerten Nadirbereich zu meiden.

Analog wurde auch bei der Kalibrierung im Gebiet der Romanche-Bruchzone vorgegangen (siehe Tabellen unter I.2 Anhang A).

5.4.3. Heading

In CARIS konnte der 900 m-Versatz nicht reproduziert werden, sodass davon auszugehen ist, dass dies erneut ein Fehler in der HYPACK-Software sein muss. Allerdings besteht auch hier das Problem, dass die Profile vertauscht wurden und daher unbrauchbar sind, da die Werte falsch angewandt werden würden. Durch Anbringen eines Roll-Offsets von $-0,2^\circ$ konnten bei hierzu durchgeführten Tests die Abweichungen, die dem Heading-Offset zugewiesen wurden, beseitigt werden. Ohne die Anbringung des Roll-Offsets waren Werte zwischen $+0,6^\circ$ und $-0,6^\circ$ (vergl. Kapitel 5.3.3) detektiert worden.

5 Durchführung der Kalibrierung

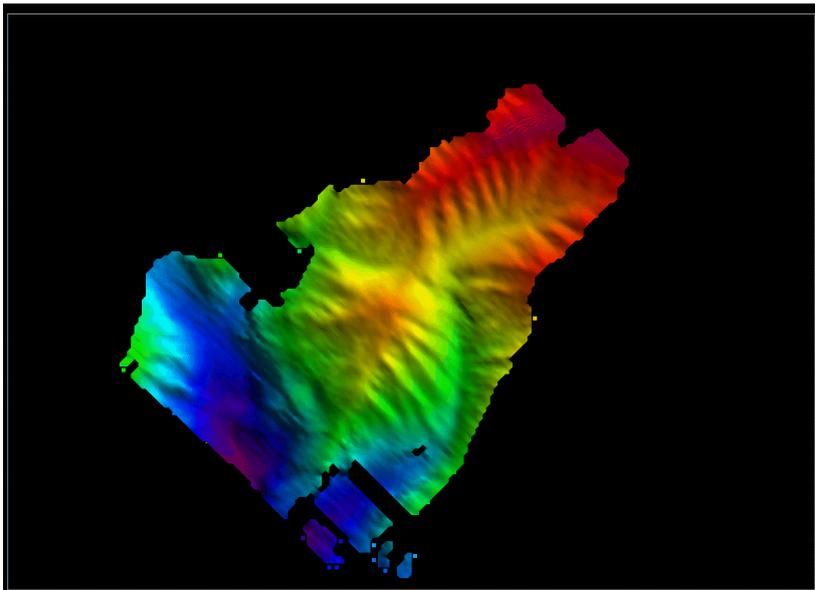


Abb. 5.15: In CARIS konnte der in HYPACK detektierte 900 m-Versatz nicht reproduziert werden.

5.4.4. Roll

Die Roll-Kalibrierung konnte ebenfalls entsprechend der Vorgaben durchgeführt werden.

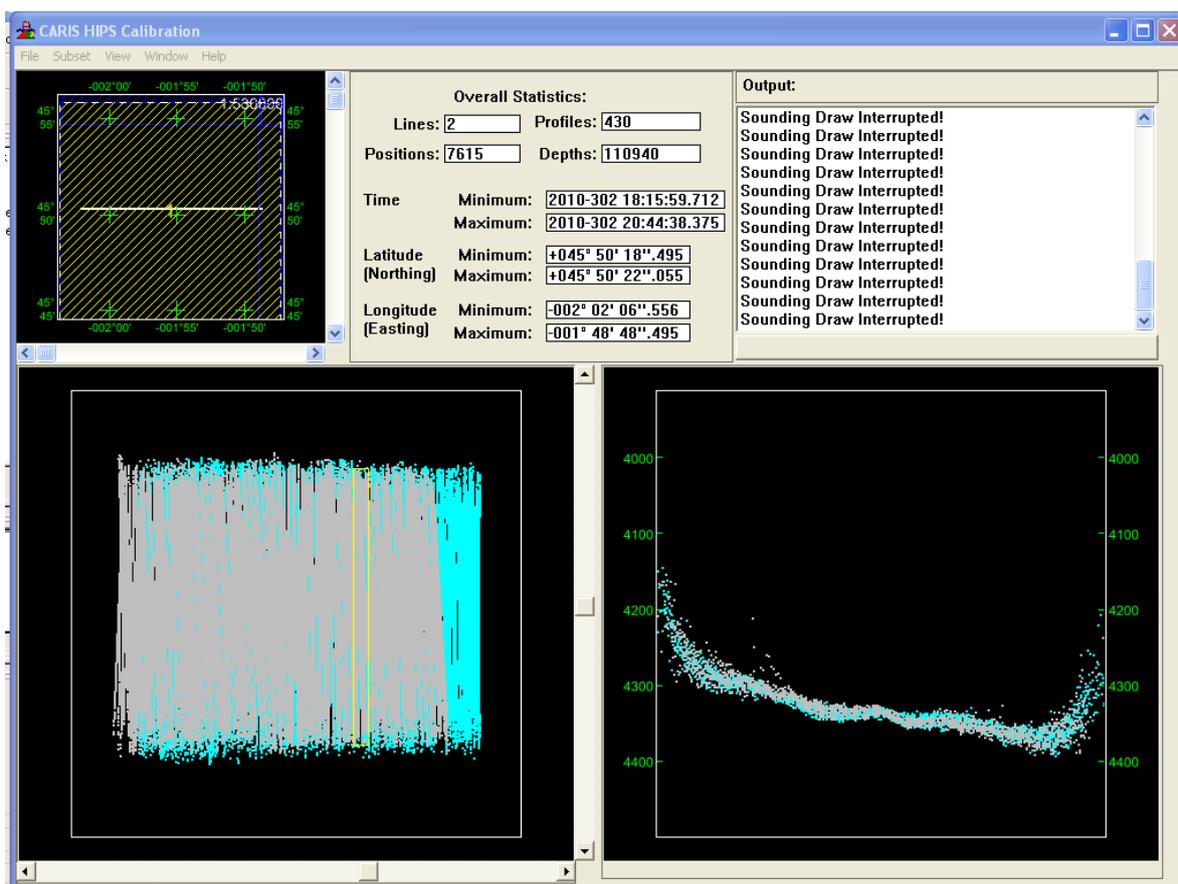


Abb. 5.16: Darstellung der gut übereinander gelegten Profile zur Bestimmung des Roll-Offsets.

5.4.5. Kritische Beurteilung der Durchführung der Kalibrierung

Die Kalibrierreihenfolge wurde auf ANT-XXVII/1 der Anleitung von CARIS HIPS und SIPS entnommen und entsprechend durchgeführt. Da die Software HYPACK allerdings die Basis der Kalibrierung darstellt, hätte die abweichende HYPACK-Anleitung für die Durchführung genutzt werden müssen. Gemäß der HYPACK-Anleitung hätten anschließend die Offsets, neben der Registrierung in Hydromap Control, ebenfalls in das HYPACK-Programm eingetragen werden sollen (HYPACK, 2010b). Dies wurde, mit Bezug auf die bisherigen Systemeinstellungen, an Bord durch die Techniker von ATLAS als nicht nötig bewertet und außer Acht gelassen. Problematisch ist daher die Unklarheit über das Interface zwischen der Software HYPACK und der Hardware von ATLAS. Hiervon hängen viele Faktoren über die Genauigkeit der Kalibrierung und der Daten ab, die das Ergebnis beeinflussen.

Da zu Beginn der Kalibrierung alle Offsets in Hydromap Control als auch in HYPACK auf 0.0 gestellt wurden, müssen die während des erneuten Nachvollziehens gefundenen Werte auch den ermittelten Werten der Expedition ANT-XXVII/1 in etwa entsprechen. Allerdings ist es teilweise schwierig im Nachhinein mit anderen Kalibrierreihenfolgen auf dasselbe Ergebnis zu stoßen, sodass bei der durch den Kalibrierungsablauf vorgegebenen Reihenfolge geblieben wurde.

Unter der Voraussetzung, dass keine abweichenden Einstellungen gemacht, und dieselben Auswertelgorithmen genutzt werden, müssten beide Programme dieselben Winkel-Offsets erzielen. Die Wasserschallgeschwindigkeit ist in diesem Fall zu vernachlässigen, solange sie in beiden Programmen parallel Anwendung findet oder entsprechend nicht berücksichtigt wird. Auswirkungen werden in Hinsicht darauf nur erzielt, wenn in einem der Programme abweichende Einstellungen vorgenommen wurden. Während der Expedition ANT-XXVII/4 im Mai 2011 war Joseph Burnett, ein Vertreter der Softwarefirma HYPACK, mit an Bord, der die Kalibrierung ebenfalls erneut durchgeführt hat. Nach seinen Angaben, haben weder die Wasserschallgeschwindigkeit, die unterschiedliche Eingabe der Wandlerposition, noch die abweichende Geodesy einen Einfluss auf die Kalibrierergebnisse. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen wieder, die unter verschiedenen Einstellungen durchgeführt wurden (siehe Tabellen unter I.2 Anhang A).

Unter diesen Voraussetzungen konnten im Rahmen der Genauigkeit dieselben Ergebnisse wie auf ANT-XXVII/1 erzielt werden:

Tabelle 3: Aus CARIS und HYPACK ermittelte und festgelegte Werte nach der Kalibrierauswertung (2011) (Mittel der plausiblen Werte genutzt):

	Bias/Offset	Genauigkeit
Time Latency MINS [ms]	0	± 0,50
Time Latency Trimble [ms]	0	± 0,50
Pitch MINS 1 [°]	-0,19	± 0,50
Pitch MINS 2 [°]	-0,22	± 0,50
Heading MINS 1 [°]	-	
Heading MINS 2 [°]	-	

5 Durchführung der Kalibrierung

Roll MINS 1 [°]	-0,21	± 0,03
Roll MINS 2 [°]	-0,19	± 0,03

Tabelle 4: In das System eingetragene Werte aus der Kalibrierung (28./29.10.2010):

Korrektur	Wert im System eingetragen MINS 1/MINS2	Datum
Position Time Latency [ms]	5	28.10.2010
Pitch [°]auf Schwinger bezogen	-0,16/-0,20	29.10.2010
Heading [°]	-	28./29.10.2010
Roll [°]	-0,21/-0,17	29.10.2010

Anhand der Tabelle 5.1 sind die Ergebnisse der Kalibrierung zu erkennen und können mit den Resultaten der bisherigen Untersuchungen verglichen werden.

Als Ergebnis wurde dabei für die Time Latency-Kalibrierung mit beiden Verfahren Null Sekunden angenommen bzw. das zuvor bestimmte Ergebnis von 0,05 Sekunden beibehalten, da die Auswirkungen dieses Werts bei den erheblichen Abweichungen so gering sind, dass sie quasi nicht unterschieden werden können. Einen Wert von 0,05 s halte ich bei einer Ungenauigkeit von mehreren Grad allerdings sehr spekulativ. Der zu erfassende Korrekturwert für den Zeitversatz ist so klein, dass er mit der Genauigkeit des Verfahrens und der genutzten Topographie nicht erfasst werden kann. Möglicherweise wäre daher ein Gelände mit eindeutigeren Strukturen besser, um höhere Genauigkeiten für die Kalibrierung zu erzielen.

Der Pitch-Offset konnte nur für MINS 2 mit vergleichsweise eindeutigen Werten in allen Tests bestimmt werden, die Ergebnisse von MINS 1 variierten hingegen zu sehr, um eine eindeutige Aussage treffen zu können. Der Offset der MINS 2 liegt hier weiterhin bei -0,2 und stimmt somit auch sehr gut mit den Ergebnissen der Kalibrierung auf ANT-XXVII/1 überein. Unter Ausschluss der unplausiblen Werte wurde für MINS 1 schließlich ein ähnliches Ergebnis erzielt.

Während der Aufnahme des Feinkalibrierprofils konnte aufgrund einer defekten Datei die „Pitch MINS 1“-Kalibrierung nicht durchgeführt werden.

Für Pitch MINS 2 (fein) wurde hingegen ein sehr großer Offset von 1° detektiert. Dies war der Grund für eine erneute Kalibrierung im Bereich der Romanche-Bruchzone, der meines Erachtens nicht in die Systemeinstellungen mit eingeflossen ist.

Während der Kalibrierdurchführung ist, im Rahmen der Aufnahme der Heading-Messdaten mit HYPACK, allerdings erneut ein Fehler aufgetreten, der sich nach bisherigen Überprüfungen nur auf die Daten in HYPACK bezieht, da in CARIS der Versatz von 900 m nicht reproduziert werden konnte. Die Ursache dieses Versatzes konnte bisher nicht geklärt werden und wurde daher im Rahmen der Kalibrierung mit HYPACK außer Acht gelassen und nicht weiter verfolgt, da keine übereinstimmenden Strukturen dafür vorhanden waren. In CARIS hingegen ist der Versatz kaum zu erkennen. Lediglich die schräge Überlappung, vermutlich aufgrund eines erheblich ausgeprägten Rollfehlers, ist in der Base Surface-Darstellung der Standardabweichungen zu erkennen. Dieses

5 Durchführung der Kalibrierung

Problem konnte zur Bestimmung des Heading-Offsets im Laufe der Kalibrierung in CARIS durch gleichzeitiges Anwenden mehrerer Offsets umgangen werden.

Die Ergebnisse der Kalibrierungen mit CARIS wurden hier ebenfalls mit Null festgelegt, da die geringen Abweichungen während der Kalibrierung durch Anbringen eines Roll-Offsets von $-0,2^\circ$ zu lösen waren, der auch anschließend in der Roll-Kalibrierung gefunden und damit bestätigt wurde.

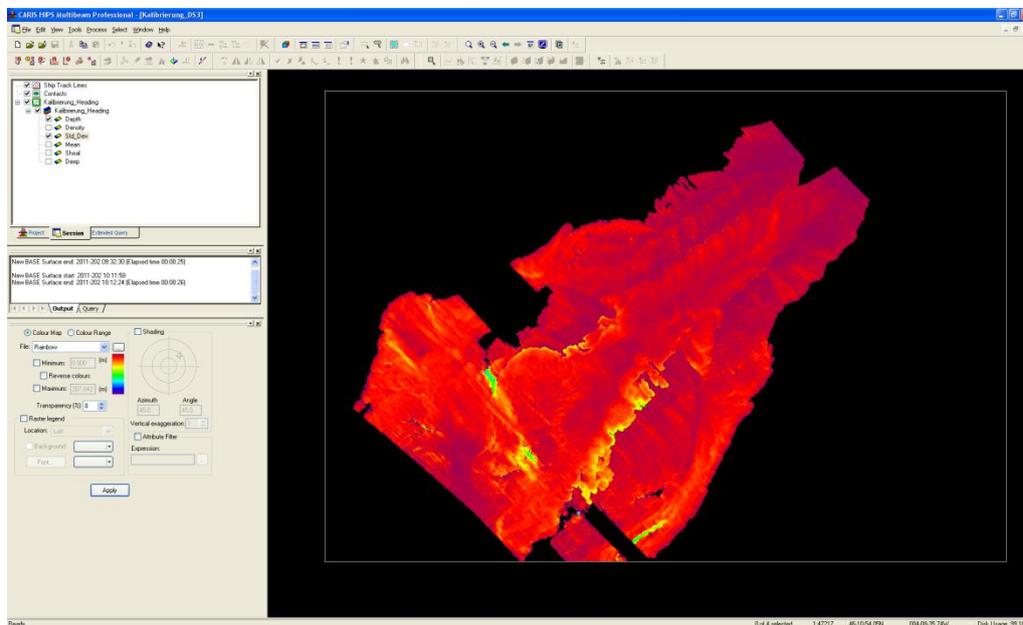


Abb. 5.17: In den überlagerten Heading-Profilen, der Base Surface-Standardabweichungsdarstellung von CARIS, scheint ein erheblicher Rollfehler vorzuliegen!

Der Roll-Offset konnte hier in allen Durchführungen sehr präzise erfasst werden, mit geringen Abweichungen der Testergebnisse von lediglich $\pm 0,05^\circ$ zueinander.

Anhand der Roll-Feinkalibrierung ist ersichtlich, dass der zuvor ermittelte Wert offenbar korrekt im System eingetragen wurde, da er nun mit maximalen Abweichungen von $0,03^\circ$ für diese Verhältnisse sehr präzise auf Null gestellt ist.

Laut HYPACK (HYPACK, 2010a) sollten die Werte der Kalibrierung mit einer Auflösung bzw. Genauigkeit für

- Roll: $0,05^\circ$ bis $0,1^\circ$
- Pitch und Heading: $1,0^\circ$ mit DGPS oder besser mit RTK
- Time Latency: 0,1 sek mit DGPS oder besser mit RTK

betrachtet und erfasst werden.

Abgesehen von dem nicht eindeutig zugewiesenen Time Latency Offset, fallen die Ergebnisse der Kalibrierung unter diese nicht sehr präzisen Genauigkeitsstufen. Anhand dieser Werte ist ersichtlich, dass die detektierten Werte mittels dieser Methoden nicht genauer erfasst werden können.

5 Durchführung der Kalibrierung

Da die neu eingebauten Motion-Sensoren (MINS 1 und MINS 2) an dieselbe Stelle der alten montiert wurden, sollten die Veränderungen im Vergleich zu den Kalibrieroffsets der vergangenen Jahre relativ gering sein.

Die absoluten Werte der letzten Kalibrierung vom 14.5.2008 betragen für Roll $-0,01^\circ$ und für Pitch $+0,28^\circ$ (persönliche Mitteilung F. Niederjasper (2011)). Diese Offsets wurden manuell mit dem ehemals auf FS Polarstern verwendeten System ermittelt. Dabei waren die Bestimmung des Heading und Latency-Offsets allerdings nicht möglich und wurden dem entsprechend auch nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Kalibrierung zeigen hier deutliche Abweichungen zu den damals erfassten Offsets, die aber im Rahmen der Genauigkeit der auswertenden Programme nicht höher aufgelöst werden können.

Das Ergebnis einer Kalibrierung liegt, neben der ungenauen Berechnung und der möglicherweise nicht idealen Eingangsparameter, im Auge des Betrachters bzw. an der Erfahrung des Auswertenden bezüglich der auftretenden Fehler. Je nach Erfahrungsstand, können unter Umständen andere Werte für die Offsets erzielt werden. Dabei sind die Berechnungen im Betracht der geringen Redundanzen eher als nebensächlich zu erachten. Hierbei muss auf die übereinstimmende Form geachtet werden, was sich auch für den menschlichen Betrachter nicht in jedem Fall als trivial herausstellt. Dies hat zur Folge, dass die Ergebnisse mit einem gewissen Rauschen verbunden sind. Dieses Rauschen ist vergleichsweise groß, sodass an der Güte der Auswertesoftware für den Gebrauch bei Tiefseeecholoten zu zweifeln ist.

Aufgrund der im Rahmen der Genauigkeitsabweichungen gleich gebliebenen Kalibrier-Offsets wurde für die folgenden Schritte kein neues VesselConfig-File erstellt.

Das Kalibriertool von CARIS scheint im Vergleich zu HYPACK aufgrund der einfacheren und sinnvolleren Bedienung deutlich besser geeignet. Hier kann der Offset individuell eingestellt und die Veränderung der Querschnittlinien zueinander beobachtet werden. Hinzu kommt auch ein hoher Zeiteinsparungsfaktor im Vergleich zu HYPACK, aufgrund der nur geringen Berechnungszeit. Bei dem HYPACK-Tool ist die Verbindung zwischen den Einstellungsmöglichkeiten und den berechneten Offsets nicht trivial. Ein manuelles Einstellen der Offsets ist dort nur in geringem Maße sinnvoll möglich und vor allem zeitintensiv.

Da die Tiefseedaten i.d.R. keine hohe Redundanz aufweisen, aber eine hohe Genauigkeit liefern sollen, wird die Auswertung über diese beiden Methoden erheblich erschwert, da sie auf dem Vergleich der Tiefen und Positionen zueinander basieren. Das hat zur Folge, dass der Time Latency- und Pitch-Offset nur schwer zu bestimmen sind. Hier wäre eine andere Auswertemöglichkeit wünschenswert, die auch weniger redundante Datenmengen berücksichtigt, da hier selbst die visuelle Erfassung der korrekten Offsets an Grenzen gerät. Dies könnte eventuell über geeignetere Fokussiermöglichkeiten auf bestimmte Bereiche in den Daten noch verbessert werden, da die Kalibrierung bisher auf nur einen geringen Ausschnitt begrenzt ist.

Während der Kalibrierfahrt ist allerdings nicht gründlich dokumentiert worden, welche Einstellungen zuvor in den Softwareprogrammen aus bestimmten Gründen angewandt oder vernachlässigt wurden. Dies hat das Nachvollziehen der Kalibrierung, mehrere Monate später stark erschwert und zu einigen Schwierigkeiten bei der Auswertung geführt. Es ist sinnvoll sich auf eine

5 Durchführung der Kalibrierung

Projektionsart zu einigen und diese auch für das Postprocessing zu dokumentieren. Des Weiteren sollten die Daten nur mit ausreichenden Metainformationen und unter Kenntnis der möglichen Auswirkungen des Datentransfers in andere Ordner abweichend vom Projektordner verschoben werden.

Entsprechend dem „ATLAS-Erprobungs- und Abnahmeprotokoll“ zur Installation von Hydrosweep DS-3 wurde hauptsächlich geprüft, ob die Systeme ohne Ausfälle durchlaufen und keine Hardware bedingten Fehler entstehen. Dabei wurde die Kalibrierung an sich bei Seestärke 5 und der Qualitätskontrolle bei Seegang der Windstärke 4 durchgeführt. Angaben zu den finalen Kalibrierwerten wurden dort jedoch nicht gemacht, sondern lediglich die verschiedenen während der Fahrt detektierten Werte in das „ATLAS HYDROSWEEP DS Calibration Protokoll“ eingetragen. Dies ist zu dem nicht vollständig, da teilweise Informationen über die genutzte MINS oder die bestimmte Zeit fehlen oder vertauscht wurden. Die Informationen über die genutzte MINS sind aber, wie anhand der Heading-Daten deutlich, wichtig und sollten korrekt vorliegen. Die Ergebnisse der Qualitätskontrolle wurden hingegen vollständig dem Protokoll beigefügt.

Anhand der Tabellen ist ersichtlich, dass die Nachvollziehung der Kalibrierung in etwa den während der Expedition ANT-XXVII/1 ermittelten Werten, mit der jeweiligen Genauigkeit, entspricht.

Um bessere Ergebnisse zu erzielen und die Genauigkeit, wenn möglich, zu steigern, sollten bei einer folgenden Kalibrierung für Latency, Pitch und Heading, Gebiete mit ausgeprägter Topographie gewählt werden, die eine höhere Auflösung der Daten ermöglichen. Um die Redundanz der Messdaten zu verbessern, könnten die Profile noch langsamer befahren und die Messungen im mittleren Tiefenbereich (Medium Depth) durchgeführt werden.

6. Genauigkeitsanalysen

6.1. Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle (Quality Control - QC Test) dient der Überprüfung der Tiefengenauigkeit nach der Kalibrierung. Im Fahrtbericht zur Expedition ANT-XXVII/1 wurde dieser Test fälschlicherweise als „Patch Test“ bezeichnet, was der Kalibrierung entsprechen würde. Der QC-Test ist jedoch keine Feinkalibrierung, sondern dient der Kontrolle und stellt eine Untersuchung der inneren Mess- und Wiederholungsgenauigkeit aus mehrfach überfahrenen Tiefen dar.

Dieser Test wird von der International Hydrographic Organisation (IHO) S-44 als Standardtest vorgeschrieben, um die einzuhaltenden Genauigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% (Confidence Level) zu bestätigen. Diese Plausibilitätskontrolle sollte mithilfe von statistischen Verfahren durchgeführt werden und die Genauigkeitsvorgaben der verschiedenen Vermessungsklassen beinhalten. Dabei müssen die Daten zuvor editiert werden.

Um diese Vorgaben einzuhalten, wurden nach Beendigung der Kalibrierung und unter Eingabe der Offsets in das System in der Tiefsee bei einer mittleren Wassertiefe von etwa 4600 m zehn Profillinien gefahren, davon jeweils fünf senkrecht zueinander (siehe Abb. 6.1.). Die Tiefe wurde gewählt, um mögliche Positionsfehler zu vermeiden, da diese in der Tiefsee aufgrund der Genauigkeit kaum zur Geltung kommen.

Durch die Erfassung der zehn Profillinien wurde eine Referenzfläche mit einer 200 prozentigen Überlappung erzeugt. Anschließend wurden zwei Kontrollprofile (Check Lines) diagonal und zwei senkrecht über die Referenzfläche gefahren, die es zu vergleichen gilt (siehe Abb. 6.1).

Bei korrekt durchgeführter Kalibrierung dürften hier lediglich Abweichungen im Rahmen des Messrauschens zwischen der Referenzfläche und den Kontrollprofilen (Checklines) auftreten.

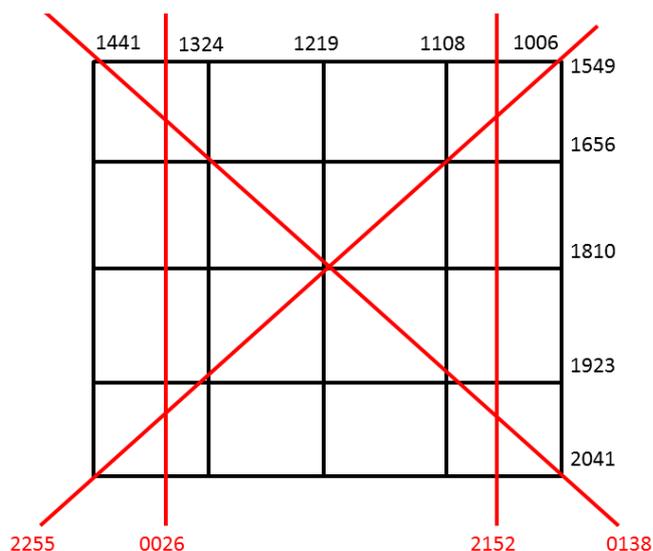


Abb. 6.1: Übersicht der Profile des QC-Tests inklusive der Kontrollprofile (rot). Die Kantenlänge der Referenzfläche (schwarz) beträgt etwa 17 km. Damit wird eine Fläche von ca. 290 km² aufgespannt, deren mittlere Tiefe bei etwa 4500 m liegt.

6 Genauigkeitsanalysen

Um die Fehlergrenzen, die dem Standard der IHO S-44 genügen, zu berechnen, gilt die folgende Formel für die Tiefengenauigkeit:

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b * d)^2}$$

nach Order 3 gilt:

$a = 1,0$ m = konstanten Tiefenfehler (Summe aller konstanten Fehler)

$b * d$ = tiefenabhängiger Fehler (Summe aller tiefenabhängigen Fehler)

$b = 0,023$ m =Faktor des tiefenabhängigen Fehlers

d = Tiefe

Für die Wassertiefe von etwa 4600 m im Testgebiet bedeutet das eine mindestens einzuhaltende Tiefengenauigkeit von etwa 105,8 m. Die Tiefengenauigkeit des Hydrosweep DS-3 liegt mit einer Tiefengenauigkeit von 0,5-1% der Wassertiefe deutlich unter der Hälfte dieses Wertes.

Nach dem IHO-S-44 Standard fällt die Tiefseemessung nach der alten Version (vierte Auflage) von 1998 unter die Order 3, während sie mit denselben Genauigkeitsansprüchen in der neuen Version von 2008 der Order 2 zuordnet wird. Diese Standards gelten dabei als Minimumstandards und dienen der Sicherung des Seeverkehrs. In der Tiefsee, definiert nach IHO S-44 von 1998 ab 200 m und von 2008 ab bereits 100 m, ist aufgrund der Tiefe und der unwahrscheinlichen Hindernisse für die Sicherheit der Schifffahrt eine akkurate Vermessung nicht nötig ist.

Die Qualitätskontrolle wurde an Bord mithilfe der Softwareprogramme HYPACK und CARIS durchgeführt und im Rahmen dieser Arbeit wiederholt. Zusätzlich wurde das Ergebnis mithilfe der Software Fledermaus überprüft, welche jedoch keine Aussagen über die Einhaltung der IHO S-44 Standards liefert.

6.1.1. QC-Test in CARIS HIPS

Für die Durchführung des QC Tests wurde unter anderem CARIS HIPS verwendet. Dort ist ein entsprechendes Quality Control - Werkzeug implementiert, welches die Daten unter Voraussetzung des IHO S-44 Standards statistisch überprüft.

Anhand der im Base Surface aufbereiteten Rasterdaten ist erkenntlich, dass die Beams im Nadirbereich übersteuert sind (siehe Abb.: 5.3 in Kapitel 3.2.1). Das beruht auf der Tatsache, dass der Schall dort zu tief in den Boden eindringt und als Gegenmaßnahme rechnerisch abgeflacht wird. Dadurch werden die Beams jedoch systematisch verkürzt und zu flach gemessen. Diese übersteuerten Werte können aufgrund zu hoher Datenverluste nicht wegeditiert werden sondern müssten durch die Firma ATLAS in den Hardware-Einstellungen korrigiert werden. Um eine Aussage über die Tiefengenaugigkeit sämtlicher Beams treffen zu können, werden die Check Lines daher nur wenig editiert. Die Referenzfläche wird dagegen so gut wie möglich editiert, um eine ideale Fläche als gute Basis für den Vergleich zu erhalten. Aufgrund der hohen Überlappung der Daten von 200% sind dadurch trotzdem noch genug Redundanzen für den Vergleich gegeben.

In CARIS HIPS werden drei verschiedene Testmöglichkeiten zur Qualitätskontrolle zur Verfügung gestellt. Dabei wird zwischen dem Abstrahlwinkel der Beams (Beam Angle), der Beam-Anzahl (Beam Number) und der Schrägdistanz (across track distance) unterschieden. Für Vergleiche wurden hier Beam Angle und Beam Number genutzt. Dabei mussten die Abstände zuvor definiert werden und konnten für folgende Tests mithilfe eines Templates gespeichert werden.



Abb. 6.2: Einstellungen für den QC-Test nach der Beam-Anzahl.

Anschließend wurde das Ergebnis im CARIS Worksheet in einer Tabelle dargestellt, deren Werte dort rauskopiert werden konnten.

6 Genauigkeitsanalysen

	Beam Num	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
1	21 - 31	77	35.581	97.018	-22.691	23.322	100.0
2	31 - 41	665	51.692	83.313	-3.440	23.872	100.0
3	41 - 51	1359	67.566	82.647	-2.312	20.074	100.0
4	51 - 61	1517	58.060	53.071	-0.221	14.500	100.0
5	61 - 71	1550	35.124	52.823	-0.742	11.936	100.0
6	71 - 81	1549	66.440	32.557	-2.543	9.737	100.0
7	81 - 91	1549	50.401	23.097	3.359	8.678	100.0
8	91 - 101	1550	31.497	23.708	2.485	6.605	100.0
9	101 - 111	1549	27.066	30.258	0.632	6.351	100.0
10	111 - 121	1538	38.195	30.716	-5.277	6.603	100.0
11	121 - 131	1548	28.827	29.670	3.241	6.546	100.0
12	131 - 141	1550	51.071	31.659	5.865	7.614	100.0
13	141 - 151	1548	34.789	32.911	3.473	9.708	100.0
14	151 - 161	1544	40.109	39.406	-2.077	10.317	100.0
15	161 - 171	1514	82.006	42.161	2.833	15.074	100.0
16	171 - 181	1431	89.726	50.251	3.218	19.480	100.0
17	181 - 191	1180	72.283	78.733	-3.933	21.464	100.0
18	191 - 201	434	39.964	117.949	-20.275	26.187	99.8

Abb. 6.3: Darstellung des CARIS Worksheets mit den Ergebnissen des QC-Tests in Tabellenform.

Das Ergebnis der Qualitätskontrolle ist mit einer durchschnittlichen Standardabweichung von etwa 11,7 m für Beam Angle (BA) und etwa 13,7 m für Beam Number (BN) als recht gut anzusehen. Die Maximalwerte der Standardabweichung liegen dabei bei 25,8 m für BA und bei 29,9 m bei BN. Die maximalen Abweichungen liegen im Bereich der Außenbeam, was auch deutlich an den Maximalwerten der Standardabweichung und der geringeren Genauigkeit nach Order 3 der S-44 ablesbar ist. Die Information am Ende der Tabelle verrät, inwieweit die Ergebnisse den Anforderungen der IHO S-44 Order 3 entsprechen (Tabellen siehe I.3.1 Anhang A). Folglich liegt der Durchschnitt der Ergebnisse mit 99,9% deutlich im Vertrauensbereich der für die IHO S-44 gültigen Werte. Auch die schlechteren Außenbeam erreichen mit Abweichungen <5% ebenfalls die Genauigkeit dieses Standards.

Somit ist nach dieser Auswertung Hydrosweep DS-3 für die Vermessung nach dem Standard der IHO S-44 Order 3 tauglich.

6.1.2. Beam Angle Test in HYPACK

Die Qualitätskontrolle wird in der Software HYPACK als Beam Angle Test bezeichnet und dient ebenfalls der Genauigkeitskontrolle der Kalibrierung. Hierbei wird besonderer Wert auf die Überprüfung der Ausstrahlwinkel im Bezug zu den gemessenen Tiefen und somit auf die Genauigkeit der einzelnen Beams gelegt.

Für die Berechnung der Referenzfläche wurden nach dem Editieren die gemittelten Daten (Average) als ASCII-XYZ-File exportiert. Anschließend konnten analog zum QC-Test von CARIS die einzelnen Kontrollprofile geöffnet und mit der Referenzfläche über das Beam Angle Test - Tool verglichen werden. Die Kontrollprofile wurden dafür nur geringfügig editiert und die hochgebogenen Beams wurden, da sie ebenfalls überprüft werden sollen, beibehalten.

Bei der Auswertung konnte zwischen „Statistics for Soundings at Beam Angle Limit +/- 2.5 Deg“ und „Statistic for all Soundings <Beam Angle Limit“ gewählt werden. Dies bedeutet, dass zwischen der Statistik für die Außenbeams mit einer Abweichung von $\pm 2,5^\circ$ und der Statistik der Beams, kleiner als die größten Winkel unterschieden wird.

Dem entsprechend wurden unterschiedliche Werte erzielt, die aber im Kontext dasselbe Ergebnis darstellten. So wurden allerdings auch unter Nutzung derselben Daten bei mehrfacher Ausführung andere Ergebnisse erzielt, die auf Ungereimtheiten in den Berechnungsalgorithmen der Software schließen lassen.

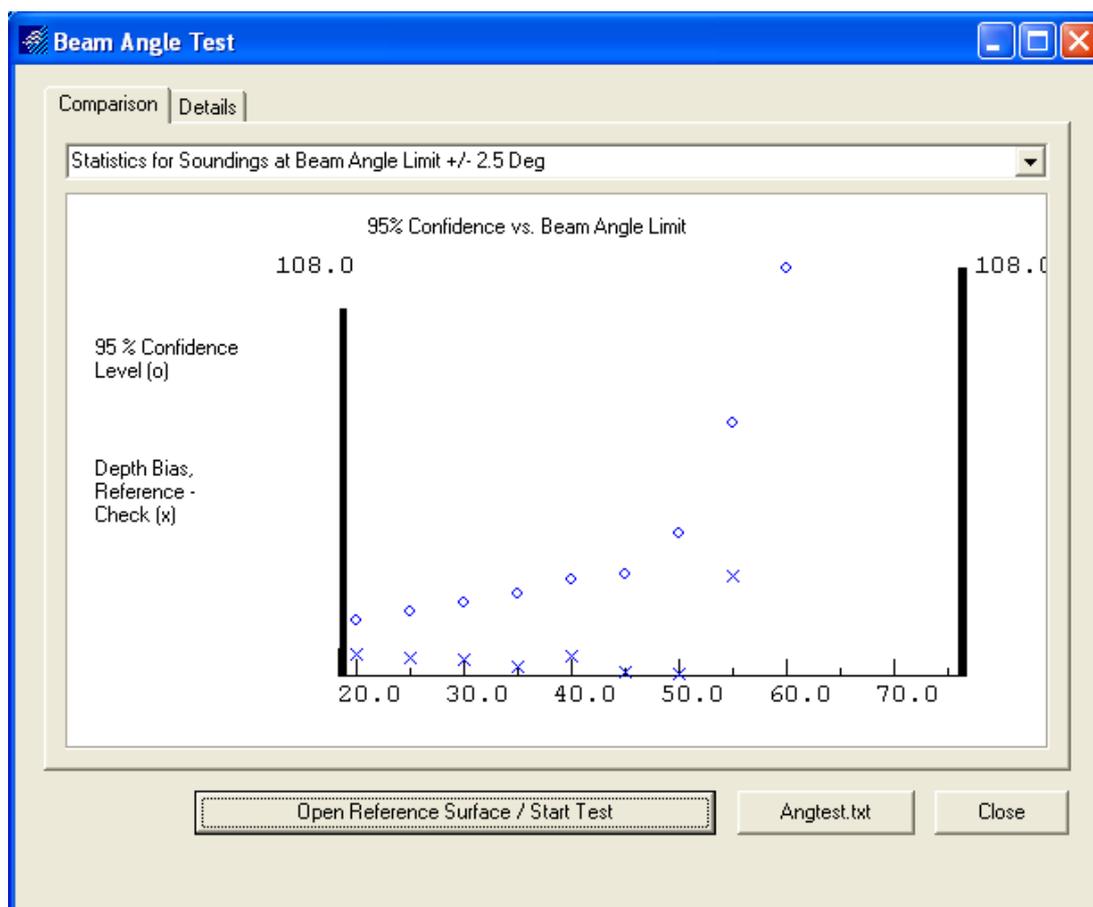


Abb. 6.4: Darstellung der von den Ausstrahlwinkeln abhängigen Tiefen im Bereich des 95%-Konfidenzintervalls.

6 Genauigkeitsanalysen

Dabei stellen in dieser Grafik laut (HYPACK, 2010a) die X-Achse die Winkel und die Y-Achse die Tiefenunterschiede dar. Die mit einem X gekennzeichneten Punkte entsprechen den, für die Ausstrahlwinkel berechneten, Neigungsfehlern in Grad [°], während die mit einem Kreis markierten Punkte der maximalen Abweichung im Bereich des 95%-Konfidenzintervalls entsprechen. Mithilfe dieser Informationen ist die Grafik derart zu interpretieren, dass bis zu einem Abstrahlwinkel von 55° je Seite die Tiefen entsprechend der Tiefengenauigkeit im Bereich des 95%-Konfidenzintervalls liegen und somit als gut zu bewerten sind. Da der Winkel offenbar während der Aufnahme nicht größer gewählt wurde, sind darüber auch keine Informationen zu erhalten. Diese Information, der schlechten Außenbeams, deckt sich mit den bereits festgestellten Informationen, dass die hochgebogenen Außenbeams einer nur geringen Genauigkeit unterliegen.

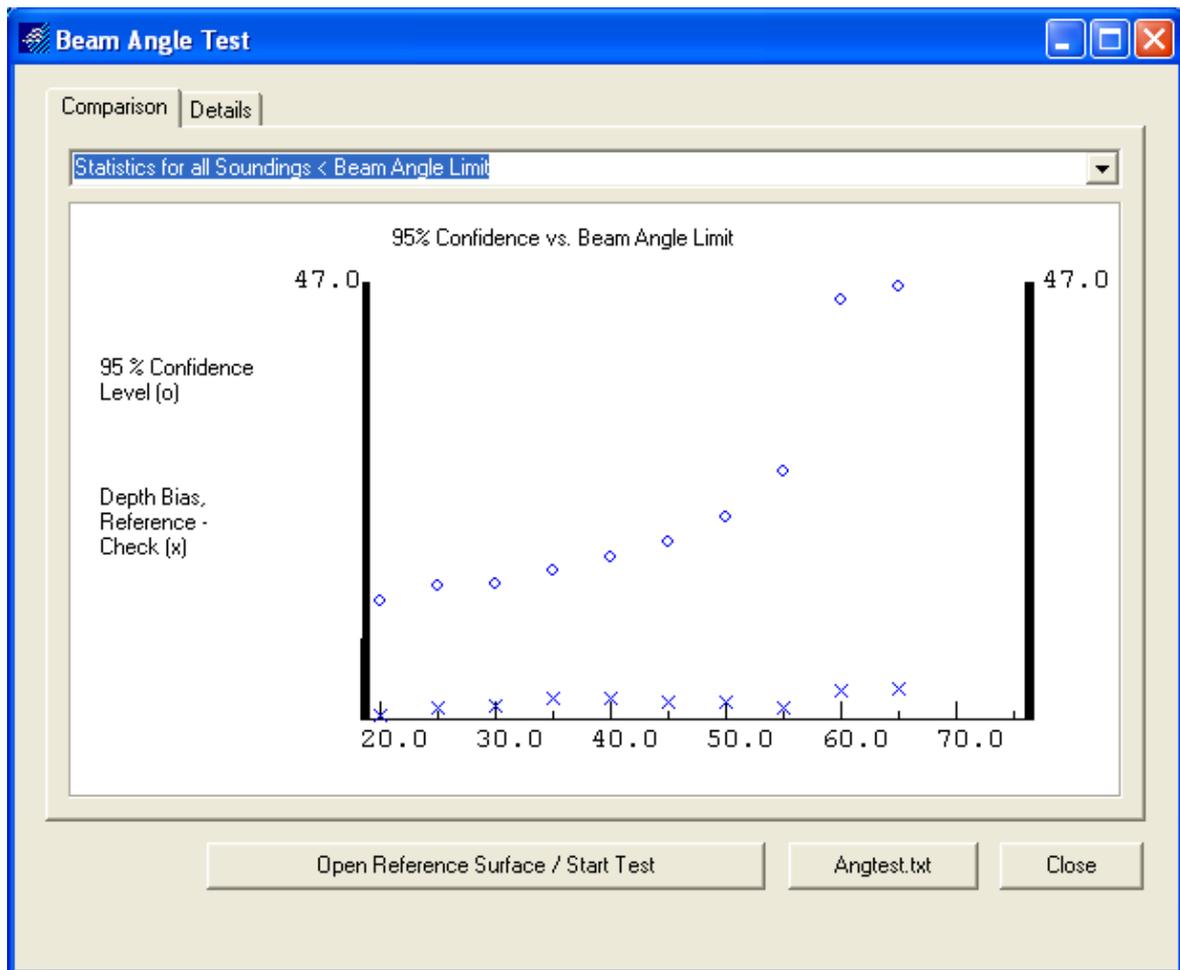


Abb. 6.5: Darstellung der von den Ausstrahlwinkeln abhängigen Tiefen im Bereich des 95%-Konfidenzintervalls, für Tiefen, die nicht mit den Grenzwerten der Ausstrahlwinkel erfasst wurden.

Bei Nutzung sämtlicher Werte für die Statistik, die geringer als der maximale Ausstrahlwinkel sind, ist das Ergebnis daher sogar deutlich besser.

Unter den Details sind hier die jeweils berechneten Werte zusammen gefasst und werden zusätzlich als Darstellung der Verteilung in einem Histogramm dargestellt, welches allerdings während der Auswertung keine eindeutigen Ergebnisse anzeigte. Laut (HYPACK, 2010a) müsste sich im Idealfall ein einziger vertikaler Balken in der Mitte befinden, der aufgrund natürlicher Messabweichungen als Glockenkurve dargestellt wird. Anhand der hier ermittelten Daten wurde

6 Genauigkeitsanalysen

jedoch keine solche Glockenkurve sondern eine Parallele zur X-Achse festgestellt, die in der Hinsicht interpretiert wird, dass die Daten entsprechend der Abstrahlwinkel vom Nadirbereich zu den Außenbeams schlechter werden.

Laut HYPACK (HYPACK, 2009) wird die Anzahl der Differenzen in Inkrementen von 0,1 Messeinheiten, hier folglich in Meter, dargestellt. Unter diesen Voraussetzungen ist es nicht verwunderlich, dass in der Anzeige keine Glockenkurve sichtbar wird, da die Werte aufgrund der Messung in der Tiefsee deutlich außerhalb dieses Bereichs liegen. Anhand der Textdateien (siehe I.3.2 Anhang A) ist jedoch die tatsächliche Verteilung über die Darstellung mittels Punkten für je 10 m zu erkennen. Dabei ist deutlich sichtbar, dass die Abweichungen im Außen- und Nadirbereich besonders hoch sind.

Da die maximalen Ausreißer (Max Outlier) im Außenbeambereich mit Werten in der Regel um 40 m an der Grenze der Messgenauigkeit von <1% der Wassertiefe liegen, ist das Ergebnis bezüglich der Genauigkeit von Hydrosweep DS-3, entsprechend der Aussagen die auf ANT-XXVII/1 getroffen wurden, noch im Bereich der IHO S-44 Order 3.

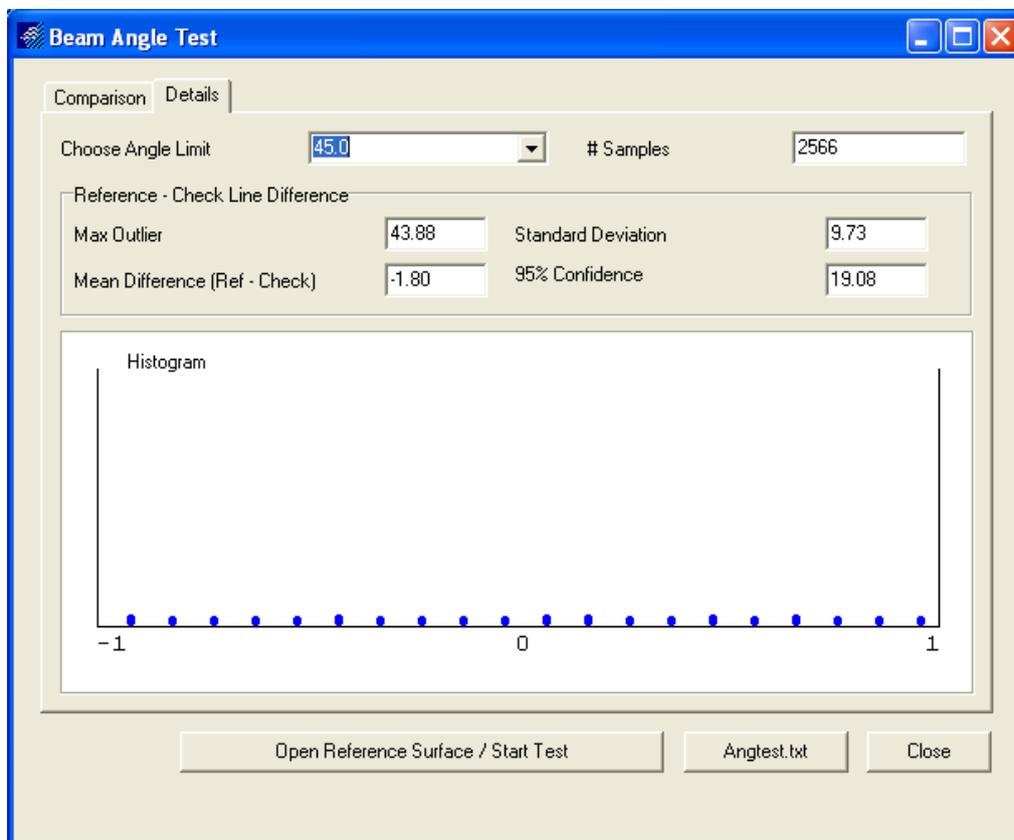


Abb. 6.6: Details der Statistikauswertung mit dem nicht aussagekräftigen Histogramm.

Die Ergebnisse der Tests sind in den Tabellen unter I.3.2 im Anhang A ersichtlich.

6.1.3. Surface Difference in Fledermaus

Zur Kontrolle der Kalibrierergebnisse wurde neben dem QC-Test von CARIS und dem Beam-Angle-Test von HYPACK der Vergleich über die Flächendifferenz (Surface Difference) durchgeführt.

Dabei wurden die Daten der Kontrolllinien zwar bestmöglich editiert, die stark hochgebogenen Außenbeams allerdings nicht gelöscht, da selbst verfälschte Daten noch Informationen liefern. Auffällig sind hier auch die übersteuerten Beams im Nadirbereich, die bereits im CARIS Swath Editor und in den Base Surfaces deutlich erkennbar waren, sowie die trotz korrekter Wasserschallgeschwindigkeit hochgebogenen Außenbeams. Diese beiden Fehler sind eher weniger auf ein falsches Wasserschallprofil zurückzuführen, sondern basieren nach bisherigen Erkenntnissen auf hardwarebedingten Abweichungen in der Verstärkung der Beams. Um eine gleichmäßige Referenzfläche zu erhalten wurden diese Ungenauigkeiten jedoch wegeditiert.

Die Daten, die analog in den anderen Kontrolltests für die Referenzfläche genutzt wurden, sind für diese Auswertung als ASCII-File aus CARIS exportiert und mit einer Rasterweite von 55 m, mit dem Maßstab 1:10000 und "Weighted Moving Average" mit der Gewichtung 3, in die Software DMagic, IVS 3D importiert worden. Analog wurde mit den einzelnen Kontrolllinien verfahren. Anschließend konnten die erzeugten *.sd-Files gemeinsam in Fledermaus visualisiert und als *.scene-File zusammengefügt und gespeichert werden. Darauf folgend wurde jedes Kontrollprofil mit der Referenzfläche über das Werkzeug „Surface Difference“ verglichen und die Abweichungen berechnet. Dabei wurde jeweils ein Statistik-Report sowie eine neue Fläche, berechnet aus den Differenzen der beiden Grids, erstellt (siehe I.3.3 Anhang A). In Fledermaus ist die Darstellung mit i.d.R. 6-facher Überhöhung, zur besseren Visualisierung von Abweichungen und Strukturen in den Daten, voreingestellt.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Tabelle 5: Jeweils im Vergleich mit der Referenzfläche (siehe I.3.3 Anhang A).

Checkline:	0026	0138	2152	2255
Median	-1,08 m	0,60 m	-0,81 m	-1,40 m
Mittelwert	-0,16 m	1,96 m	-0,21 m	-1,02 m
Standardabweichung	13,33 m	13,42 m	12,05 m	9,92 m
Höhenbereich	-65,8 m bis 102,4 m	-69,6 m bis 112,3 m	-69,7 m bis 113,8 m	-81,8 m bis 92,3 m
Gemessene Tiefe	ca. 4700 m			

6.1.4. Kritische Beurteilung der Qualitätskontrolle

Die Tiefenabweichungen liegen nach dem QC-Test von CARIS sämtlich im Bereich der durch die IHO S-44 vorgeschriebenen Tiefengenauigkeit von 95% des Konfidenzintervalls. Im Bereich des übersteuerten Nadirbeams und der Außenbeams sind größere Abweichungen festzustellen, die aber noch innerhalb des vorgegebenen Genauigkeitsbereichs liegen.

Da die Qualitätskontrolle im Anschluss an die Kalibrierung durchgeführt wurde, sind die bis dahin detektierten Offsets angebracht worden. Es sind dabei keine signifikanten Abweichungen, abgesehen von den übersteuerten Nadir- und Außenbeam-Bereichen, zu erkennen.

Damit ist das Fächerecholot noch hinreichend genau, um dem Standard zu entsprechen. Die dazwischen befindlichen Daten unterliegen dabei weitaus geringeren Abweichungen und entsprechen damit einer höheren Genauigkeit.

Aufgrund des eingehaltenen Standards ist davon auszugehen, dass die Offsets und Biases im Rahmen der detektierbaren Genauigkeit liegen. Dies bedeutet, dass die Offsets ab einem bestimmten Winkel erst auffällig wirken und darunter im Messrauschen verschwinden.

Auf die Auswertung wirkt sich bei diesen Tests die Rasterweite der Daten von 55 m aus und ruft geringfügig abweichende Ergebnisse hervor, die dennoch im Bereich der IHO S-44 liegen.

Anhand der Ergebnisse des QC-Tests ist zu erkennen, dass die Einstellungen der Offsets, im Hinblick auf die zum größten Teil zu 100% eingehaltenen Order 3 - Anforderungen, offenbar gut getroffen worden sind. Lediglich die hochgebogenen Außenbeams sowie der übersteuerte Nadirbereich bereiten Probleme und sorgen für geringe Abweichungen.

6.2. Vergleich zu früheren Messungen mit DS-1 oder DS-2

Der Vergleich der Hydrosweep DS-3 Daten zu älteren Messungen mit den Vorgängersystemen DS-1 und DS-2 soll eine qualitative Aussage über die Güte des neuen Messsystems liefern. Der Vergleich wurde im Rahmen dieser Arbeit mithilfe der Visualisierungssoftware Fledermaus durchgeführt.

Dafür wurde während der Expedition ANT-XXVII/1 im Bereich der Biskaya das Testgebiet "Lokation 2b" befahren, von dem bereits Messungen aus den Fahrtabschnitten ANT-VIII/1, ANT-XV/1 und ANT-XXIII/3 bestehen. Die Messungen aus vorangegangenen Fahrten dienen bei dieser Untersuchung als Referenzflächen, die mit der Doppelkreuz-Fläche von 2010 verglichen wurden. Während ANT-XXVII/1 wurde der Vergleich lediglich zwischen ANT-XXIII/1 und der aktuellen Messung hergestellt. Dabei wurde mit ArcGIS eine Standardabweichung von etwa 21,5 m berechnet.

Die Romanche Fracture Zone, ein weiteres bekanntes Testgebiet, wurde ebenfalls erneut befahren und im Rahmen dieser Arbeit mit Daten des Fahrtabschnitts ANT-VIII/1 verglichen.

6.2.1. Lokation 2b

Das Testgebiet "Lokation 2b" befindet sich im südlichen Auslauf des Canyon de Noirmoutier an der Schelfkante vor der Küste Frankreichs bei etwa 3000 m bis 4400 m unter dem Meeresspiegel.

Die *.HSX-Daten der Messung von "Lokation 2b" in der Biskaya wurden mithilfe der Software CARIS importiert und entsprechend zu Kapitel 5.2.2 editiert und prozessiert. Dabei wurden keine weiteren Einstellungen getätigt und auch kein zusätzliches SV-Profil angebracht. Anschließend konnten die Daten als ASCII-Datei „Lokation_2b_xyz_editII.xyz“ exportiert und in DMagic importiert werden, um in Fledermaus visualisiert zu werden. Dabei wurde, entsprechend der Einstellungen in Kapitel 6.1.3, die Datei „ant27_1_Doppelkreuz_mehrEditiert.sd“ erzeugt. Die bereits vorhandenen ASCII-Dateien von den Fahrtabschnitten ANT-XIII/1, ANT-XV/1 und ANT-XXIII/3 wurden zur Analyse übernommen und ebenfalls in Fledermaus dargestellt.

Die *.sd-files wurden im „Lokation_2b_mit_mehrEditiert.scene“-file zur besseren Übersicht zusammengefügt. Anhand der Farbgebung der Daten (siehe II.1.4 Anhang B) ist erkenntlich, dass nach dem Editieren die übrigen hochgebogenen Beams der ANT-XXVII/1-Daten noch im Rauschen von <1 % der Wassertiefe liegen. Die Daten liegen im Bereich der vorangegangenen Messungen, mit für diese Tiefen relativ geringer Abweichung, entsprechend der Tabellenabbildungen unter I.4.1.1 Anhang A.

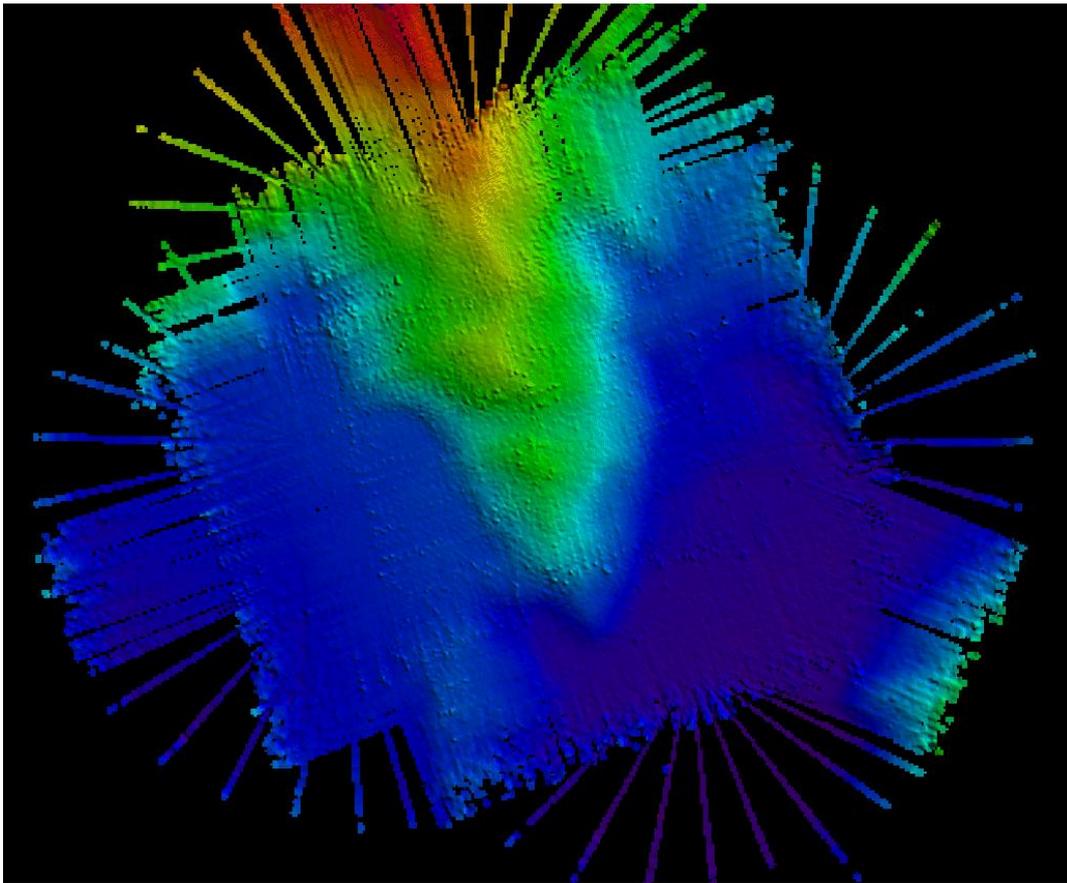


Abb. 6.7: "Lokation 2b" aus editierten Daten von ANT-XXVII/1.

Anhand der Statistikwerte (siehe I.4.1.1 Anhang A) sind große Abweichungen von bis zu 1444 m zwischen den Messungen von ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 festzustellen. Die Abweichungen zu den späteren Messungen sind hingegen deutlich geringer und liegen bei etwa ± 200 m, wodurch eine höhere Positions- und Tiefengenauigkeit der aufnehmenden Systeme festzustellen ist.

Tabelle 6: Vergleich der Statistikwerte aus den Flächendifferenzen zwischen den Tiefen aus ANT-XXVII/1 mit älteren Messungen

Vergleich	XXVII/1 mit XXIII/1	XXVII/1 mit XV/1	XXVII/1 mit VIII/1
Median	-0,31 m	-7,84 m	-13,59 m
Mittelwert	0,96 m	0,96 m	-14,08 m
Standardabweichung	13,08 m	16,50 m	18,39 m
Tiefenbereich	-93,2 m bis 199,0 m	-128,3 m bis 172,6 m	-1444,2 m bis 211,1 m
Gemessene Tiefe	4400 m		

6.2.2. Romanche Fracture Zone

Die Romanche Fracture Zone (Romanche-Bruchzone) ist ein Tiefseeegraben im Atlantik auf Höhe des Äquators. Sie ist die größte und tiefste Bruchzone des Mittelatlantischen Rückens und stellt eine ausgedehnte Störung des Meeresbodens dar. Die 1883 vom Forschungsschiff „Romanche“ entdeckte und nach ihm benannte Tiefseerinne ist durch die Kontinentaldrift der afrikanischen und südamerikanischen Platte entstanden. Da die Platten noch immer auseinanderdriften ist der Bereich der Bruchzone weiterhin tektonisch sehr aktiv. Der Graben, mit seinen steilen Hängen ist im Zentralbereich ca. 15 km breit und liegt bei fast 8000 m unter dem Meeresspiegel (Gutberlet M. , 1991).

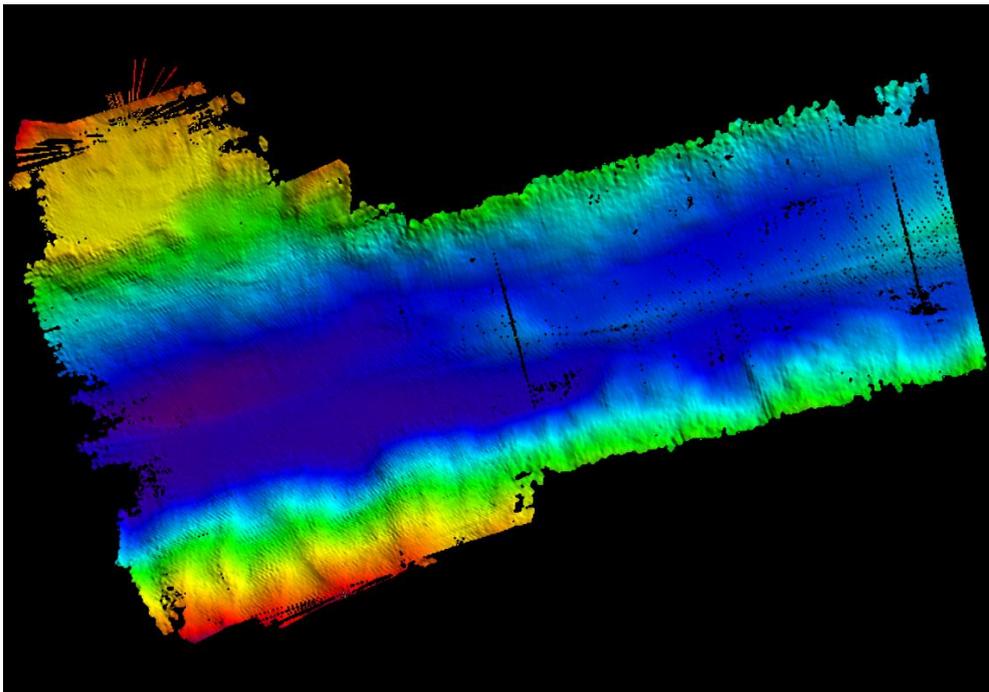


Abb. 6.8: Darstellung der Romanche Fracture Zone als BASE Surface in CARIS.

Zur Visualisierung wurden die Daten analog zu Kapitel 6.1.3. von CARIS HIPS im ASCII-Format nach Fledermaus exportiert.

Dabei ist in CARIS HIPS in der Base Surface-Darstellung deutlich erkennbar, dass der Fächer wesentlich breiter, als der des alten Systems auf der Expedition ANT-VIII/1 ist, aber dafür stärker nach oben gebogene Außenbeams enthält.

Tabelle 7: Statistikwerte aus den Flächendifferenzen zwischen den Tiefen aus ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 in der Romanche-Bruchzone

Vergleich der Expeditionen	XXVII/1 mit VIII/1
Median	21,77 m
Mittelwert	16,34 m
Standardabweichung	49,33 m
Tiefenbereich	-447,9 m bis 343,7 m
Gemessene Tiefe	7500 m

6 Genauigkeitsanalysen

Auch hier ist analog zu Kapitel 6.2.1 eine hohe Abweichung der Daten erkennbar. Dabei liegen die Differenzen zwischen den Messungen bei ± 500 m.

Anhand der Häufigkeitsverteilung der Daten der Differenzfläche im Bereich der Romanche-Bruchzone ist ersichtlich, dass die Abweichungen nahezu gleichmäßig verteilt sind und somit nur wenige Ausreißer zu erwarten sind. Mit einer Standardabweichung von 49,33 m bei einem Tiefenbereich um 7500 m entspricht die Genauigkeit etwa 0,66 % der Wassertiefe, was folglich noch deutlich im Bereich des Messrauschens von 0,5 % bis 1 % der Wassertiefe entspricht.

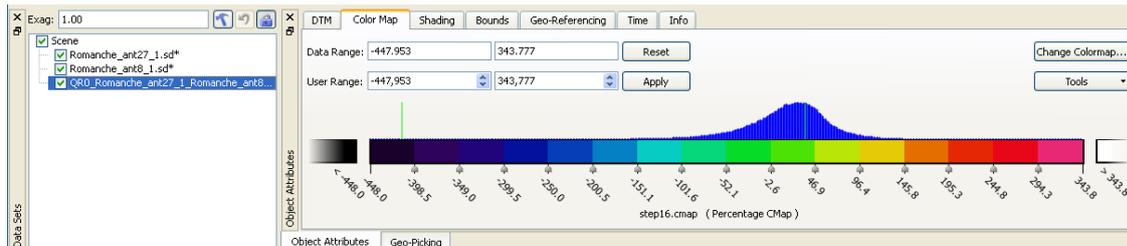


Abb. 6.9: Histogramm der Verteilung der verschiedenen starken Tiefenänderungen der Differenzfläche aus ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich der Romanche-Bruchzone mit entsprechender Farbskalierung.

6.2.3. Fazit aus dem Vergleich zu früheren Messungen

Anhand der Abweichungen der Grids im Vergleich zu den absolut gemessenen Tiefen ist erkenntlich, dass die vom AWI für das Fächerecholot angeforderte Genauigkeit von 0,5 % bis 1 % der Wassertiefe gut eingehalten wurde. Damit liegt das Ergebnis in den Anforderungen der IHO S-44 Order 3.

Die Standardabweichung ist dabei im mittleren Tiefenbereich von ca. 4400 m sogar besser als 0,5 % der Wassertiefe (vgl. Kapitel 6.2.1).

Mittels der Ergebnisse von "Lokation 2b" ist ein Trend der Tiefengenauigkeit des Fächerecholots als eine Verbesserung über die Jahre zu erkennen. Im Vergleich mit den neueren Datensätzen sind die Abweichungen deutlich geringer. Daher kann auch die Vergleichsmessung in der Romanche-FZ mit den hohen Abweichungen aufgrund der schlechten Tiefengenauigkeit des Lots während ANT-VIII/1 interpretiert werden. Da die Daten von ANT-VIII/1 mit einer vergleichsweise schlechteren Tiefengenauigkeit erfasst wurden, sind die Abweichungen zu ANT-XXVII/1 relativ groß, liegen aber bei einem Tiefenbereich um 7500 m bei etwa 0,75 % der Wassertiefe und dem entsprechend im Messrauschen von <1 % der Wassertiefe.

Die schlechtere Tiefengenauigkeit von HS während ANT-VIII/1 ist auf den damaligen Stand der Technik von 1989 zurück zu führen. Zu dieser Zeit war aufgrund der Beschränkungen durch das US Militär keine durchgängig gute GPS-Positionierung möglich, und das Echolotsystem lieferte noch nicht so genaue Messwerte wie heute. Zudem hat sich die Genauigkeit der Inertial- bzw. Lagesysteme seit dem deutlich verbessert, sodass die Positionierung der Messwerte deutlich gesteigert werden konnte.

Somit ist die relativ hohe Genauigkeit von Hydrosweep DS 3 durchaus gewährleistet und kann für zukünftige Fahrten genutzt werden.

Sollten die im nächsten Kapitel angesprochenen Probleme geklärt und möglicherweise auf sämtliche Daten angewandt werden müssen, könnte sich abhängig von den Einstellungen die Genauigkeit noch verbessern.

6.3. Vergleich der EIVA- und HYPACK-Daten

Während der Expedition ANT-XXVII/1 wurden am 28.10.2010 für einige Stunden die Tiefendaten parallel zu HYPACK mit der Software EIVA aufgezeichnet und dargestellt. Um etwaige Unterschiede zwischen den Darstellungssoftwareprogrammen zu erkennen, wurden die Datensätze in CARIS 7.0 importiert und ohne Postprocessing als ASCII-Files exportiert. Die Daten wurden dann mit der Darstellungssoftware Fledermaus der Firma IVS 3D visualisiert.

Unter der Annahme, dass EIVA und HYPACK jeweils über das Hydrosweep-Netz identische Datentelegramme geliefert bekommen und in den Programmen nach dem jetzigen Erkenntnisstand keine weiteren Einstellungen bezüglich der Winkel- und Positionsoffsets gemacht worden sind, müssten beide erzeugten Flächen direkt aufeinander liegen und eine gemeinsame Oberfläche bilden, soweit die Berechnungsalgorithmen identisch sind.

Die HYPACK-Daten wurden analog zum Kapitel 5.2.2 in CARIS importiert. Allerdings können die HYPACK-*.HSX- Daten lediglich mit dem Navigations-Koordinaten-Typ (Navigation Coordinate Type) "Geographic" genutzt werden. Geographic bedeutet hier, dass die Navigationsdaten in Geographischen Koordinaten (Latitude und Longitude) aufgezeichnet wurden.

Die EIVA-Daten hingegen liegen als *.SBD-files vor und können ausschließlich mit der Einstellung "Ground" importiert werden, da die Navigationsdaten in kartesischen Koordinaten (Easting und Northing) vorliegen. Deshalb ist der Navigations-Koordinaten-Typ (Navigation Coordinate Type) "Geographic" an dieser Stelle nicht wählbar.

Die EIVA-Daten können bisher nur nach CARIS 7.0 importiert werden, da 6.1 das Format noch nicht unterstützt. Bei der Aufnahme der EIVA-Daten wurde ebenfalls eine falsche UTM-Zone eingestellt. Dadurch ist wiederum ein „1°-Grad-Fehler“ aufgetreten. Um diesen Zustand zu beheben, muss statt der UTM Zone 30N (6°W – 0°) die Zone 31N (0° - 6°E) genutzt werden, um die Daten an die richtige Position zu transformieren.

Da nur die uneditierten Rohdaten verglichen werden und die EIVA-Daten über keine Tide-Information verfügen, wird anschließend die Tidedatei „zerotide.tid“ angebracht. Über den Befehl „Merge“ werden den Tiefenwerten eindeutige Koordinaten zugewiesen.

Mit der Funktion „HIPS to ASCII“ werden die nach CARIS konvertierten EIVA- und HYPACK-Dateien als ASCII-Format gespeichert. Dabei müssen für weitere Anwendungen Longitude, Latitude und Tiefe (Depth) ausgewählt werden. Dadurch wird automatisch die für dieses Gebiet korrekte UTM-Zone eingestellt.

Die Daten können in die Software DMagic der Firma IVS 3D importiert und anschließend in Fledermaus visualisiert werden. Dabei wurde eine Rastergröße von 55 m gewählt, der Maßstab 1:10000 und "Weighted Moving Average" mit der Gewichtung 3 eingestellt. Die dadurch erzeugten *.sd-Files können anschließend über den Befehl „save scene“ als *.scene-File zusammengefügt und gespeichert werden.

Die Grids der EIVA und HYPACK-Daten weisen in Fledermaus einige Höhenunterschiede auf, die dort im Idealfall nicht sein sollten.

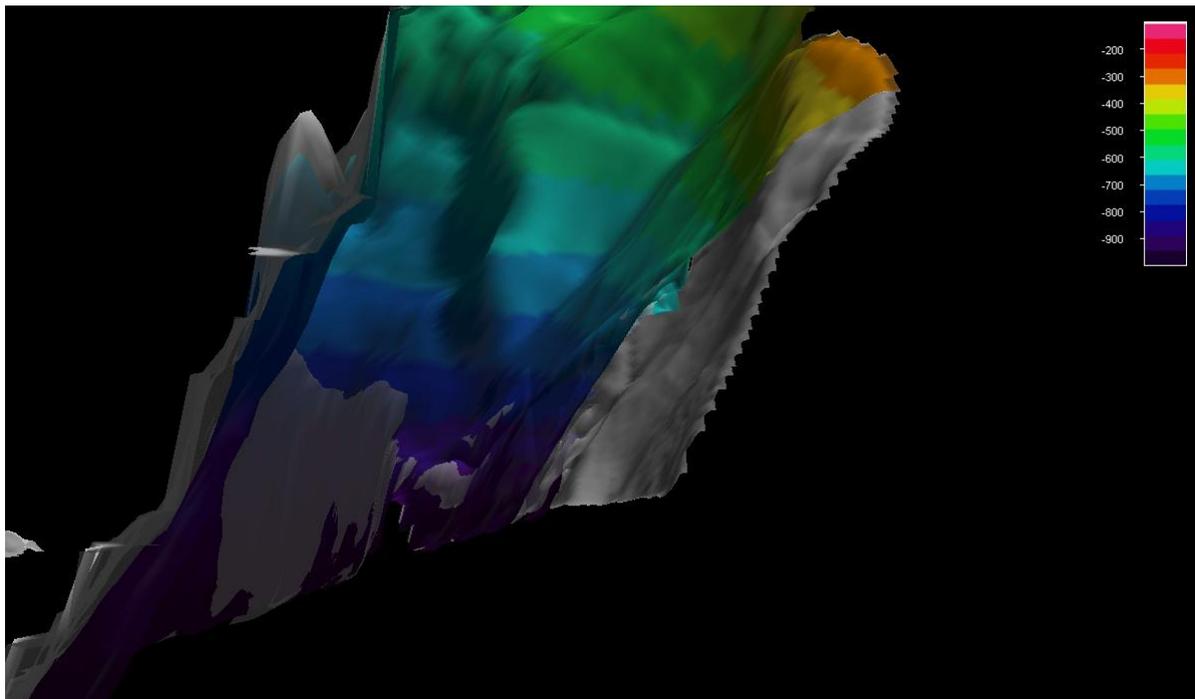


Abb. 6.10: Anhand des Screenshot aus Fledermaus sind die Abweichungen der verschiedenen eingefärbten Grids zu erkennen.

Die Berechnung der Abweichungen zwischen den Grids wurde über die Flächendifferenz mithilfe des Werkzeugs „Surface Differenz“ durchgeführt. Dabei wird eine Fläche als Referenzfläche gewählt, von der die andere abgezogen wird. Aus diesen Daten werden eine neue Fläche und ein zugehöriger Statistik-Report („Surface Statistic“) erstellt. Die resultierende Fläche kann ebenfalls als *.sd-File gespeichert werden und bleibt somit erhalten.

Tabelle 8: Statistikwerte aus der Flächendifferenz zwischen EIVA und HYPACK

Median	-2,09 m
Mittelwert	-3,59 m
Standardabweichung	4,11 m
Tiefenbereich	-127,347 m bis -0,001 m

Im Flachwasserbereich bei -120 m bis -250 m unter dem Meeresspiegel, mit nahezu ebenem Boden und geringem Gefälle, befinden sich die meisten auf die Tiefe bezogenen Abweichungen. Sie liegen bei <1 m bis 3 m und bleiben vergleichsweise gering. An den Hängen bis 500 m Tiefe betragen die Abweichungen hingegen 3 m - 9 m, bleiben aber in ihrem Umfang eher gering. Die Abweichungen werden mit über 20 m im Tiefenbereich von 1000 m relativ groß, bleiben aber in ihrer Anzahl ähnlich gering wie im mittleren Tiefenbereich (siehe Histogramm in Abb.: 6.11). Die stärksten Abweichungen sind folglich im Bereich der Hänge gelegen.

Anhand der Tabelle (siehe I.4.2.1 Anhang A) ist ersichtlich dass die Standardabweichung in Anbetracht der Tiefe von 1000 m eher gering ist. Dies stimmt mit der großen Menge an Abweichungen im Flachwasser überein. Allerdings unter dem Gesichtspunkt, dass die Werte identisch sein sollten, sind diese Abweichungen als recht groß einzustufen, sodass hier eine

6 Genauigkeitsanalysen

explizitere Untersuchung unter Kenntnis sämtlicher Einstellungen beider Softwareprogramme wünschenswert wäre.

Bei Betrachtung der gerechneten Grids in Fledermaus ist erkenntlich, dass die EIVA-Daten hauptsächlich oberhalb der HYPACK-Daten liegen. Die Abweichungen sind allerdings nicht konstant sondern steigen mit Zunahme der Tiefe.

Anhand des Histogramms (siehe Abb.: 6.11) und der verschiedenen eingefärbten Daten, ist ersichtlich, dass kein gleichmäßiger Tiefenoffset, sondern durchaus eine tiefenabhängige Abweichung und somit ein systematischer Fehler aufgetreten ist. Im Bereich der ebenen Strecken im Flachwasser betragen die Abweichungen <1-3 m, die besonders deutlich an den Rändern der Swaths zu erkennen sind. An den abfallenden Hängen betragen die Abweichungen hingegen 3-9 m und enthalten teilweise Ausreißer von über 20 m.

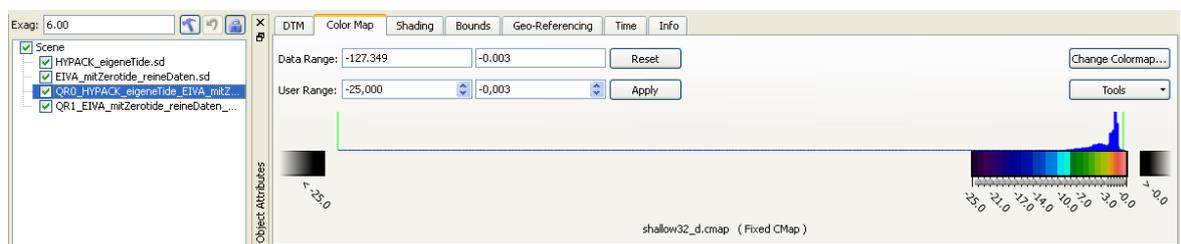


Abb. 6.11: Das über der Farbskala gelegene Histogramm der Differenzfläche zwischen EIVA und HYPACK stellt die ungleichmäßige Verteilung der Tiefenabweichungen dar.

Dies ist sicherlich in geringem Maße auf mögliche Unterschiede in den Berechnungsalgorithmen zurückzuführen, da jede Softwarefirma zur Berechnung der Tiefen und Ablagen eigene Formeln nutzt, die i.d.R. nicht veröffentlicht werden. Unter der Voraussetzung, dass EIVA lediglich die von ATLAS Hydromap Control gelieferten Daten visualisiert und nicht entsprechend zu HYPACK erneut berechnet, dürften geringe Abweichungen auftreten. Die unterschiedlichen Berechnungsmethoden erklären aber nicht die erheblichen Abweichungen von über 20 m im Bereich des Abhangs, der für die Time Latency-Kalibrierung genutzt wurde. Unter der Annahme, dass beide Programme über das Interface, in dem die Offsets und Biases geändert wurden, identische Daten erhalten, sollten auch in diesem Fall keine Unterschiede zu erkennen sein. In Anbetracht, dass die Daten nur visualisiert und damit identisch sein sollten, stellen 1-2 m Abweichung einen kritischen Wert dar, wengleich die Abstände im Genauigkeitsbereich von <1% der Wassertiefe liegen.

ind im Betracht, dass die Daten nicht neu berechnet, sondern nur visualisiert und damit identisch sein sollten ein kritischer Wert, wengleich die Abstände im Genauigkeitsbereich von <1 % der Wassertiefe, im Messrauschen liegen.

Inwiefern weitere oder abweichende Einstellungen in der einen, wie der anderen Software vorgenommen wurden, kann im Nachhinein aufgrund der in diesem Bezug fehlenden Metadaten nicht überprüft werden. Dies erschwert die Ursachenfindung, weshalb nur mögliche Ursachen ohne Überprüfung diskutiert werden können.

Dass unterschiedliche Einstellungen, wie die Berücksichtigung der Wandler-Einmessung, besonders des vertikalen Abstand des Wandlers zum SKS, oder eines abweichenden Wasserschallprofils in

6 Genauigkeitsanalysen

einer der beiden Softwareprogramme, die Ursache für die Abweichungen darstellen, ist allerdings recht wahrscheinlich. Unter Umständen wurden in einer der beiden Softwareprogramme zusätzliche Winkel-Offsets angebracht, dies würde den tiefenabhängigen Versatz in den Daten erklären, der beispielsweise auf einen Pitch-Offset hindeutet. Auch ein Time Latency-Offset ist denkbar, da die Daten in der Horizontalen minimal nach vorne versetzt sind. In diesem Fall ist die Differenzierung zwischen den Fehlern aber sehr schwierig.

Möglich ist auch die Einstellung falscher Lage-Offsets des Beamers im System von HYPACK oder EIVA. Allerdings dürften die Werte sich nicht als tiefenabhängiger Fehler auswirken, sondern einen relativ konstanten Wert ergeben.

Aufgrund dieser vergleichsweise großen Abweichungen und in Anbetracht der Tatsache, dass in HYPACK sämtliche Einstellungen analog zu ATLAS Hydromap Control eingegeben werden sollen, erscheint eine abweichende Neuberechnung der Tiefendaten durch HYPACK als sehr wahrscheinlich. Daher können unter Umständen gewisse Einstellungen bezüglich des Wasserschallprofils oder der Lage des Schwingers doppelt angebracht werden, die die Messergebnisse verfälschen. Diese Unstimmigkeiten zwischen HYPACK und ATLAS sind vermutlich auf unzureichende Kommunikation bezüglich der Datenausgabe zurückzuführen, da bisher davon ausgegangen wurde, dass die Daten die vom Fächerecholot über ATLAS Hydromap Control ausgegeben werden, bereits durch das Wasserschallprofil korrigiert sind.

Über das Interface zwischen HYPACK und ATLAS gibt es unterschiedliche Sichtweisen, von denen bisher nur HYPACK in einer E-Mail von Joe Burnett vom 25.7.2011 Stellung bezogen hat. Demnach sollen sämtliche Daten von ATLAS zwar übernommen, die Tiefen aber separat neu berechnet werden. Daher müssen während der Prozessierung im Nachhinein sämtliche Zusatzinformationen wie das Wasserschallprofil erneut angebracht werden. Da aber angeblich das Fächerecholot bereits die über die Wasserschallgeschwindigkeit korrigierten Tiefen ausgibt, ist nun unklar, welche Informationen tatsächlich genutzt werden. Für die Bearbeitung der Daten bin ich von den bisherigen Angaben ausgegangen, dass die erfassten Werte in den *.HSX-Dateien von HYPACK bereits die Wasserschallgeschwindigkeit enthalten und nur bei im Nachhinein geänderten Bedingungen die Wasserschallgeschwindigkeit im Programm angebracht werden muss.

Eine ausführliche Besprechung über die Kommunikation und das Interface zwischen ATLAS und HYPACK soll im August 2011 stattfinden und kann daher nicht mehr in die Ausarbeitung und gegebenenfalls Überarbeitung der Ergebnisse mit einfließen.

Anhand dieses Vergleiches lässt sich jedoch nicht ablesen, welche Software besser für die Vermessung als auch Kalibrierung geeignet ist, da hier vernünftig belegte Vergleichsmessungen fehlen. Um die Messsysteme sinnvoll einander gegenüber zu stellen, müsste eine systematische Vermessung mit beiden Softwareprogrammen gleichzeitig stattfinden, und intensiv auf die Einstellungen geachtet werden. Dies ist während der Expedition ANT-XXVII/1 nicht geschehen, sodass hierüber keine fundierten Aussagen getroffen werden können.

Für den Fall, dass definitiv keine unterschiedlichen Einstellungen getätigt wurden, sind die hier aufgezeigten Abweichungen, nicht akzeptabel und Anlass für weitere Untersuchungen.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Kalibrierung ist während ANT-XXVII/1 auf FS Polarstern unter den zu dem damaligen Zeitpunkt bekannten Voraussetzungen durchgeführt worden. Die im Nachhinein erzielten Kalibrierergebnisse sprechen dafür, dass die Genauigkeit der Kalibrierung mit den zur Verfügung stehenden Mitteln deutlich schlechter ist, als bisherige Ergebnisse aus vergangenen Jahren. Bisher wurde während der Kalibrierung der "Alternate-Modus" der Kreuzfächerkalibrierung (Schenke, 1992) genutzt, der es durch das Vorausschauen des Swaths ermöglicht hat, auch für den Pitch-Wert ähnlich genaue Ergebnisse wie für Roll zu erzielen. Dies ist mit HS DS-3 nicht mehr möglich, sodass sich auch diese Genauigkeit nicht mehr erreichen lässt.

Die Offsets bzw. Biases wurden, im Rahmen der geringen Genauigkeit beider Softwareprogramme, entsprechend mit Abweichungen zwischen $\pm 0,05^\circ$ bis über $\pm 0,5^\circ$ ermittelt und angebracht, bzw. bei den ursprünglichen Werten belassen. Höhere Genauigkeiten könnten möglicherweise mit anderen Methoden und Softwareprogrammen erzielt werden, die auch die geringen Redundanzen in der Tiefsee berücksichtigen.

Die Qualitätskontrolle der aufgenommenen Daten zeigt, dass das Fächerecholot Hydrosweep DS-3, trotz der geringen Kalibriergenauigkeit, noch sehr gut im Bereich der IHO S-44 Order 3 liegt. Obwohl die kalibrierten Offsets mit relativ geringen Genauigkeiten bestimmt wurden, ist auch nach Vergleichen zu "Lokation 2b" und der Romanche-Rinne die noch relativ hohe Tiefengenauigkeit, von <1% der Wassertiefe, von Hydrosweep DS³ durchaus gewährleistet und kann somit für folgende Fahrten genutzt werden.

Der Vergleich zu den gleichzeitig zu HYPACK aufgenommenen EIVA-Daten wirft aufgrund der großen Abweichungen jedoch Fragen auf.

Problematisch für die Auswertung waren dabei die ständig neuen Erkenntnisse, im Bezug auf die während ANT-XXVII/1 versäumten oder anders überlieferten Einstellungen und dadurch entstandene Fehler, die sich besonders durch den EIVA-HYPACK-Vergleich aufgetan haben. Bis jetzt sind einige Aspekte davon, bezüglich der Schnittstelle zwischen ATLAS und HYPACK noch nicht geklärt oder bedürfen noch genaueren Untersuchungen, für die hier der zeitliche Rahmen nicht ausreicht.

Um etwaige Unklarheiten und Fehler im Vorweg zu vermeiden und die Einstellungen an Bord inklusive der Kalibrierung von Beginn an korrekt durchführen zu lassen, hätte meines Erachtens, bei erstmaliger Verwendung des umgerüsteten Systems mit der neuen Software auch fachkundiges Personal der Softwarefirma HYPACK mit an Bord gehen sollen. Dies ist allerdings ein Versäumnis der Firma ATLAS, die die HYPACK-Software vermittelt hat. Auf der Expedition ANT-XXVII/4 im Mai 2011 wurden daher die Einstellungen an Bord durch Joseph Burnett von der Firma HYPACK überprüft und korrigiert. Des Weiteren wurde auf diesem Fahrtabschnitt eine Softwareschulung durchgeführt, die für die Kalibrierfahrt ANT-XXVII/1 mit Sicherheit sinnvoll gewesen wäre.

Im Laufe der Auswertungen hat sich dabei die Frage ergeben, wie die Datenverwendung (Interface) zwischen ATLAS und HYPACK geregelt ist, da in der Software HYPACK diverse Einstellungen zusätzlich eingetragen werden müssen, die in Hydromap Control bereits angebracht wurden. Möglicherweise werden daher Daten anders berechnet oder Einstellungen doppelt angebracht, sodass die Messergebnisse verfälscht werden. Dies könnte unter Umständen auch die

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Tiefenabweichungen zwischen HYPACK und EIVA erklären (siehe Kapitel 6.3). Nach neuesten Angaben diesbezüglich, werden zwar sämtliche Daten von ATLAS in HYPACK übernommen, aber die Tiefen neu berechnet. Aus diesem Grund müssten sämtliche Einstellungen von ATLAS Hydromap Control ebenfalls in HYPACK eingetragen werden. Auf Basis früherer Einstellungen wird allerdings davon ausgegangen, dass ATLAS Hydromap Control die bereits mit der Wasserschallgeschwindigkeit korrigierten Tiefen ausgibt, die entsprechend von HYPACK ohne Neuberechnung übernommen werden. Daher ist nun unklar, welche Informationen tatsächlich genutzt werden. Diese Abweichungen beziehen sich somit auf nahezu sämtliche Auswertungen dieser Arbeit, da für die Bearbeitung der Daten von den bisherigen Angaben von ATLAS ausgegangen wurde. Eine Überarbeitung ist im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht mehr durchzuführen und im Bezug auf die noch nicht vollständig geklärten Ursachen auch nicht sinnvoll. Eine ausführliche Besprechung zwischen den beteiligten Firmen soll im August 2011 stattfinden und diesbezüglich Klarheit für kommende Expeditionen von FS Polarstern bringen.

Für die Zukunft besteht daher der Rat, sämtliche Einstellungen ausführlich zu dokumentieren, um Ergebnisse ohne Einschränkungen nachvollziehen zu können. Dabei könnte sich an dem ausführlichen Protokoll „Hydrographic Surveys Multibeam Echosounder Calibration Report“ der US-Behörde NOAA (NOAA, 2004) orientiert werden. Zusätzlich sollten sämtliche Schnittstellen, Werte etc. protokolliert werden. Es darf nicht sein, dass zwei Firmen, deren Produkte aufeinander aufbauen unter falschen Voraussetzungen zusammenarbeiten. Hierbei wäre sinnvoll von den Firmen jeweils ein vollständiges Protokoll anzufordern, in dem eindeutig beschrieben steht, in welcher Form die Daten weiter gegeben und weiter verarbeitet werden. Auch wenn Berechnungsformeln nicht weiter gegeben werden dürfen, muss zumindest bekannt sein, welche Parameter dort eingehen, um die Richtigkeit der Messung nachvollziehen zu können.

Nach der kommenden Wertzeit im Oktober 2011 werden erneut Teile der Hardware des Hydrosweep DS-3 ausgetauscht, sodass auf der darauf folgenden Expedition ANT-XXVIII/1 erneut eine Kalibrierung durchgeführt werden muss. Bis spätestens dahin sollten sämtliche Unstimmigkeiten bezüglich ATLAS und HYPACK geklärt werden, sodass eine problemlose Kalibrierung ermöglicht wird. Dabei sollte aus den Fehlern der Vergangenheit gelernt und die Kalibrierung sorgfältiger vorbereitet und durchgeführt werden, um eine höhere Genauigkeit zu erzielen.

Literaturverzeichnis

- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI). (2010a). *ANT-XXVII/1, Wochenbericht Nr. 1, 24. Oktober 2010 - 31. Oktober 2010*. Bremerhaven.
- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI). (2010b). *Fahrtbericht ANT-XXVII/1*.
- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI). (2010c). *Handbuch FS Polarstern - Ein Leitfaden zur Planung und Durchführung von Expeditionen mit FS Polarstern*. (S. El Naggar, & E. Fahrbach, Hrsg.) Bremerhaven: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung.
- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI). (2011d). *Polarstern - Technische Daten*. Abgerufen am 2. Juni 2011 von http://www.awi.de/de/infrastruktur/schiffe/polarstern/technische_daten/
- Alliance for Coastal Technologies (ACT). (2011). *Alliance for Coastal Technologies*. Abgerufen am 22. Juni 2011 von <http://www.act-us.info/sensordetail.php?ID=5515&cat=&type=>
- ATLAS Hydrographic. (2011b). *ATLAS HYDROGRAPHIC A company of the ATLAS ELEKTRONIK Group*. Abgerufen am 7. Juli 2011 von ATLAS HYDROGRAPHIC: Medium Depth/Deep-Sea Multibeam Echosounders Homepage:: <http://www.atlashydro.atlas-elektronik.com/index.php?id=2027>
- ATLAS Hydrographic. (2011d). *ATLAS HYDROSWEEP DS.pdf*. Abgerufen am 11. Juni 2011 von http://www.atlashydro.atlas-elektronik.com/fileadmin/Objekte/HYDROGRAPHIC/pdf-downloads/DbI_10-2010_eng/ATLAS_HYDROSWEEP_DS.pdf
- ATLAS Hydrographic. (2011a). *ATLAS Corporate Profile*. Abgerufen am 14. Juni 2011 von http://www.atlashydro.atlas-elektronik.com/uploads/media/ATLAS_Corporate_Profile_01.pdf
- ATLAS Hydrographic. (2011c). *ATLAS HYDROGRAPHIC: About Us*. Abgerufen am 14. Juni 2011 von (besucht am 14.06.2011): <http://www.atlashydro.atlas-elektronik.com/index.php?id=2064>
- CARIS. (2007). *CARIS HIPS & SIPS 6.1 Users Guide*. CARIS, Handbuch.
- CARIS. (2008). *CARIS HIPS and SIPS User Guide*. CARIS, Handbuch.
- CARIS. (2011). *CARIS HIPS & SIPS 7.0 Users Guide*. CARIS, Handbuch.
- EIVA a/s. (2011). *Software*. Abgerufen am 15. Juli 2011 von <http://www.EIVA.dk/sw162.asp>
- Godin, A. (1996). *Field Procedures for the Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. Halifax, Nova Scotia, Canada: Canadian Hydrographic Service.
- Godin, A. (1998). *The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. New Brunswick, Canada: Department of Geodesy and Geomatics Engineering .

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

- Gutberlet, M. (Februar 1991). Anwendung digitaler Geländemodelle am Beispiel der Tiefseevermessung in der Romanche Fracture Zone. *DHyG-Info Sonderheft*, S. 1-46.
- Gutberlet, M., & Schenke, H.-W. (1989). HYDROSWEEP: New Era in High Precision Bathymetric Surveying in Deep and Shallow Water. (Taylor & Francis, Hrsg.) *Marine Geodesy, Volume 13*, S. 1-23.
- Hare, Godin, & Mayer. (1995). *Accuracy estimation of Canadian Swath and Sweep sounding systems*.
- HYPACK. (2009). *HYPACK Manual*. HYPACK, Inc., Handbuch.
- HYPACK. (2010a). *2010 Multibeam-Patch-Test.ppt*. HYPACK, Inc., Präsentation.
- HYPACK. (2010b). *2010 User Manual*. HYPACK, Inc., Handbuch.
- HYPACK. (2011a). *About HYPACK Inc*. Abgerufen am 14. Juni 2011 von <http://www.hypack.com/new/Company/AboutUs/tabid/67/Default.aspx>
- HYPACK. (2011b). *HYPACK Home*. Abgerufen am 14. Juni 2011 von <http://www.hypack.com/new/Home/tabid/36/Default.aspx>
- International Hydrographic Organisation. (1998). *IHO Standards for hydrographic Survey – Special Publication No. 44* (4. Ausg.). Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Koch, M. (2010). FS Polarstern.
- Mann, R. (1998). *Field Calibration Procedures for Multibeam Sonar Systems*. Alexandria, Virginia: U.S. Army Corps of Engineers - Topographic Engineering Center (TEC).
- National Institute of Oceanography India (NIO). (2005). *Report of sixth cruise of „AKADEMIK BORIS PETROV“ 31.Mai – 29.Juni, 2005*.. Abgerufen am 15. Juni 2011 von [http://itg.nio.org/DataCentre.nsf/88d83effae0d284965256fc1001d0349/8d05e977451307556525724300483891/\\$FILE/Cruise_abp_VI.pdf](http://itg.nio.org/DataCentre.nsf/88d83effae0d284965256fc1001d0349/8d05e977451307556525724300483891/$FILE/Cruise_abp_VI.pdf)
- OVERATH & SAND SHIP SURVEYORS. (2010). *SURVEY DOCUMENTATION (Rev. 2 / 02.11.2010) "FS Polarstern"*. LLOYD BREMERHAVEN.
- R2Sonic. (2009). *R2Sonic - The Patch Test*. Abgerufen am 18. Juni 2011 von http://www.r2sonic.com/pdfs/R2Sonic_ThePatchTest.pdf
- Rob Hare, A. G. (1995). *Accuracy estimation of Canadian Swath (multibeam) and Sweep (multi-transducer) sounding systems*. Canadian Hydrographic Service.
- Schenke, H.-W. (1992). GPS und Fächersonarmessung mit Hydrosweep auf FS Polarstern. *ZfV*, 117. Jahrgang, Heft 8/9, S. 599-615.
- U.S. Department of Commerce - National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA). (2004). *Hydrographic Surveys Multibeam Echosounder Calibration Report*. Von

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

http://ccma.nos.noaa.gov/products/biogeography/usvi_nps/pdf/NF-04-06_PatchTestReport.pdf abgerufen

Valeport. (2011). *Sound Velocity Sensors & Profilers*. Abgerufen am 3. Juli 2011 von <http://www.valeport.co.uk/products/soundvelocity.aspx>

I Anhang A

I.1 Daten-Übersicht

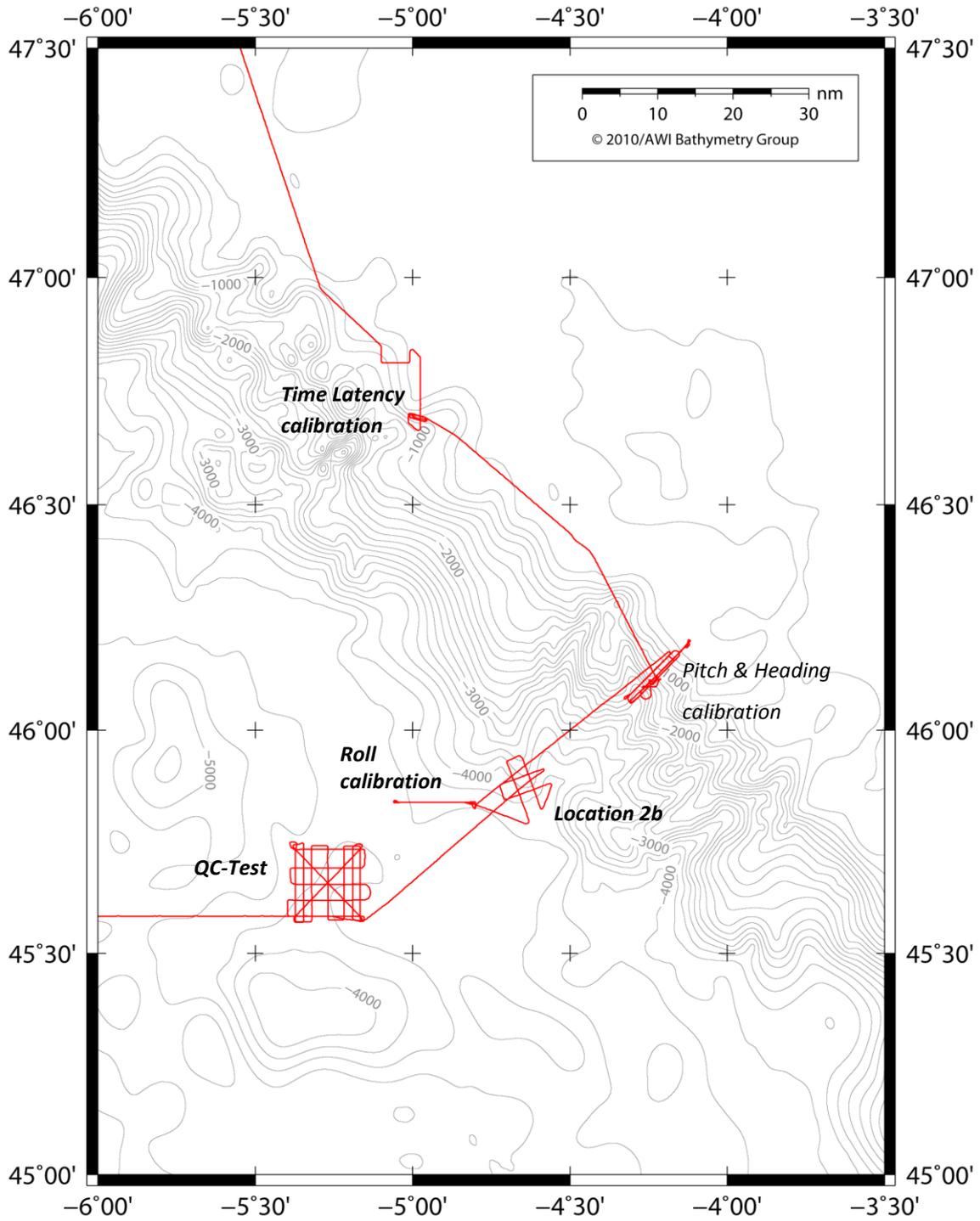


Abb. I.1: Übersicht der Daten der Kalibrierung in der Biskaya (AWI, 2010b).

Time Latency calibration (28.10.2010 10:52 – 28.10.2010 12:56) Day of the Year: 301

(kommen jeweils in verschiedenen Projekten zur Geltung)

Die konvertierten CARIS-Daten ohne 3°-Fehler durch Koordinatensubtraktion (Oktober 2010):

- 1052TimeLatencyTr1MINS
- 1123TimeLatencyTr2MINS
- 1207TimeLatencyTr1Trimble
- 1242TimeLatencyTr2Trimble

Die HYPACK-Daten mit 3°-Fehler - entsprechend der Geodesy im jeweiligen Projekt (Oktober 2010):

- 1052TimeLatencyMINSTr1.HSX
- 1123TimeLatencyTr2MINS.HSX
- 1207TimeLatencyTr1Trimble.HSX
- 1242TimeLatencyTr2Trimble.HSX

Erneut von CARIS konvertierte Daten ohne 3° Fehler durch Import der zugehörigen *.RAW-Dateien (2011) (analog die folgenden Daten - ohne den erweiterten Dateinamen):

- 000_1242
- 000_1123
- 000_1207
- 000_1052

Pitch calibration (28.10.2010 19:35 – 29.10.2010 8:50) Day of the Year: 301 -302

Die konvertierten CARIS-Daten ohne 3°-Fehler durch Koordinatensubtraktion (Oktober 2010):

- 1935MINS1PitchGrobHin
- 2028MINS1PitchGrobZurück
- 2150MINS2PitchGrobHin
- 0105MINS2PitchGrobZurueck

Die HYPACK-Daten mit 3°-Fehler - entsprechend der Geodesy im jeweiligen Projekt (Oktober 2010):

- 1935MINS1PitchGrobHin.HSX
- 2028MINS1PitchGrobZurück.HSX
- 0105MINS2PitchGrobZurueck.HSX
- 2150MINS2PitchGrobHin.HSX

Feinkalibrierung:

- 0213 (Pitch fein Hin MINS 1)
- 0320 (Pitch fein Zurück MINS 1)
- 2350 (Pitch fein Hin MINS 2)
- 0105 + 0148 (Pitch fein Zurück MINS 2)

Anhang A

Kalibrierung - Romanche (genutzte MINS nicht bekannt! Buchstaben stehen für zusammengehörige Profile) ohne 3°-Fehler; für HYPACK und CARIS:

- 3170104 A
- 3162203 A
- 3170009 B
- 3162255 B
- 3170216 C
- 3170421 C,D
- 3170310 D
- 3170611 E
- 3170800 E

Heading calibration (29.10.2010 4:43 – 29.10.2010 8:50) Day of the Year: 302

Die konvertierten CARIS-Daten ohne 3°-Fehler durch Koordinatensubtraktion (Oktober 2010):

- 0442MINS1HeadingGrobHin
- 0535MINS2HeadingGrobHin
- 0759MINS2HeadingGrobZurueck
- 0908MINS1HeadingGrobZurueck

Die HYPACK-Daten mit 3°-Fehler - entsprechend der Geodesy im jeweiligen Projekt (Oktober 2010):

- 0442MINS1HeadingGrobHin.HSX
- 0908MINS1HeadingGrobZurueck.HSX
- 0535MINS2HeadingGrobHin.HSX
- 0759MINS2HeadingGrobZurueck.HSX

Roll calibration (29.10.2010 15:27 – 30.10.2010 2:00) Day of the Year: 302-303

Die konvertierten CARIS-Daten ohne 3°-Fehler durch Koordinatensubtraktion (Oktober 2010):

- 1527MINS1RollGrobHin
- 1653MINS1RollGrobZurueck
- 1815MINS2RollGrobHin
- 1942MINS2RollGrobZurück

Die HYPACK-Daten mit 3°-Fehler - entsprechend der Geodesy im jeweiligen Projekt (2011) bzw. nochmal nach CARIS konvertiert (inkl. Feinkalibrierprofilen)

- 000_0058 (Roll Fein MINS 1 zurück)
- (000_0203 zu kurz)
- (000_0204 zu kurz)
- 000_1527 (Roll Grob Hin MINS 1)
- 000_1653 (Roll Grob Zurück MINS 1)
- 000_1815 (Roll Grob Hin MINS 2)
- 000_1942 (Roll Grob Zurück MINS 2)
- 000_2103 (Roll Fein Hin MINS 1)
- 000_2220 (Roll Fein Zurück MINS 1)
- 000_2341 (Roll fein Hin MINS 2)

Anhang A

Die HYPACK-Daten mit 3°-Fehler - entsprechend der Geodesy im jeweiligen Projekt (2011)

- 1527MINS1RollGrobHin.HSX
- 1653MINS1RollGrobZurueck.HSX
- 1815MINS2RollGrobHin.HSX
- 1942MINS2RollGrobZurück.HSX

Genauigkeitsüberprüfung (Doppelkreuz (Lokation 2b) sowie QC-Test)

Patch Test (30.10.2010 10:06 – 31.10.2010 1:38) Day of the Year: 303-304

- Für CARIS: -> U: \data1\HDCS_DATA\ant27_1\Polarstern_HDBE\2010_303\000_,,,,
 - 1006
 - 1108
 - 1219
 - 1324
 - 1441
 - 1549
 - 1656
 - 1810
 - 1923
 - 2041
 - 2152
 - 2255
 - 0026
 - 0138(Grün = Checklines)

Lokation 2b (Doppelkreuz) (30.10.2010 3:06 – 30.10.2010 6:42) Day of the Year: 303

von ANT-27/1:

jeweils für HYPACK und CARIS:

- 000_0306
- 000_0345

I.2 Kalibrierergebnisse

Tabelle 9: Kalibrierergebnisse von ANT-XXVII/1 von Bord mit HYPACK (28./29.10.2010) (Interne Informationen F. Niederjasper).

	Bias/Offset
Time Latency MINS [s]	0,05
Time Latency Trimble [s]	0,70
Pitch MINS 1 Grob [°]	-0,16
Pitch MINS 2 Grob [°]	-0,20
Pitch MINS 1 Fein [°]	-0,40 (-0,16 mit falschem Vorzeichen eingetragen)
Pitch MINS 2 Fein [°]	(nicht bestimmt)
Heading MINS 1 [°]	-
Heading MINS 2 [°]	-
Roll MINS 1 Grob [°]	-0,22
Roll MINS 2 Grob [°]	-0,17
Roll MINS 1 Fein [°]	-
Roll MINS 2 Fein [°]	-

Tabelle 10: Kalibrierergebnisse von ANT-XXVII/1 von Bord mit CARIS HIPS (28./29.10.2010) (Interne Informationen F. Niederjasper).

	Bias/Offset
Time Latency MINS [s]	0,0
Time Latency Trimble [s]	0,0
Pitch MINS 1 Grob [°]	-
Pitch MINS 2 Grob [°]	-
Pitch MINS 1 Fein [°]	(nicht bestimmt)
Pitch MINS 2 Fein [°]	(nicht bestimmt)
Heading MINS 1 [°]	-
Heading MINS 2 [°]	-
Roll MINS 1 Grob [°]	-0,20
Roll MINS 2 Grob [°]	-0,17
Roll MINS 1 Fein [°]	-
Roll MINS 2 Fein [°]	-

Tabelle 11: Endergebnis der gemittelten HYPACK -Ergebnisse (2011).

	Bias/Offset	Genauigkeit
Time Latency MINS [s]	0	± 0,50
Time Latency Trimble [s]	0	± 0,50
Pitch MINS 1Grob [°]	-0,19	± 0,50
Pitch MINS 2 Grob [°]	-0,23	± 0,50
Pitch MINS 1 Fein [°]	-	
Pitch MINS 2 Fein [°]	1,0	± 0,50
Pitch Romanche [°]	-1,04	± 0,50
Heading MINS 1 [°]	-	
Heading MINS 2 [°]	-	
Roll MINS 1 Grob [°]	-0,21	± 0,05

Anhang A

Roll MINS 2 Grob [°]	0,0	± 0,03
Roll MINS 1 Fein [°]	0,0	± 0,03
Roll MINS 2 Fein [°]	-0,17	± 0,05

Tabelle 12: Endergebnis der gemittelten CARIS Ergebnisse (unter Ausschluss unplausibler Werte) (2011).

	Bias/Offset	Genauigkeit
Time Latency MINS [s]	0	± 0,50
Time Latency Trimble [s]	0	± 0,50
Pitch MINS 1 Grob [°]	0	± 0,50
Pitch MINS 2 Grob [°]	-0,20	± 0,50
Pitch MINS 1 Fein [°]	-	
Pitch MINS 2 Fein [°]	1,0	± 0,50
Pitch Romanche [°]	-0,86	± 0,50
Heading MINS 1 [°]	-	
Heading MINS 2 [°]	-	
Roll MINS 1 [°]	-0,21	± 0,05
Roll MINS 2 [°]	-0,21	± 0,05
Roll MINS 2 Grob [°]	0,0	± 0,03
Roll MINS 1 Fein [°]	0,0	± 0,03

Tabelle 13: Ergebnisse für HYPACK

Kalibrierergebnisse: "Grobkalibrierung":			
	HYPACK 28072011 Offset	HYPACK (mit SVP) 09062011_PatchTest Offset	HYPACK 09062011_ohne SVP Offset
Latency MINS [s]	0,00	0,00	0,00
Latency Trimble [s]	0,00	0,00	0,00
Pitch MINS 1 [°]	-0,18	-0,20	0,00
Pitch MINS 2 [°]	-0,20	-0,30	-0,21
Heading MINS 1 [°]	-	-	-
Heading MINS 2 [°]	-	-	-
Roll MINS 1 [°]	-0,23	-0,20	-0,20
Roll MINS 2 [°]	-0,17	-0,15	-0,20
"Feinkalibrierung":			
Pitch MINS 1 [°]	-	-	-
Pitch MINS 2 [°]	-	1,00	1,00
Roll MINS 1 [°]	-	0,00	0,00
Roll MINS 2 [°]	-	0,00	0,00

Anhang A

"Pitch - Romache":			
Pitch MINS 1 [°]?	-1,04 gemittelt!		

Tabelle 14: Ergebnisse für CARIS

Kalibrierergebnisse:			
"Grobkalibrierung":			
	CARIS 29072011 Offset	CARIS Patch Test (unedit)	CARIS Patch Test (edit)
Latency MINS [s]	0,00	0,00	0,00
Latency Trimble [s]	0,00	0,00	0,00
Pitch MINS 1 [°]	0,00	1,00	2,00
Pitch MINS 2 [°]	-0,20	4,00	2,00
Heading MINS 1 [°]	-	-	-
Heading MINS 2 [°]	-	-	-
Roll MINS 1 [°]	-0,21	-0,20	-0,21
Roll MINS 2 [°]	-0,20	-0,22	-0,21
"Feinkalibrierung":			
Pitch MINS 1 [°]	-	2,20	-
Pitch MINS 2 [°]	1,00	-	-
Roll MINS 1 [°]	0,00	0,01	-
Roll MINS 2 [°]	0,00	-0,05	-
"Pitch - Romache":			
Pitch MINS 1 [°]?	-0,86 gemittelt!		

Tabelle 15: Informationen über die jeweiligen Daten

HYPACK 28072011:	kein SVP, Einstellungen wie an Bord: Mercator, Hauptmeridian 3°W, WGS-84; Jeweils NUR die benannten HSX- Daten!
HYPACK 09062011:	SVP (20101028_svp.vel), UTM North, Zone 30N, WGS-84; Jeweils NUR die benannten HSX-Daten!
HYPACK 09062011_ohneSVP:	ohne SVP, UTM North, Zone 30N, WGS-84; Jeweils NUR die benannten HSX-Daten!

Anhang A

CARIS 29072011:	kein SVP, Einstellungen wie an Bord: Mercator,
	Hauptmeridian 3°W, WGS-84; Jeweils NUR die benannten HSX-Daten!
CARIS Patch Test (edit)	kein SVP, HypackPstRaw, kein 3°-Fehler
und (unedit)	

Tabelle 16: Übersicht der ausführlichen Kalibrierergebnisse im Bereich der Romanche Bruchzone - hier mit HYPACK

Romanche-Pitch-Kalibrierung: MINS unbekannt! mit HYPACK Projekt: Romanche_Pitch.ini	Daten aus PST4\Raw				
Profil-Bezeichnung 3170104 & 3162203	CS = Cross Section Position CS Nadir	Offset	cell size: 234 Adjustment	no. of steps: 21 Angle/Time Step	Bemerkung
		-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,00	-1,00	0,50	berechnet
		-1,00	-1,00	0,50	visuell
		-1,00	-1,00	0,20	berechnet
		-1,00	-1,00	0,20	visuell
		-1,30	-1,30	0,10	berechnet
		-1,30	-1,30	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,08			
	links vom Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,00	-1,00	0,50	berechnet
		-1,00	-1,00	0,50	visuell
		-1,00	-1,00	0,20	berechnet
		-1,00	-1,00	0,20	visuell
		-1,00	-1,00	0,10	berechnet
		-1,00	-1,00	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,00			
	rechts vom Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,50	-1,50	0,50	berechnet
		-1,50	-1,50	0,50	visuell
		-1,10	-1,10	0,10	berechnet
		-1,10	-1,10	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,17			

Anhang A

	Mittelwert der Mittelwerte:	-1,08	-1,08		
Profil-Bezeichnung 3170009 & 3162255	CS = Cross Section		cell size: 234	no. of steps: 21	
	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
	Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,00	-1,00	0,50	berechnet
		-1,00	-1,00	0,50	visuell
		-0,80	-0,80	0,20	berechnet
		-0,80	-0,80	0,20	visuell
		-1,20	-1,20	0,10	berechnet
		-1,20	-1,20	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,00			
	links vom Nadir	-1,30	-1,30	1,00	berechnet
		-1,30	-1,30	1,00	visuell
		-1,30	-1,30	0,50	berechnet
		-1,30	-1,30	0,50	visuell
		-1,10	-1,10	0,20	berechnet
		-1,10	-1,10	0,20	visuell
		-1,00	-1,00	0,10	berechnet
		-1,00	-1,00	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,18			
	rechts vom Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,50	-1,50	0,50	berechnet
		-1,50	-1,50	0,50	visuell
		-1,10	-1,10	0,20	berechnet
		-1,10	-1,10	0,20	visuell
		-1,10	-1,10	0,10	berechnet
	-1,10	-1,10	0,10	visuell	
Mittelwert	-1,18				
Mittelwert der Mittelwerte:	-1,12	-1,12			
Profil-Bezeichnung 3170216 & 3170421	CS = Cross Section		cell size: 234	no. of steps: 21	
	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
	Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
	-1,00	-1,00	0,50	berechnet	

Anhang A

		-1,00	-1,00	0,50	visuell
		-0,80	-0,80	0,20	berechnet
		-0,80	-0,80	0,20	visuell
		-0,80	-0,80	0,10	berechnet
		-0,80	-0,80	0,10	visuell
	Mittelwert	-0,90	-0,90		
Profil-Bezeichnung 3170310 & 3170421	CS = Cross Section		cell size: 234	no. of steps: 21	
	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
	Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,00	-1,00	0,50	berechnet
		-1,00	-1,00	0,50	visuell
		-0,80	-0,80	0,20	berechnet
		-0,80	-0,80	0,20	visuell
		-0,90	-0,90	0,10	berechnet
		-0,90	-0,90	0,10	visuell
	Mittelwert	-0,93	-0,93		
Profil-Bezeichnung 3170611 & 3170800	CS = Cross Section		cell size: 234	no. of steps: 21	
	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
	Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		-1,00	-1,00	1,00	visuell
		-1,50	-1,50	0,50	berechnet
		-1,50	-1,50	0,50	visuell
		-1,10	-1,10	0,20	berechnet
		-1,10	-1,10	0,20	visuell
		-1,20	-1,20	0,10	berechnet
		-1,20	-1,20	0,10	visuell
	Mittelwert	-1,20	-1,20		
	MW über alles:	-1,04			

Tabelle 17: Kalibrierung Pitch im Bereich der Romanche - Bruchzone mit CARIS

mit CARIS Projekt: Kalibr_ant27_1	Daten aus HDGS- Data\ant27_1 CS = Cross Section		
Profil- Bezeichnung 3170104 & 3162203	Position CS	Offset/Adjustment	Bemerkung
	Mitte Nadir, am Hang	-0,70	nur am Hang aussagekräftig! sonst zu flach!
	Mittel:	-0,80	
		-0,75	
3170009 & 3162255	Mitte Nadir - Ebene	-0,60	tiefes, ebenes Gebiet ist schlecht um irgendwelche Aussagen zu treffen! aber zu flach! Nicht wirklich aussagekräftig!
	Mittel:	-1,00	
		-0,80	
3170216 & 3170421	Mitte Nadir - Ebene	0,00	aber zu flach! Nicht wirklich aussagekräftig! raus lassen!
3170310 & 3170421	Mitte Nadir - Ebene	-0,60	
3170611 & 3170800	Mitte Nadir - Ebene	-1,30	
	Mittelwert über alles außer den Nullwert	-0,86	

Tabelle 18: Kalibrierung mit CARIS: 29072011, mit UTM, WGS-84, Zone 30N

mit CARIS Projekt:CalibrationDS3 Profil-Bezeichnung	Offset/Adjustment	Bemerkung
Time Latency MINS	0,00 0,00	bleibt dabei!
Time Latency Trimble	0,00 0,00	
Pitch MINS 1	1,00	plus/min 0,5°

Anhang A

	3,50	im Flachwasser
Pitch MINS 2	0,30	
	3,00	im Flachwasser
Heading MINS 1	0,00	bei Roll-Offset von -0,2
	0,00	
Heading MINS 2	-0,40	
	0,00	bei Roll-Offset von etwa - 0,3
Roll MINS 1	-0,20	
	-0,20	
Roll MINS 2	-0,19	
	-0,20	

Tabelle 19: Ergebnisse "Patch Test edited"

Kalibrierung Offsets: Manuelle Cross Section					
HypackPstRaw-Daten					
zu Calibration_Time Latency_edit.doc	genutze Profile		Min Depth (m)	Max depth (m)	Offsets: Nav. Time Error:
Latency MINS	1052	1123	527	715	0,00
			456	644	-0,50
					0,00
Latency GPS	1207	1242			Werte bis 1.0 machen keinen großen Unterschied!
			637	716	-2,00
			544	628	0,00
					0,00
					0,00
zu Calibration_Pitch_edit.doc	genutze Profile		Min Depth (m)	Max depth (m)	Pitch:
Pitch Grob Mins 1	1935	2028	172	223	2,00
Nächste Stichprobe:			222	273	4,00
Average:			301	352	3,00
					4,00

Anhang A

Average:			481	532	3,33
			691	742	2,33
Average:					1,33
			679	736	2,83
			514	553	1,40
			799	995	1,70
			996	1192	1,00
					1,30
Pitch Grob Mins 2	2150	2250	179	219	1,60
			368	408	3,00
			234	274	5,00
			809	1083	1,00
			957	1233	1,00
Pitch Fein Mins 1	0213	0320	195	227	2,00
			333	505	2,80
			295	417	3,50
			378	500	2,70
			521	643	1,70
			658	780	1,50
			474	864	1,50
			862	1143	1,00
			1004	1207	0,60
Pitch Fein Mins 2	2350	0105	832	1286	0,80
					Hier keine weiteren Stichproben möglich!
zu Calibration_Heading_edit.doc					
	genutze Profile		Min Depth (m)	Max depth (m)	Heading:
Heading Grob Mins 1	0442	0908	528	1328	0,00
Heading Grob Mins 2	0535	0759	775	1335	0,00

Tabelle 20: Kalibrierte Werte "Patch Test unedit"

Kalibrierung Offsets: Manuelle Cross Section					
HypackPstRaw-Daten					
zu Calibration_Time Latency.doc					
	genutze Profile		Min Depth (m)	Max depth (m)	Nav. Time Error:
Latency MINS	1052	1123	-100	1400	0,00
			640	765	0,00
Latency GPS	1207	1242	640	727	0,00

Anhang A

zu Calibration_Pitch.doc			Min Depth (m)	Max depth (m)	Pitch:
	genutze Profile				
Pitch Grob Mins 1	1935	2028	550	797	1,43
Pitch Grob Mins 2	2150	2250	211	446	4,10
Pitch Fein Mins 1	0213	0320	393	543	2,20
Pitch Fein Mins 2	2350	0105			keine Werte!
zu Calibration_Heading.doc			Min Depth (m)	Max depth (m)	Heading:
	genutze Profile				
Heading Grob Mins 1	0442	0908	528	1328	0,00
Heading Grob Mins 2	0535	0759	775	1335	0,00
zu Calibration_Roll.doc			Min Depth (m)	Max depth (m)	Heading:
	genutze Profile				
Roll Grob Mins 1	1527, 1556	1653	4244	4515	0,00
			3873	4886	-0,20
			3873	4886	-0,20
			3872	4887	-0,20
Average:					-0,20
Roll Grob Mins 2	1815	1942	3956	4650	-0,24
			3956	4650	-0,21
			3956	4650	-0,22
Average:					-0,22
Roll Fein Mins 1	2103	2220	4161	4535	-0,03
			4161	4535	0,03
			4161	4535	0,02
Average:					0,01
Roll Fein Mins 2	2341	0058	3883	4630	-0,05

Tabelle 21: Kalibrierung HYPACK 28072011

Kalibriersoftware: jeweils den Hang hinab! GROBKALIBRIERUNG!! MIT DEN HSX-Daten von Fred bzw. Jörn Ewert!	HYPACK		CS = Cross Section		cell size: 39 no. of steps: 21 ode
Bezeichnung	CS = Cross Section Position CS	Offset	cell size: 39 Adjustment	no. of steps: 30 Angle/Time Step	Bemerkung

Anhang A

latency MINS	Hang Nadir	-0,30	0,30	0,10	reine Werte aus der Berechnung
		2,00	-2,00	1,00	alles auf Null und neu berechnet
		1,00	-1,00	1,00	visuell
		3,50	-3,50	0,50	berechnet
		0,50	-0,50	0,50	visuell
		-0,10	0,10	0,20	berechnet
		0,50	-0,50	0,20	visuell, +/- 0,5
		-0,30	0,30	0,10	berechnet
		0,00	0,00	0,10	visuell
	links vom Nadir (vorher auf Null gestellt)	-4,00	4,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell, +/- 0,5
		-6,50	6,50	0,50	berechnet
		0,00	0,00	0,50	visuell, +/- 0,5
		-1,40	1,40	0,20	berechnet
		0,00	0,00	0,20	visuell, +/- 0,5
		-0,70	0,70	0,10	berechnet
		0,00	0,00	0,10	visuell, +/- 0,2
	rechts vom Nadir	0,00	0,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell
		5,50	-5,50	0,50	berechnet
		0,00	0,00	0,50	visuell, +/- 0,5
		3,00	-3,00	0,20	berechnet
		0,20	-0,20	0,20	visuell, +/- 0,5
		-0,20	0,20	0,10	berechnet
		0,20	-0,20	0,10	visuell, +/- 0,5
<p>Fazit: 0,0s für Latency! Mit Abweichungen von +/- 0,5 Einheiten. Die Kalibrierergebnisse von ANT-XXVII liegen damit in diesem Bereich</p>					
	CS = Cross Section		cell size: 39	no. of steps: 30	
Bezeichnung	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
Latency Trimble	Hang Nadir	1,00	-1,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell
		3,00	-3,00	0,50	berechnet

Anhang A

		0,00	0,00	0,50	visuell, +/- 0,5
		-2,80	2,80	0,20	berechnet
		0,00	0,00	0,20	visuell, +/- 0,5
		1,00	-1,00	0,10	berechnet
		0,00	0,00	0,10	visuell, +/- 0,2
	rechts vom Nadir	-0,30	0,30	1,00	berechnet
	cell size 32	-0,30	0,30	1,00	visuell
		0,70	-0,70	0,50	berechnet
		0,30	-0,30	0,50	visuell, +/- 0,5
		-1,70	1,70	0,20	berechnet
		0,10	-0,10	0,20	visuell, +/- 0,3
		-1,30	1,30	0,10	berechnet
		0,00	0,00	0,10	visuell, +/- 0,3
<p>Fazit: 0,0s für Latency! Mit Abweichungen von +/- 0,5 Einheiten. geringe Abweichung zu den Ergebnissen von ANT-XXVII/1 (dort 0,7 s für trimble mit HYPACK)</p>					
	CS = Cross Section		cell size: 33	no. of steps: 21	
Bezeichnung	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
Pitch MINS 1	Nadir Gesamtlänge	0,00	0,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell
		-0,20	-0,20	0,50	berechnet
		-0,20	-0,20	0,50	visuell
		-0,20	-0,20	0,20	berechnet
		-0,20	-0,20	0,20	visuell
		-0,40	-0,40	0,10	berechnet
		-0,40	-0,40	0,10	visuell
	Nadir Teilstück Hang	0,00	0,00	1,00	berechnet
	Werte eindeutig!	0,00	0,00	1,00	visuell
		-0,50	-0,50	0,50	berechnet
		-0,50	-0,50	0,50	visuell
		-0,50	-0,50	0,20	berechnet
		-0,50	-0,50	0,20	visuell
		-0,10	-0,10	0,10	berechnet
		-0,10	-0,10	0,10	visuell
	links vom Nadir	0,00	0,00	1,00	berechnet

Anhang A

		0,00	0,00	1,00	visuell
		0,50	0,50	0,50	berechnet
		0,50	0,50	0,50	visuell, +/- 0,5
		-0,20	-0,20	0,20	berechnet
		0,20	0,20	0,20	visuell
		-0,20	-0,20	0,10	berechnet
		-0,20	-0,20	0,10	visuell
	rechts vom Nadir	-1,00	-1,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell
		-0,50	-0,50	0,50	berechnet
		-0,50	-0,50	0,50	visuell
		-0,70	-0,70	0,20	berechnet
		-0,30	-0,30	0,20	visuell
		-0,50	-0,50	0,10	berechnet
		-0,30	-0,30	0,10	visuell
	Mittelwert jeweils letzte beide Werte, außer des ersten Versuchs: geringe Abweichung zu den Ergebnissen von ANT-XXVII/1 (dort -0,16 für MINS 1 mit HYPACK)	-0,18	-0,18	für 0,1	
Bezeichnung Pitch MINS 2	CS = Cross Section Position CS Nadir Teilstück Hang Werte eindeutig!	Offset	Adjustment	no. of steps: 21 Angle/Time Step	Bemerkung
		0,00	0,00	1,00	berechnet
		0,00	0,00	1,00	visuell
		-0,50	-0,50	0,50	berechnet
		0,00	0,00	0,50	visuell
		-0,60	-0,60	0,20	berechnet
		-0,20	-0,20	0,20	visuell
		-0,40	-0,40	0,10	berechnet
		-0,20	-0,20	0,10	visuell
	links vom Nadir	-0,40	-0,40	1,00	berechnet
		-0,40	-0,40	1,00	visuell
		-0,90	-0,90	0,50	berechnet
		-0,90	-0,90	0,50	visuell
		-0,90	-0,90	0,20	berechnet
		-0,90	-0,90	0,20	visuell
		-0,70	-0,70	0,10	berechnet

Anhang A

		-0,70	-0,70	0,10	visuell
	rechts vom Nadir	0,30	0,30	1,00	berechnet
		0,30	0,30	1,00	visuell
		-0,20	-0,20	0,50	berechnet
		-0,20	-0,20	0,50	visuell
		0,10	0,10	0,20	berechnet
		0,10	0,10	0,20	visuell
		0,60	0,60	0,10	berechnet
		0,20	0,20	0,10	visuell
	Mittelwert der jeweils letzten Werte:	-0,18	-0,18		
	an anderer Stelle nahe Nadir:	-0,30	-0,30	0,10	manuell + visuell
nur Test:	CS = Cross Section		cell size: 86	no. of steps: 21	
Bezeichnung	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
Heading MINS 1	Mittlerer Überlappungsbereich	4,00	4,00	1,00	berechnet
da die heading Profile einen seitlichen Versatz von ca. 900 m haben, ist hier ein Kalibrieren nicht möglich, da die zusammengehörigen Tiefen nicht übereinander liegen.					
nur Test:	CS = Cross Section		cell size: 78	no. of steps: 21	
Bezeichnung	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
Heading MINS 2	Mittlerer Überlappungsbereich	-10,00	-10,00	1,00	berechnet
Heading wurde aus diesem Grund auch während ANT-XXVII/1 nicht genutzt!					
	CS = Cross Section		cell size: 223	no. of steps: 21	
Bezeichnung	Position CS	Offset	Adjustment	Angle/Time Step	Bemerkung
Roll MINS 1	im "oberen" Bereich	-0,20	-0,20	0,10	berechnet
sehr genau, hohe Auflösung! < +/- 0,5!					
		-0,20	-0,20	0,10	visuell
		-0,25	-0,25	0,05	berechnet

Anhang A

		-0,20	-0,20	0,05	visuell
		-0,24	-0,24	0,02	berechnet
		-0,24	-0,24	0,02	visuell
		-0,25	-0,25	0,01	berechnet
		-0,25	-0,25	0,01	visuell
	im "unteren" Bereich	-0,18	-0,18	0,10	berechnet
		-0,18	-0,18	0,10	visuell
		-0,18	-0,18	0,05	berechnet
		-0,18	-0,18	0,05	visuell
		-0,18	-0,18	0,02	berechnet
		-0,24	-0,24	0,02	visuell
		-0,17	-0,17	0,01	berechnet
		-0,24	-0,24	0,01	visuell
	Mittelwert:	-0,23	-0,23		
Bezeichnung Roll MINS 2 sehr genau, hohe Auflösung!	CS = Cross Section Position CS im "oberen" Bereich	Offset	Adjustment	cell size: 183 no. of steps: 21 Angle/Time Step	Bemerkung
		-0,20	-0,20	0,10	berechnet
		-0,20	-0,20	0,10	visuell
		-0,15	-0,15	0,05	berechnet
		-0,20	-0,20	0,05	visuell
		-0,16	-0,16	0,02	berechnet
		-0,16	-0,16	0,02	visuell
		-0,16	-0,16	0,01	berechnet
		-0,16	-0,16	0,01	visuell
	im "unteren" Bereich	-0,16	-0,16	0,10	berechnet
		-0,16	-0,16	0,10	visuell
		-0,16	-0,16	0,05	berechnet
		-0,21	-0,21	0,05	visuell
		-0,17	-0,17	0,02	berechnet
		-0,21	-0,21	0,02	visuell
		-0,17	-0,17	0,01	berechnet
		-0,20	-0,20	0,01	visuell
	Mittelwert aus den jeweils letzten beiden Werten	-0,17	-0,17		

I.3 QC Test - Ergebnisse

I.3.1 CARIS QC-Test

I.3.1.1 Beam Angle

Tabelle 22: Checkline 0026

Beam Angle	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
-60,0 - -50,0	2261	71,209	116,128	-4,948	25,768	99,9
-50,0 - -40,0	3198	75,130	42,435	7,077	15,718	100,0
-40,0 - -30,0	2434	35,949	44,454	-0,588	10,822	100,0
-30,0 - -20,0	2182	145,501	35,413	4,960	9,459	100,0
-20,0 - -10,0	1710	36,738	21,333	1,129	6,524	100,0
-10,0 - 0,0	1695	66,501	37,061	-4,530	7,375	100,0
0,0 - 10,0	1704	53,473	29,702	-6,334	6,616	100,0
10,0 - 20,0	1881	54,792	23,106	3,652	7,502	100,0
20,0 - 30,0	2051	45,827	26,627	5,739	8,802	100,0
30,0 - 40,0	2562	51,479	31,783	2,915	10,760	100,0
40,0 - 50,0	3330	59,860	50,258	0,639	14,443	100,0
50,0 - 60,0	1585	56,842	75,173	-10,842	22,880	100,0

Tabelle 23: Checkline 0138

Beam Angle	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
-60,0 - -50,0	2058	72,988	113,271	-11,349	25,213	99,8
-50,0 - -40,0	4105	110,702	51,624	2,036	15,131	100,0
-40,0 - -30,0	3128	56,201	43,416	-0,494	11,324	100,0
-30,0 - -20,0	2734	52,195	48,191	2,142	9,460	100,0
-20,0 - -10,0	2116	41,534	40,558	1,069	7,458	100,0
-10,0 - 0,0	2096	51,094	25,562	-3,527	7,112	100,0
0,0 - 10,0	2102	33,314	29,277	-3,768	6,816	100,0
10,0 - 20,0	2321	55,163	28,308	3,311	7,452	100,0
20,0 - 30,0	2532	46,901	31,391	3,106	9,126	100,0
30,0 - 40,0	3161	140,716	43,985	0,943	11,634	99,9
40,0 - 50,0	4155	66,695	55,337	-1,288	14,944	100,0
50,0 - 60,0	3108	80,371	98,706	-10,269	24,773	100,0

Tabelle 24: Checkline 2152

Beam Angle	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
-60,0 - -50,0	1515	67,566	97,018	-3,797	23,150	100,0
-50,0 - -40,0	3033	58,060	74,855	-0,707	14,637	100,0
-40,0 - -30,0	2323	66,440	32,557	-1,971	10,155	100,0
-30,0 - -20,0	2011	50,401	23,708	3,819	8,156	100,0
-20,0 - -10,0	1554	31,497	21,831	1,482	6,066	100,0
-10,0 - 0,0	1546	27,066	30,716	-2,684	6,955	100,0
0,0 - 10,0	1539	38,195	29,670	-1,828	7,394	100,0
10,0 - 20,0	1705	51,071	31,659	4,908	6,836	100,0
20,0 - 30,0	1860	42,303	32,911	5,094	8,938	100,0

Anhang A

30,0 - 40,0	2312	40,109	39,406	-1,135	10,569	100,0
40,0 - 50,0	2901	89,726	50,251	2,742	17,950	100,0
50,0 - 60,0	1353	72,283	117,949	-9,364	24,776	100,0

Tabelle 25: Checkline 2255

Beam Angle	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
-60,0 - -50,0	1565	61,528	82,152	-0,194	19,350	100,0
-50,0 - -40,0	3911	84,009	62,371	2,464	14,181	100,0
-40,0 - -30,0	2997	77,273	46,182	-0,431	9,944	100,0
-30,0 - -20,0	2597	43,624	40,883	1,759	7,773	100,0
-20,0 - -10,0	2003	31,696	27,919	0,956	6,788	100,0
-10,0 - 0,0	1985	39,401	32,202	-2,928	7,042	100,0
0,0 - 10,0	1982	36,231	24,122	-1,920	6,731	100,0
10,0 - 20,0	2200	44,894	40,099	3,984	6,715	100,0
20,0 - 30,0	2396	57,283	31,064	4,630	8,552	100,0
30,0 - 40,0	2935	55,367	36,960	3,773	10,379	100,0
40,0 - 50,0	3724	78,819	67,719	1,690	13,564	100,0
50,0 - 60,0	1417	65,357	98,504	-7,989	20,661	99,9

I.3.1.2 Beam Number

Tabelle 26: Checkline 0026

Beam Number	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
203	34,391	102,204	102,204	-32,679	27,210	100,0
1149	71,209	116,128	116,128	-9,477	25,079	99,8
1527	75,130	57,113	57,113	9,094	18,483	100,0
1602	64,966	36,102	36,102	8,082	15,586	100,0
1626	44,967	44,454	44,454	1,143	12,619	100,0
1622	35,949	42,700	42,700	-0,832	10,571	100,0
1669	39,912	30,888	30,888	4,251	9,299	100,0
1703	145,501	35,413	35,413	3,280	8,365	99,9
1702	66,501	37,061	37,061	-1,284	7,061	100,0
1697	21,339	24,315	24,315	-8,062	5,793	100,0
1710	54,792	29,702	29,702	-0,224	7,276	100,0
1710	45,827	23,106	23,106	6,060	8,305	100,0
1709	31,775	26,627	26,627	4,967	9,158	100,0
1708	51,479	31,488	31,488	2,897	10,856	100,0
1700	55,407	37,570	37,570	1,020	12,450	100,0
1663	59,860	50,258	50,258	0,667	15,226	100,0
1429	56,842	75,173	75,173	-5,316	19,552	100,0
457	55,297	74,295	74,295	-21,023	25,551	100,0
7	0,000	70,914	70,914	-48,713	18,204	100,0

Tabelle 27: Checkline 0138

Beam Number	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
21 - 31	26	42,652	109,671	-53,635	29,955	96,2
31 - 41	940	72,988	113,271	-20,383	25,811	99,7
41 - 51	1891	110,702	74,274	-0,158	19,480	99,9
51 - 61	2049	68,591	49,237	2,251	14,953	100,0
61 - 71	2089	62,910	43,851	0,391	13,151	100,0
71 - 81	2087	55,212	37,996	-0,671	10,958	100,0
81 - 91	2106	52,195	33,306	1,789	9,773	100,0
91 - 101	2110	40,414	48,191	1,78	8,021	100,0
101 - 111	2103	51,094	33,825	-0,359	7,233	100,0
111 - 121	2094	45,199	29,277	-6,344	5,968	100,0
121 - 131	2110	45,940	28,308	1,523	7,164	100,0
131 - 141	2110	55,163	23,509	3,34	7,952	100,0
141 - 151	2110	51,868	31,391	3,178	9,892	100,0
151 - 161	2107	140,716	43,985	0,705	11,944	99,9
161 - 171	2100	49,174	48,566	-1,295	12,863	100,0
171 - 181	2061	52,362	49,344	1,223	15,460	100,0
181 - 191	1951	67,014	75,345	-2,219	19,682	100,0
191 - 201	1425	80,371	98,706	-15,726	25,508	100,0
201 - 211	147	20,642	96,993	-38,555	28,392	100,0

Tabelle 28: Checkline 2152

Beam Number	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
21 - 31	77	35,581	97,018	-22,691	23,322	100,0
31 - 41	665	51,692	83,313	-3,440	23,872	100,0
41 - 51	1359	67,566	82,647	-2,312	20,074	100,0
51 - 61	1517	58,060	53,071	-0,221	14,500	100,0
61 - 71	1550	35,124	52,823	-0,742	11,936	100,0
71 - 81	1549	66,440	32,557	-2,543	9,737	100,0
81 - 91	1549	50,401	23,097	3,359	8,678	100,0
91 - 101	1550	31,497	23,708	2,485	6,605	100,0
101 - 111	1549	27,066	30,258	0,632	6,351	100,0
111 - 121	1538	38,195	30,716	-5,277	6,603	100,0
121 - 131	1548	28,827	29,670	3,241	6,546	100,0
131 - 141	1550	51,071	31,659	5,865	7,614	100,0
141 - 151	1548	34,789	32,911	3,473	9,708	100,0
151 - 161	1544	40,109	39,406	-2,077	10,317	100,0
161 - 171	1514	82,006	42,161	2,833	15,074	100,0
171 - 181	1431	89,726	50,251	3,218	19,480	100,0
181 - 191	1180	72,283	78,733	-3,933	21,464	100,0
191 - 201	434	39,964	117,949	-20,275	26,187	99,8

Tabelle 29: Checkline 2255

Beam Number	Count	Max (+)	Min (-)	Mean	Std Dev	Order 3 (%)
31 - 41	639	60,762	81,070	-5,261	20,858	100,0
41 - 51	1694	80,973	82,152	3,964	17,046	100,0
51 - 61	1948	84,009	57,930	2,480	14,497	100,0
61 - 71	1994	80,988	46,182	0,531	11,095	100,0
71 - 81	1999	77,273	32,603	-0,724	9,922	100,0
81 - 91	1999	41,363	40,883	1,239	7,909	100,0
91 - 101	2000	43,624	27,919	1,705	7,123	100,0
101 - 111	1992	39,401	32,202	-0,062	6,955	100,0
111 - 121	1977	36,231	23,605	-4,878	6,243	100,0
121 - 131	1998	44,894	40,099	2,718	6,480	100,0
131 - 141	2000	50,286	24,123	4,303	7,744	100,0
141 - 151	1990	57,283	36,960	5,179	9,532	100,0
151 - 161	1947	47,331	29,873	3,403	9,860	100,0
161 - 171	1911	70,589	38,704	2,233	11,517	100,0
171 - 181	1852	78,819	67,719	1,678	14,351	100,0
181 - 191	1575	65,357	98,504	-5,146	19,850	100,0
191 - 201	197	34,721	65,579	-16,963	18,578	100,0

Anhang A

I.3.2 HYPACK

I.3.2.1 Beam Angle Test

siehe Daten-DVD!

I.3.3 Fledermaus Surface Statistics

I.3.3.1 QC-Test

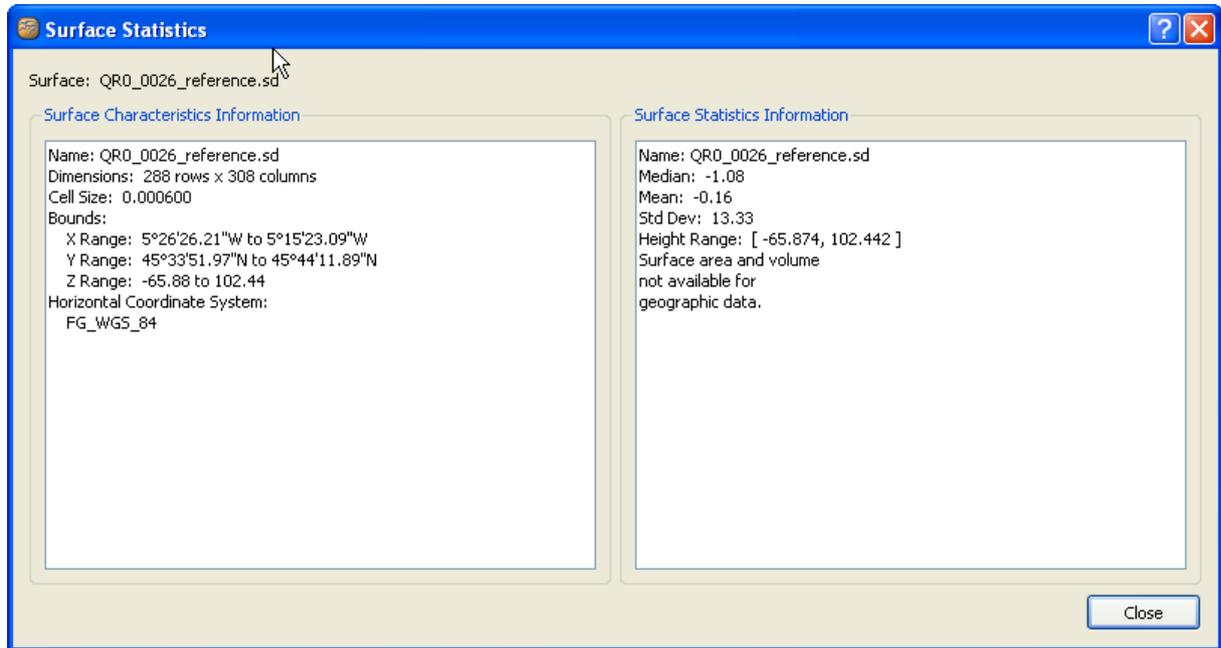


Abb. I.2: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 0026 und der Referenzfläche.

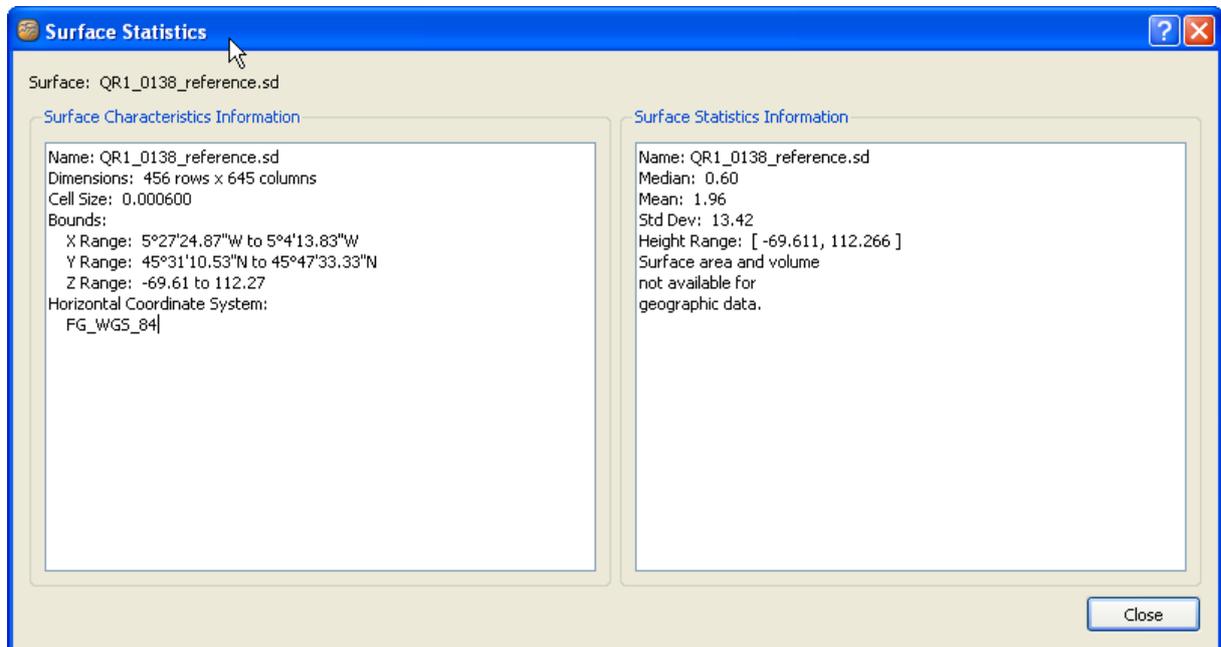


Abb. I.3: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 0138 und der Referenzfläche.

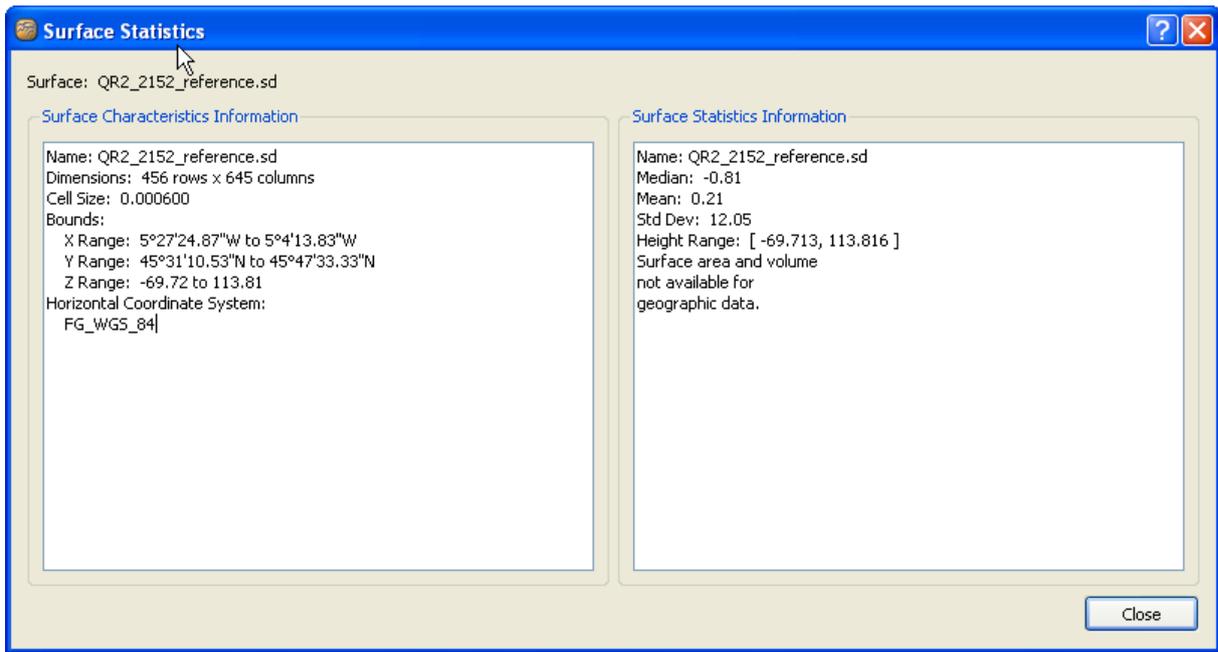


Abb. I.4: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 2152 und der Referenzfläche.

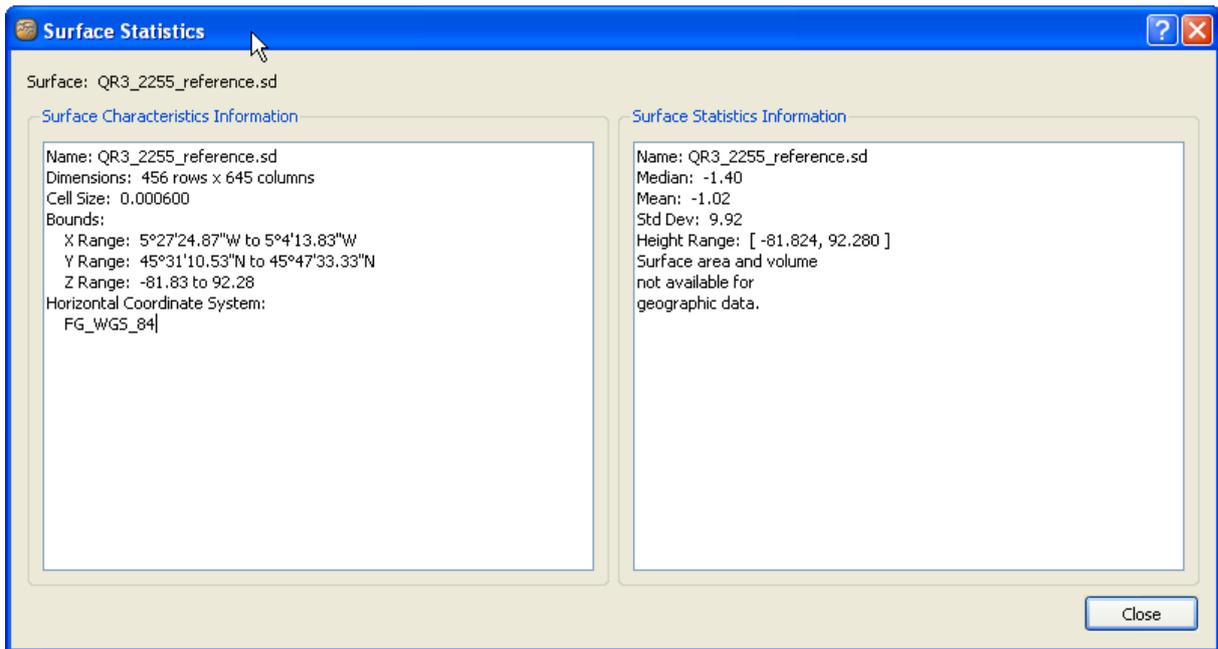


Abb. I.5: Flächenstatistik zu den Differenzen zwischen der Kontrolllinie 2255 und der Referenzfläche.

Anhang A

I.4 Vergleiche - Fledermaus Surface Statistics

I.4.1.1 Lokation 2b

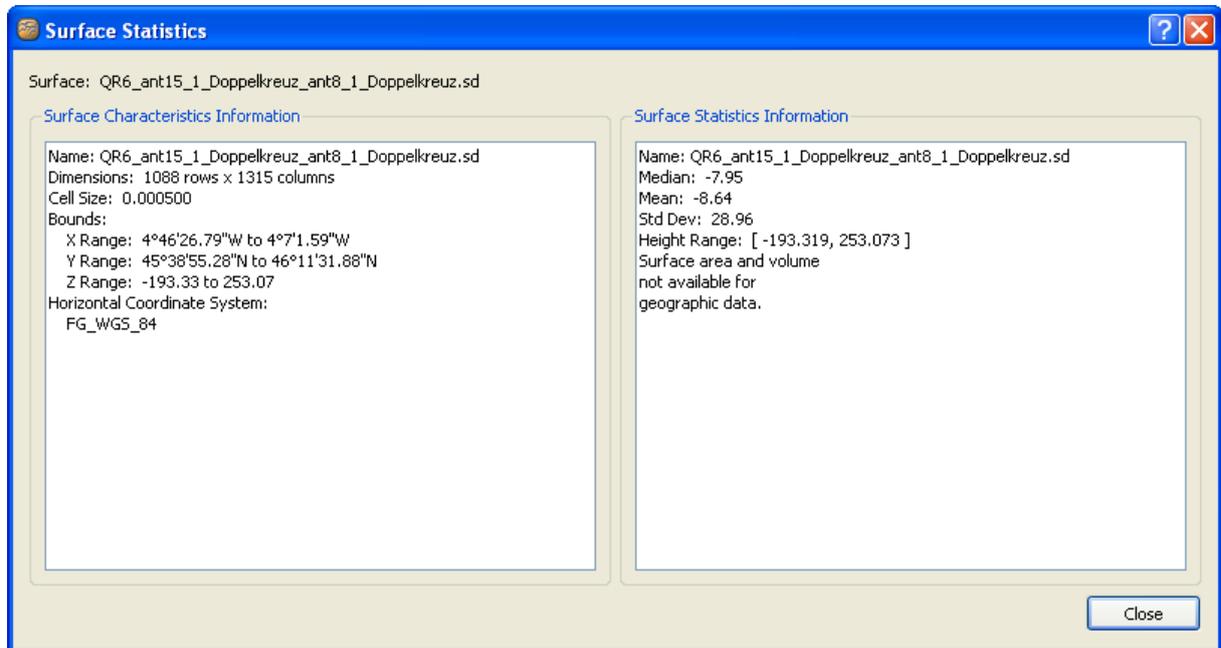


Abb. I.6: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XV/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

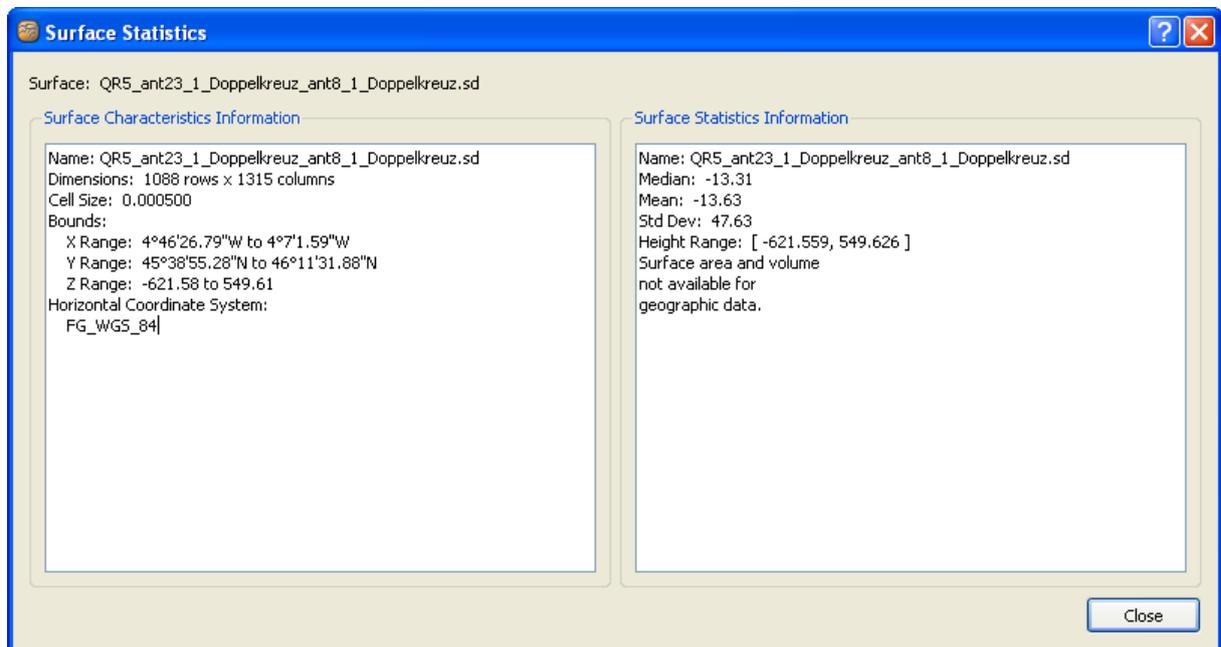


Abb. I.7: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXIII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

Anhang A

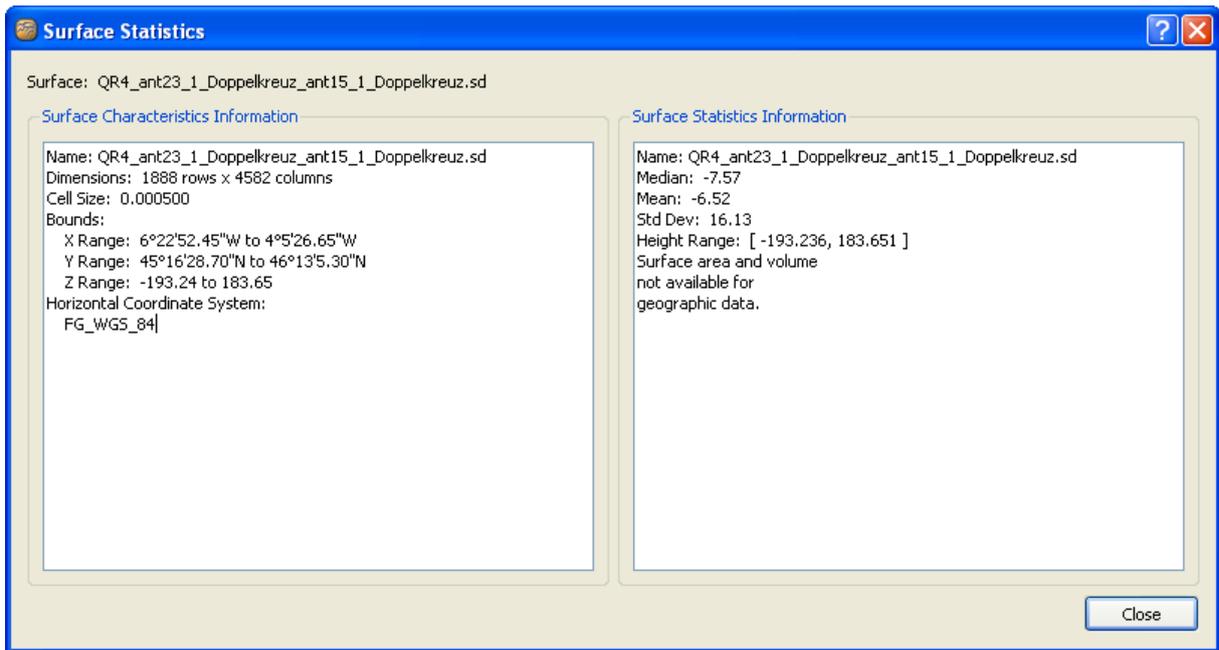


Abb. I.8: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXIII/1 und ANT-XV/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

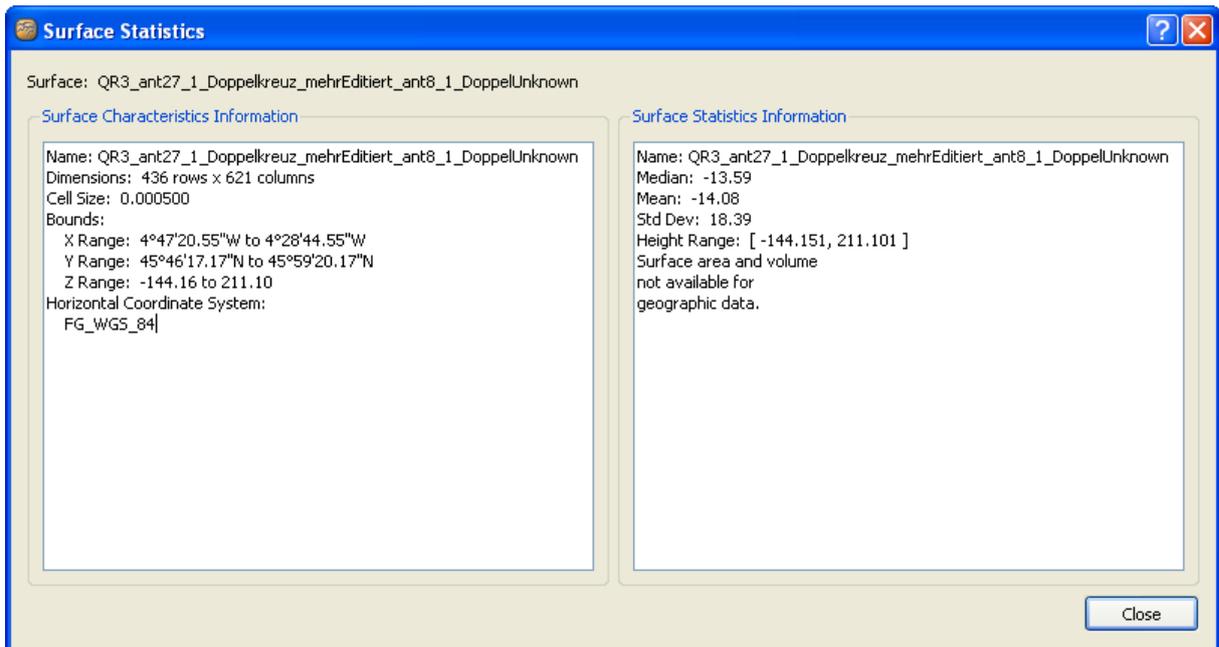


Abb. I.9: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

Anhang A

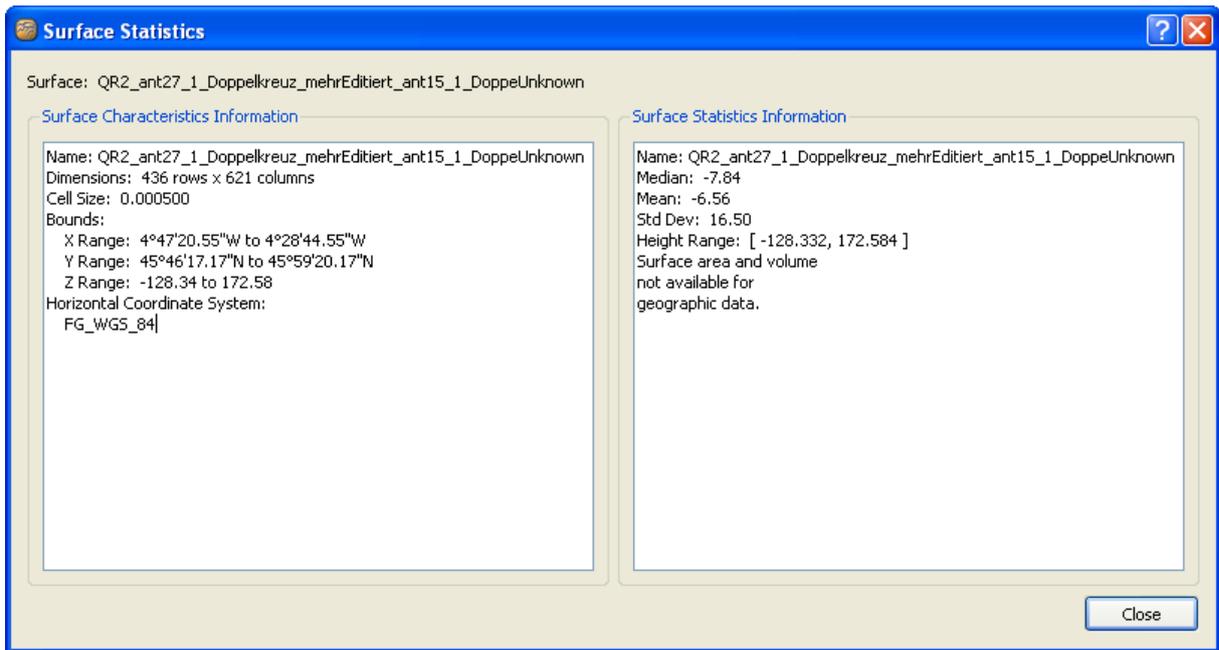


Abb. I.10: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-XV/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

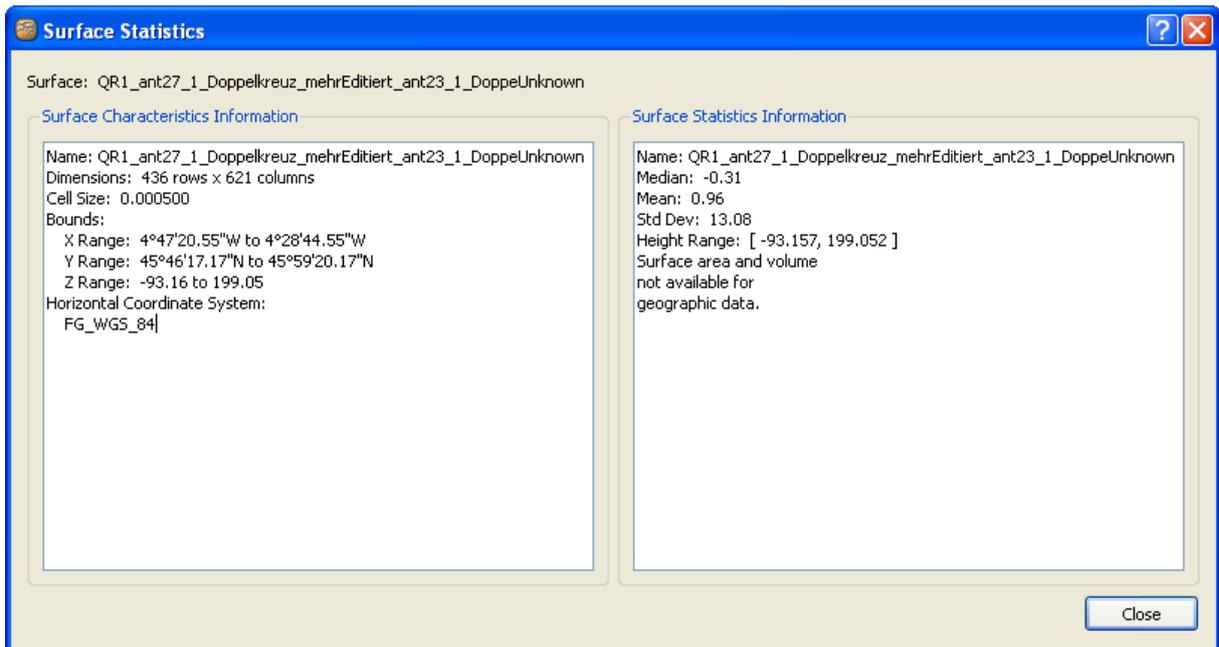


Abb. I.11: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus den Flächen von ANT-XXVII/1 und ANT-XXIII/1 im Bereich des Testgebiets Lokation 2b.

I.4.1.2 La Romanche Fracture Zone

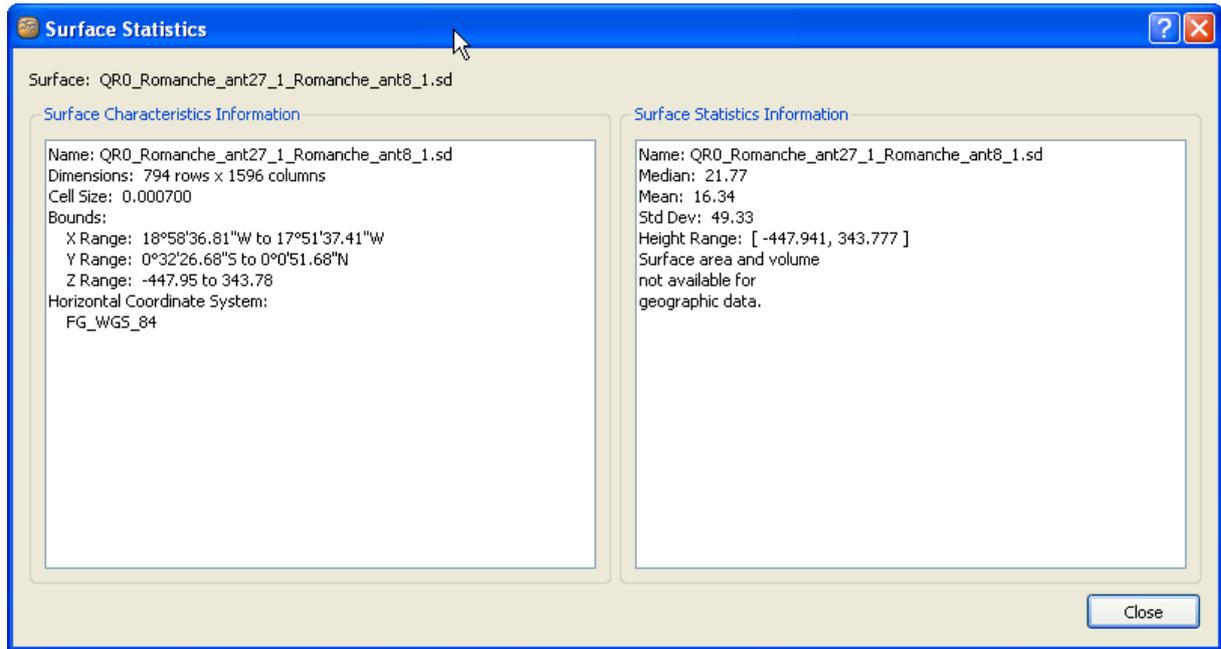


Abb. I.12: Flächenstatistik zur Differenzfläche zwischen den Daten von ANT-XXVII/1 und ANT-VIII/1 im Bereich der Romanche-Rinne.

I.4.2.1 EIVA - HYPACK

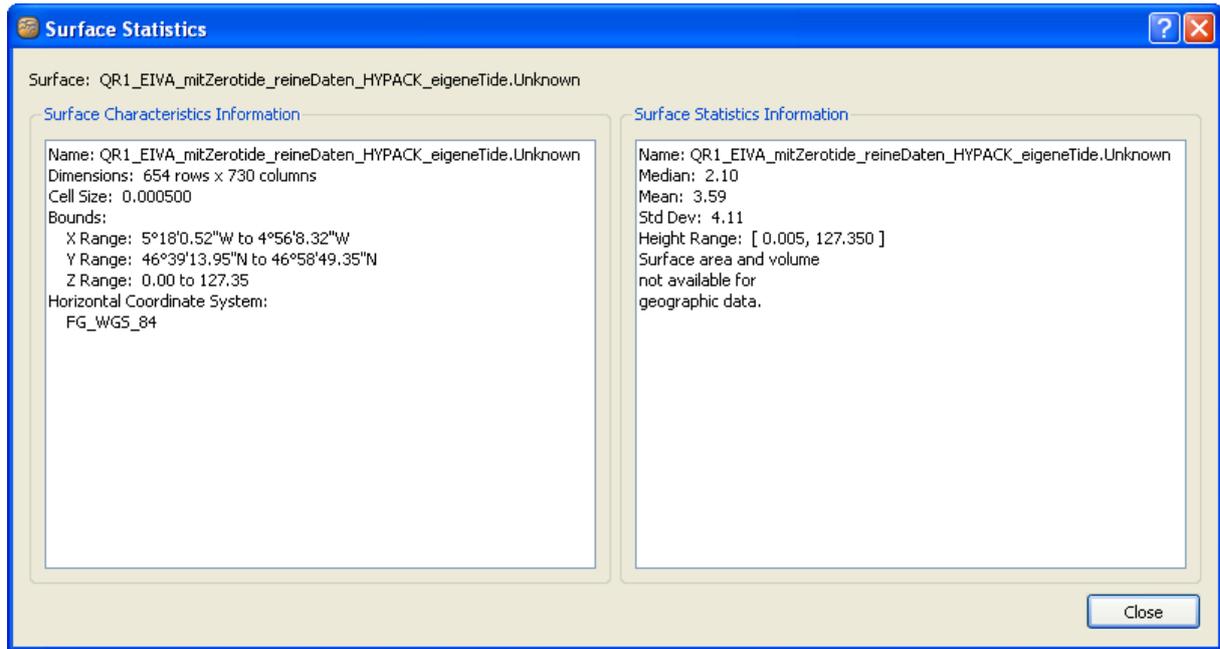


Abb. I.13: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus EIVA – HYPACK.

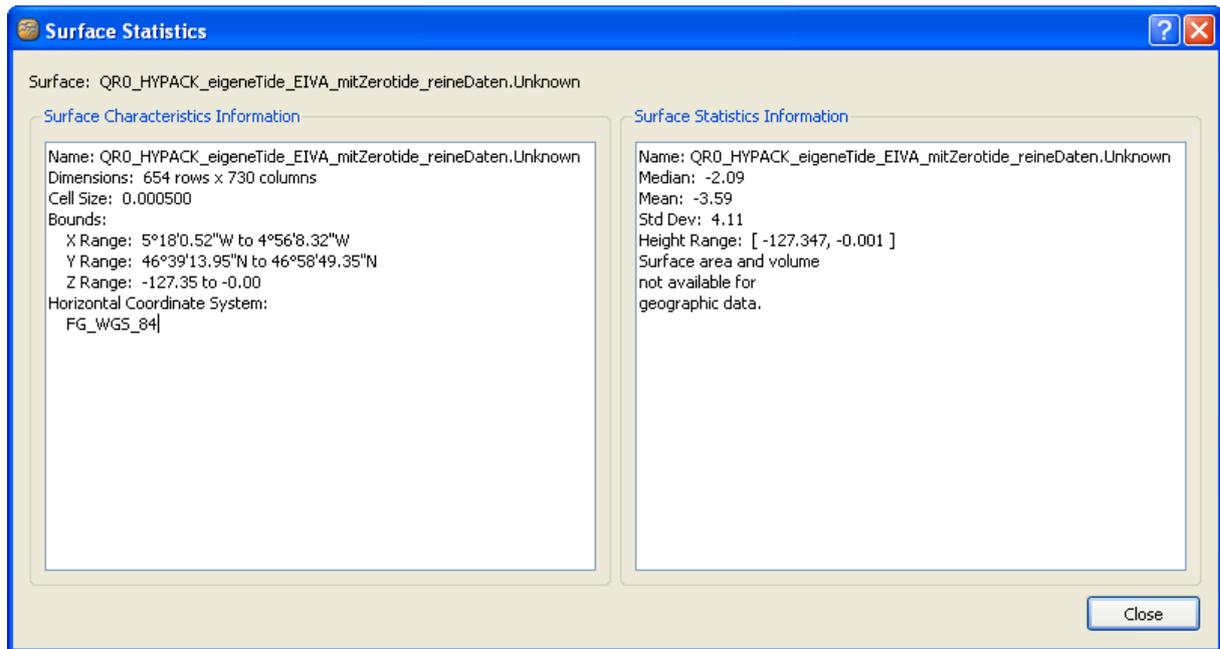


Abb. I.14: Flächenstatistik zur Differenzfläche aus HYPACK - EIVA.

Anhang B

II Anhang B

II.1 Screenshots

Anhang B

II.1.1 Kalibrierung HYPACK

II.1.1.1 Latency

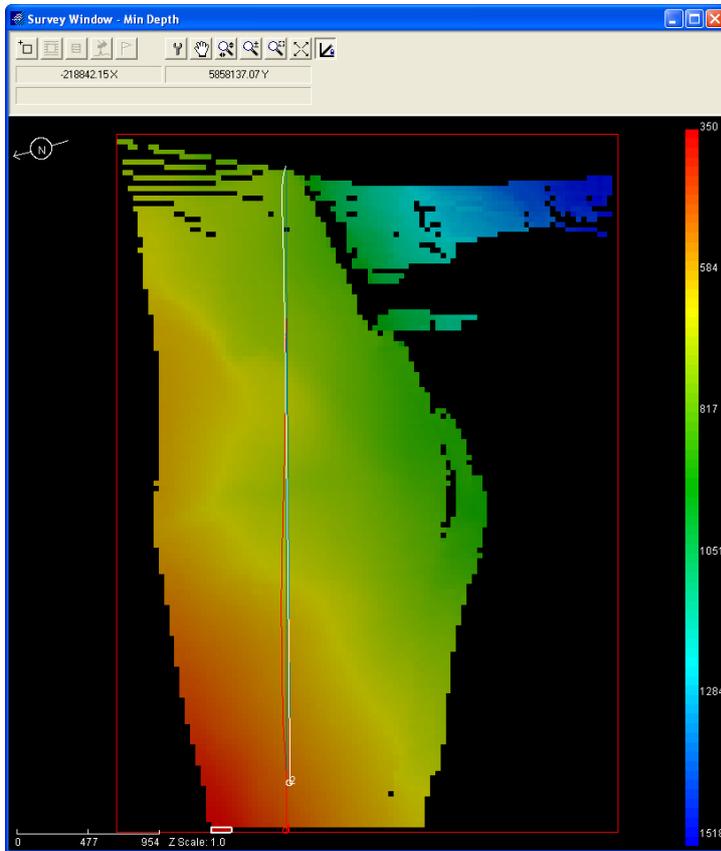


Abb. II.1: Time Latency-Profile in HYPACK.

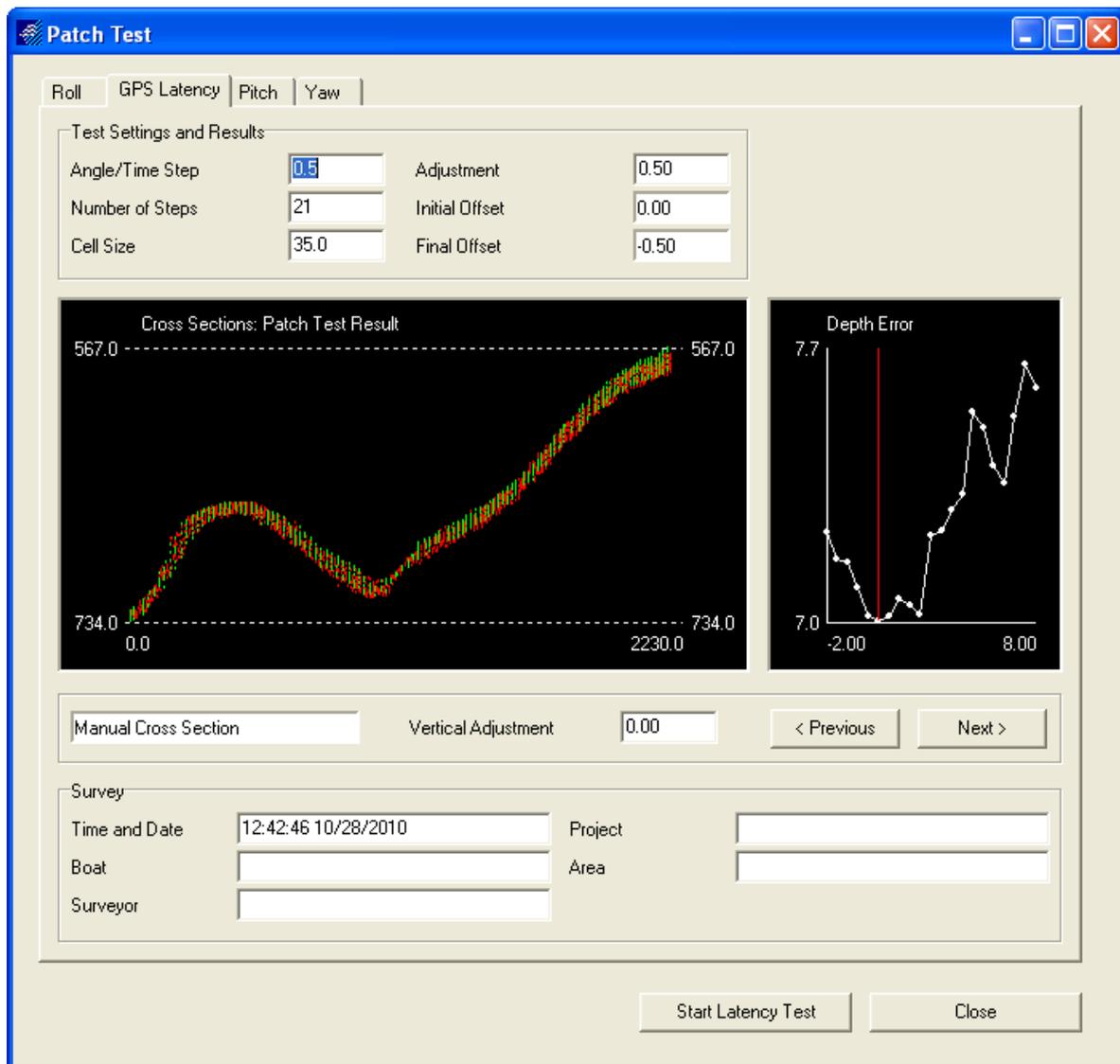


Abb. II.2: Time Latency-Profil mit Trimble gefahren – Ergebnis 0,5° bei einer Wassertiefe von 500 m bis 750 m.

II.1.1.2 Pitch

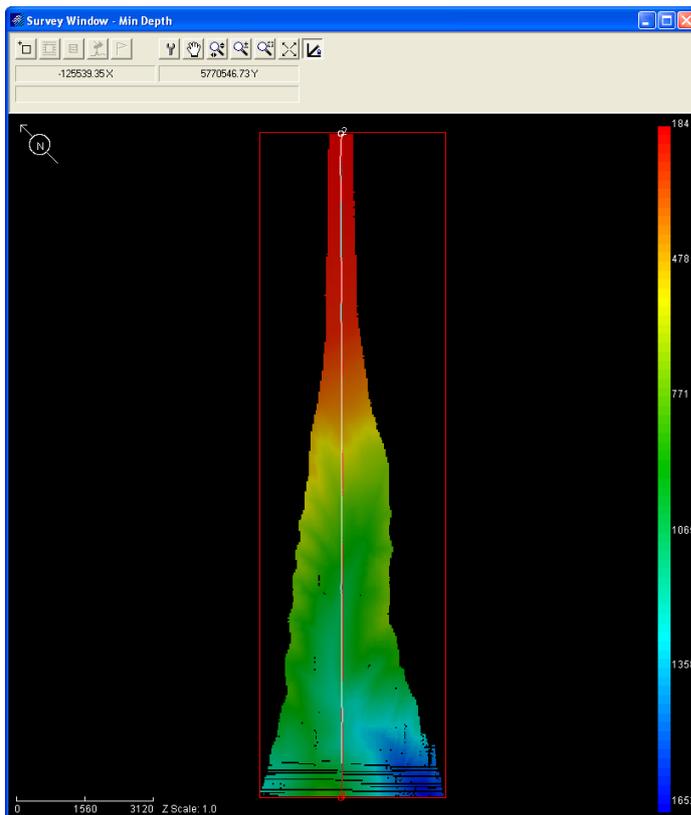


Abb. II.3: Pitch - Kalibrierprofile in HYPACK.

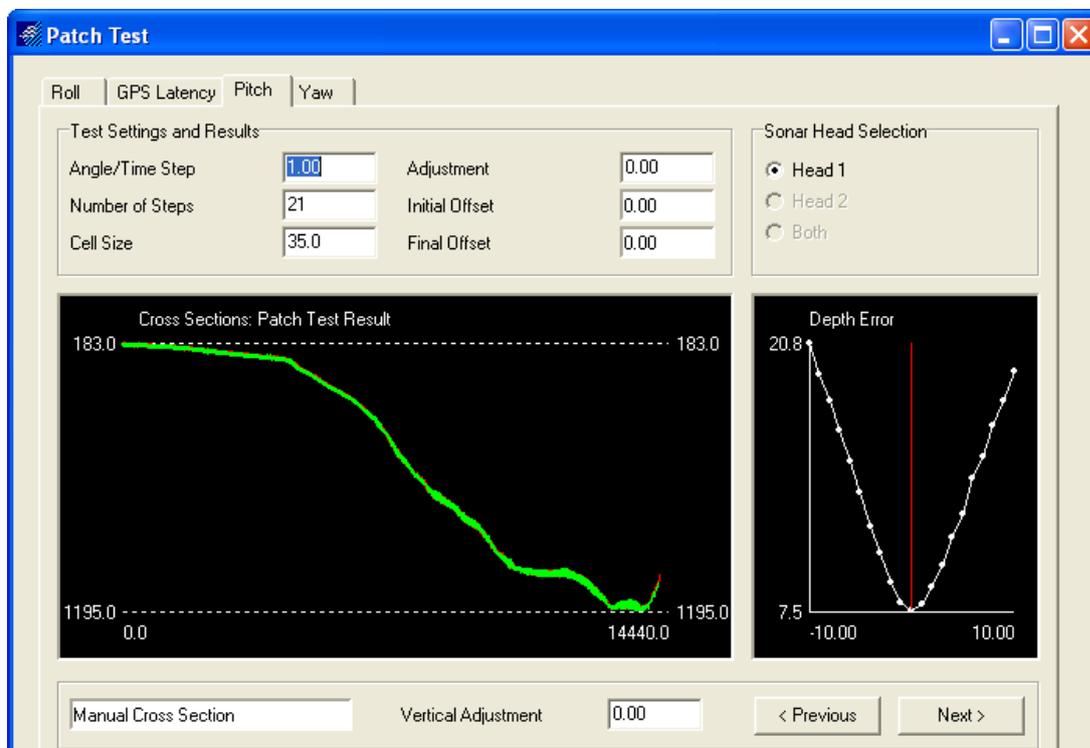


Abb. II.4: Pitch Kalibrierung, bei Angle Step 1 keine Justierung nötig.

II.1.1.3 Heading

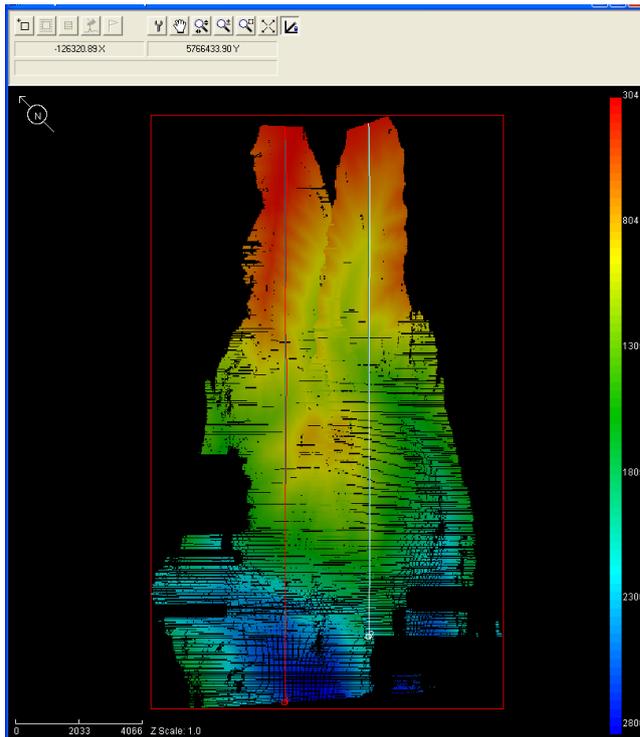


Abb. II.5: Die um ca, 900 m versetzten Heading-Profile sind für die Kalibrierung mit HYPACK nicht nutzbar, da sie aus derselben Richtung befahren wurden, Die Auswirkung des Heading-Offsets wird durch den Versatz in den Daten sichtbar.



Abb. II.6: Aufgrund der geringen Übereinstimmungen der Daten, durch den 900 m-Versatz, kann die Heading-Kalibrierung, für MINS 1 sowie MINS 2, nicht durchgeführt werden.

Anhang B

II.1.1.4 Roll

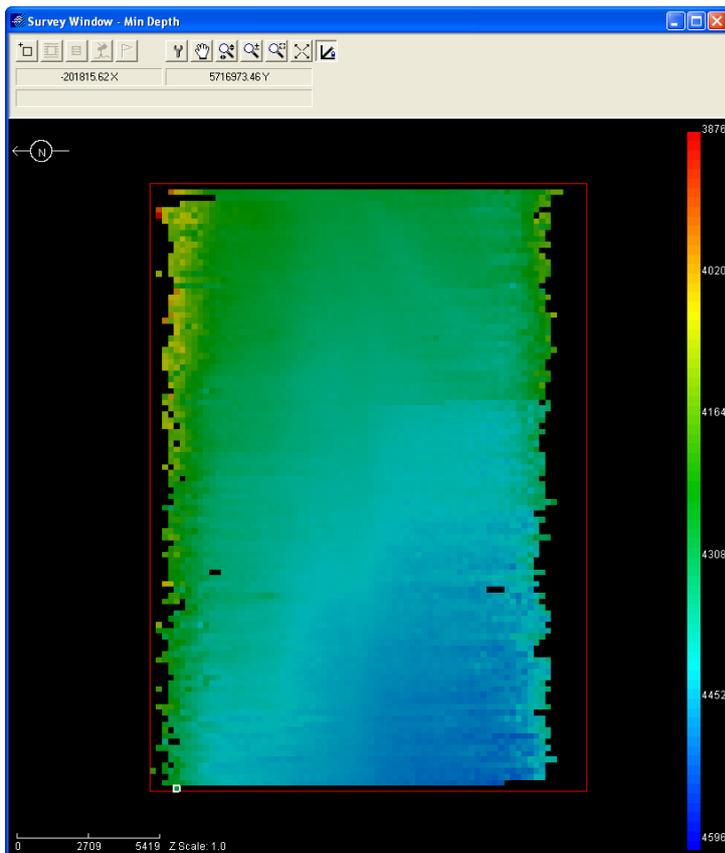


Abb. II.7: Roll-Kalibrierprofil.

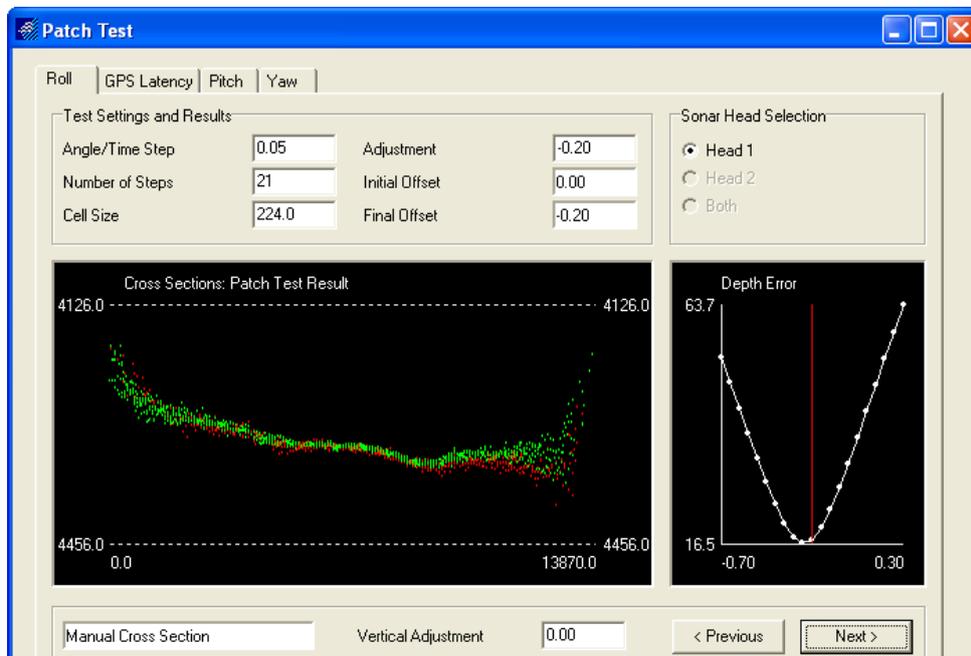


Abb. II.8: Der Roll-Offset liegt bei $-0,2^\circ$ bei einem Angle Step von 0,05.

II.1.2 Kalibrierung CARIS

II.1.2.1 Latency

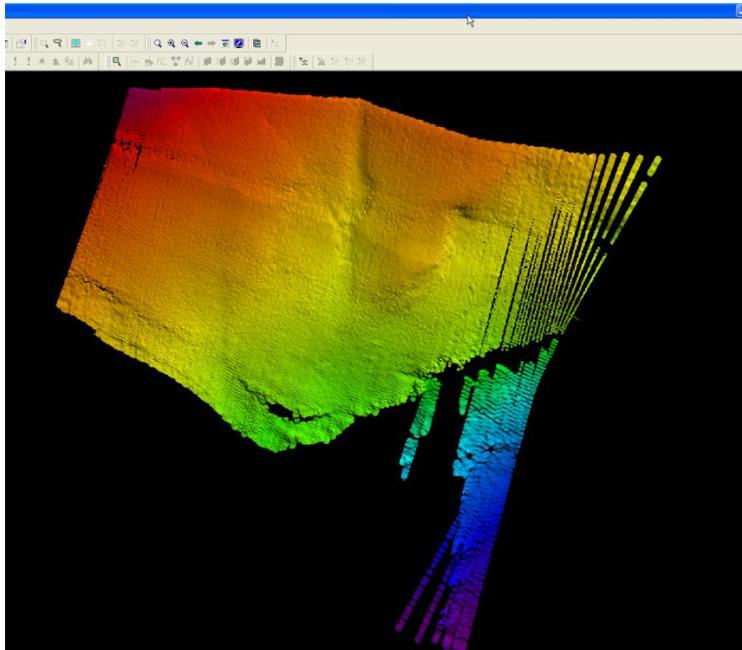


Abb. II.9: Tiefendarstellung aller vier Latency-Profile zusammen in CARIS.

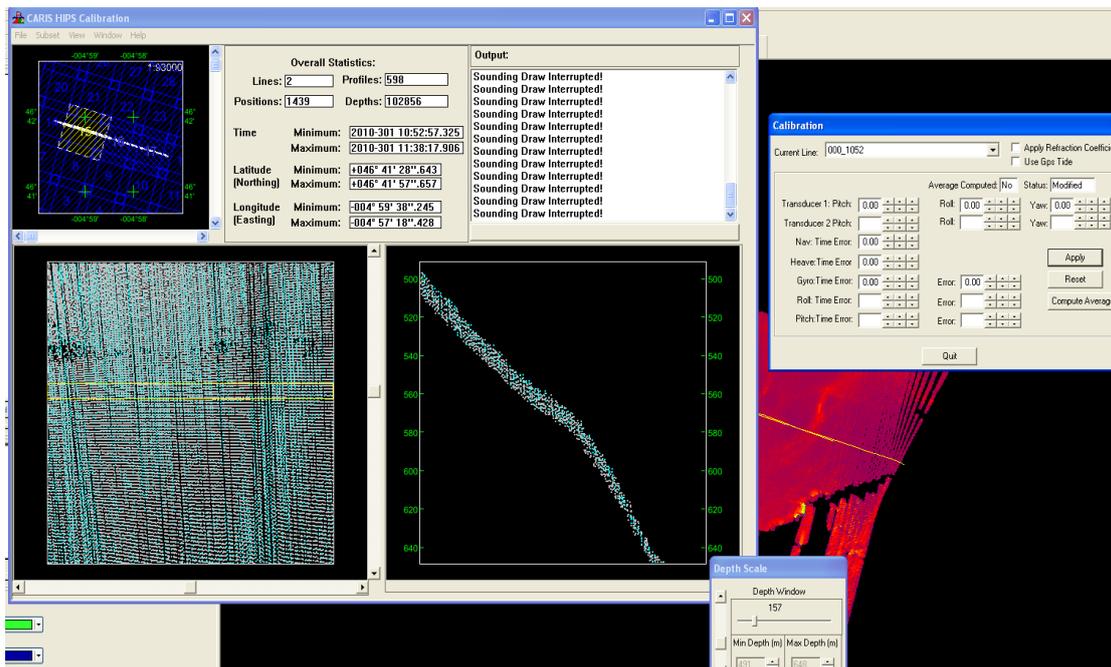


Abb. II.10: Latency-Kalibrierung, Profile mit der MINS gefahren – Endergebnis 0,0s.

II.1.2.2 Pitch

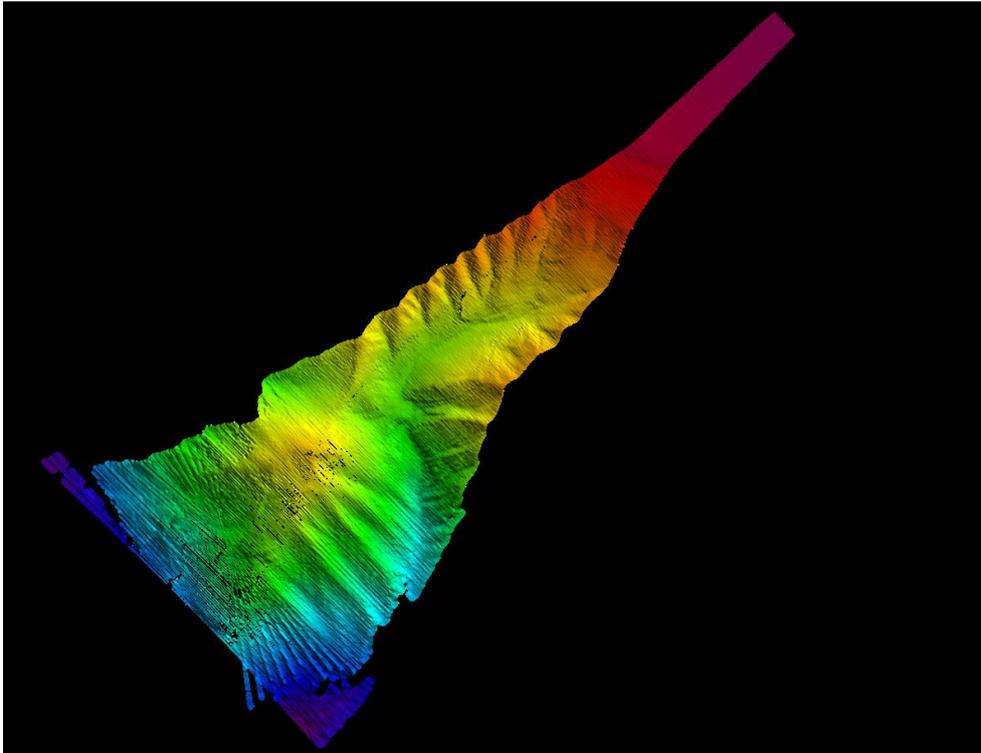


Abb. II.11: Tiefendarstellung aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.

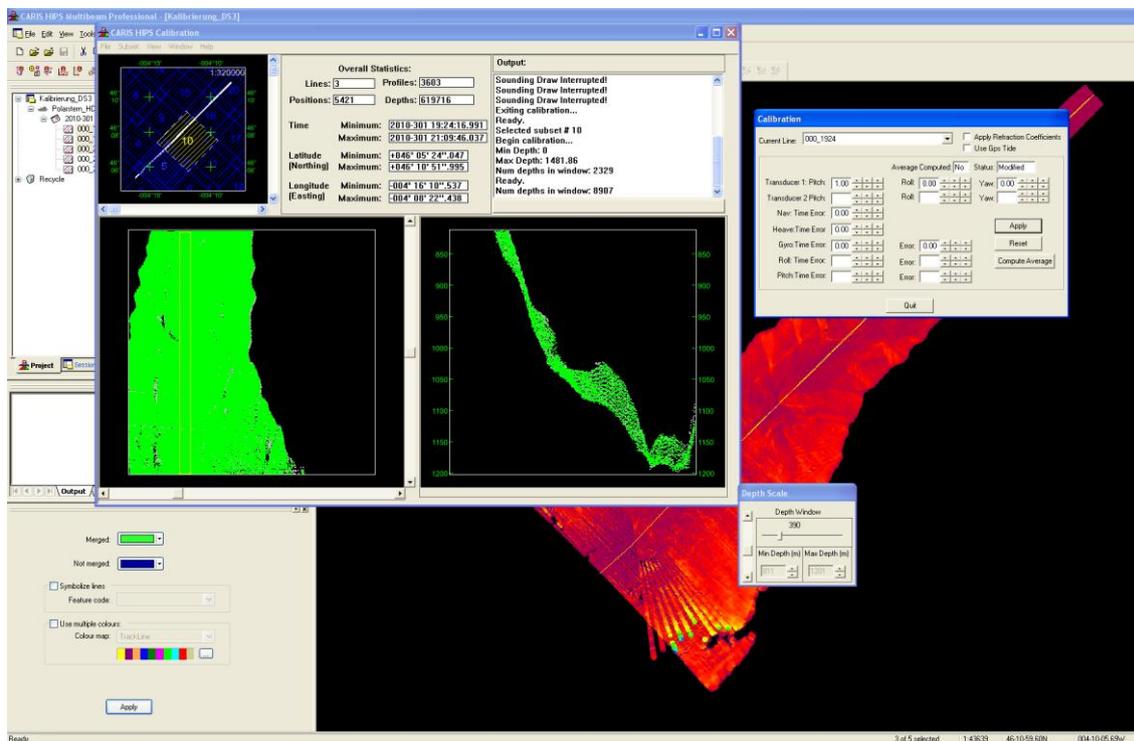


Abb. II.12: Pitch-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren, Flachwasser – Ergebnis 1,0° bei einer Wassertiefe von 800 m bis 1200 m.

Anhang B

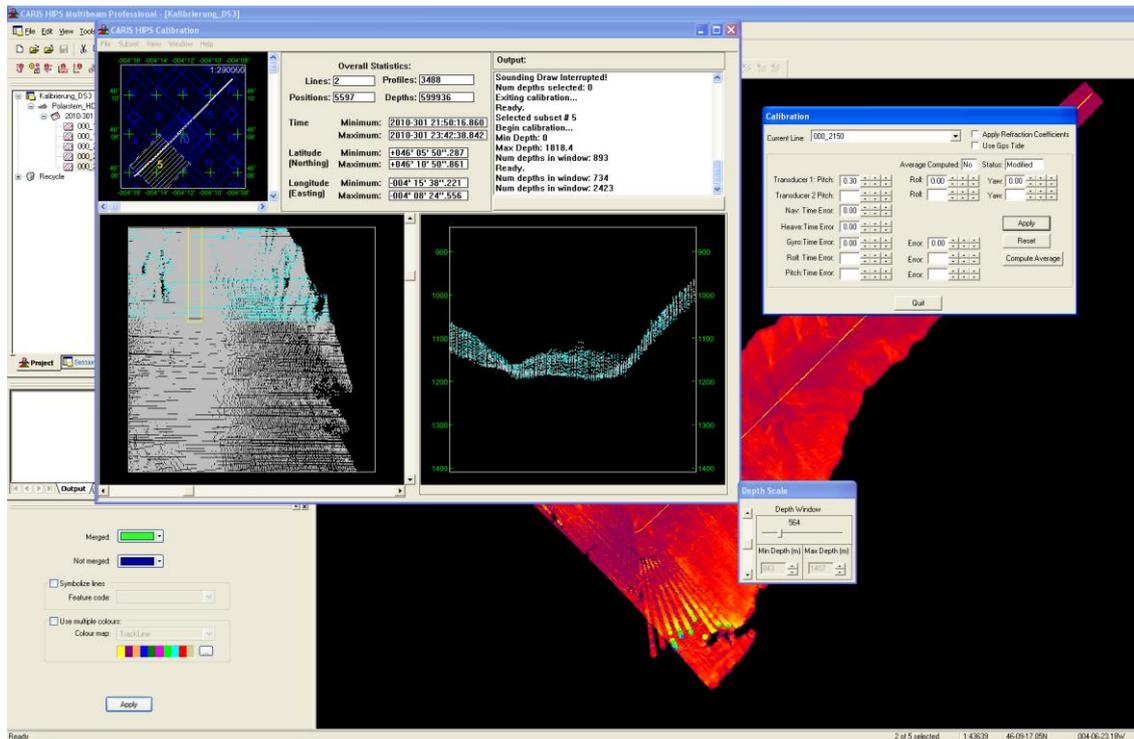


Abb. II.13: Pitch-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 2 gefahren – Ergebnis: 0,3° im Tiefseebereich von 900 m bis 1200 m

II.1.2.3 Heading

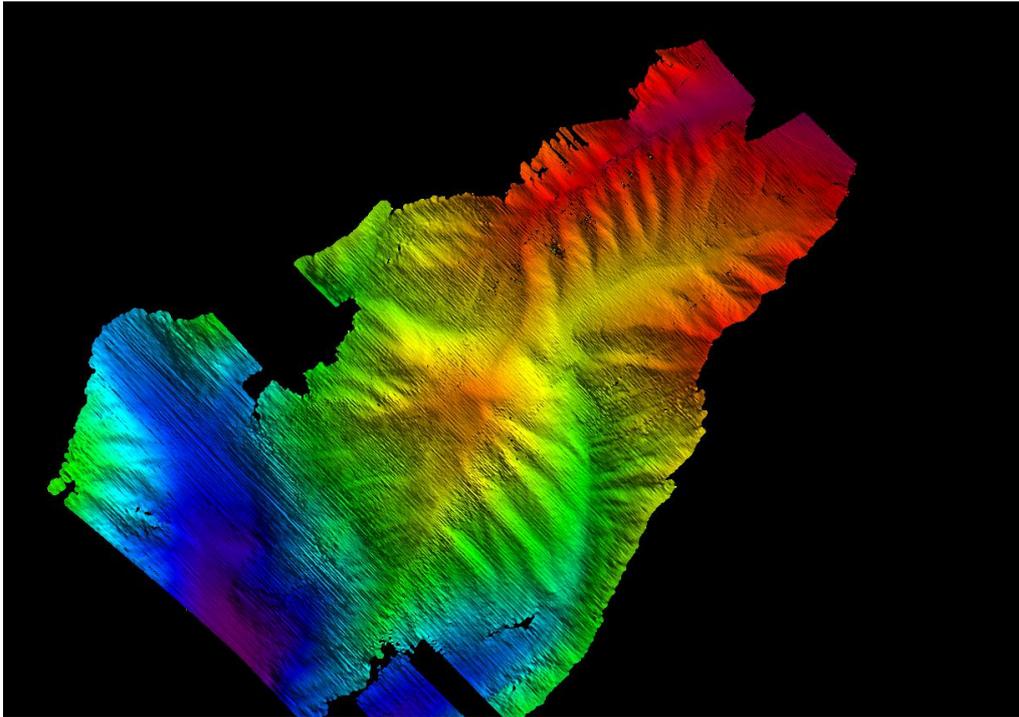


Abb. II.14: Tiefendarstellung aller Heading-Kalibrierprofile zusammen in CARIS: Field Sheet – Base Surface, hier ist kein 900 m-Horizontalversatz erkennbar, lediglich ein Rollversatz.

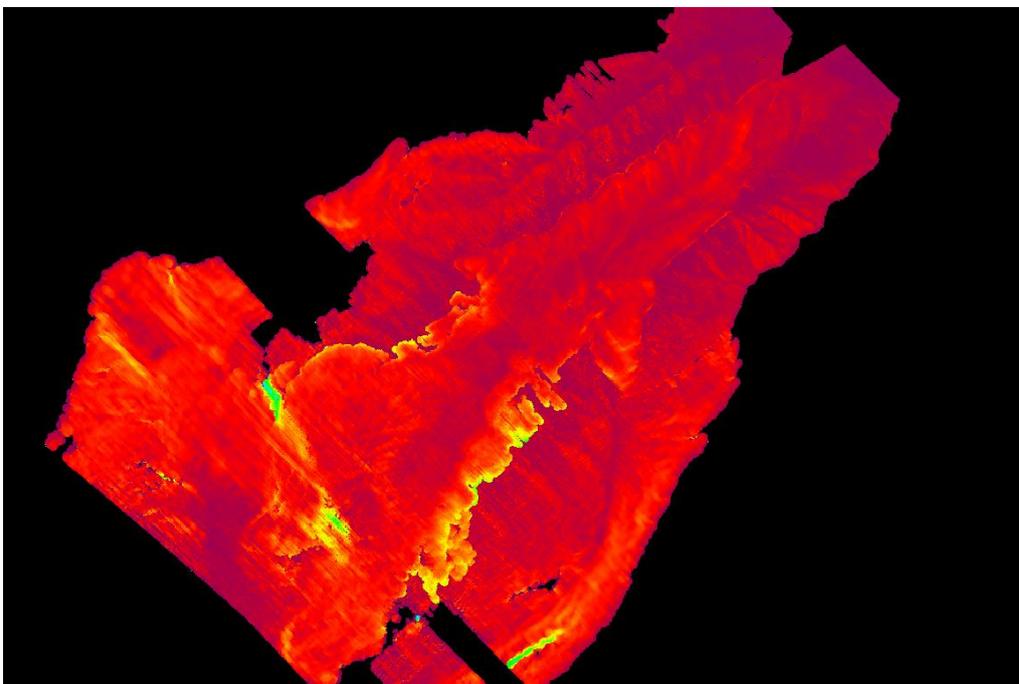


Abb. II.15: Darstellung der Standardabweichungen aller Heading-Kalibrierprofile zusammen in CARIS.

Anhang B

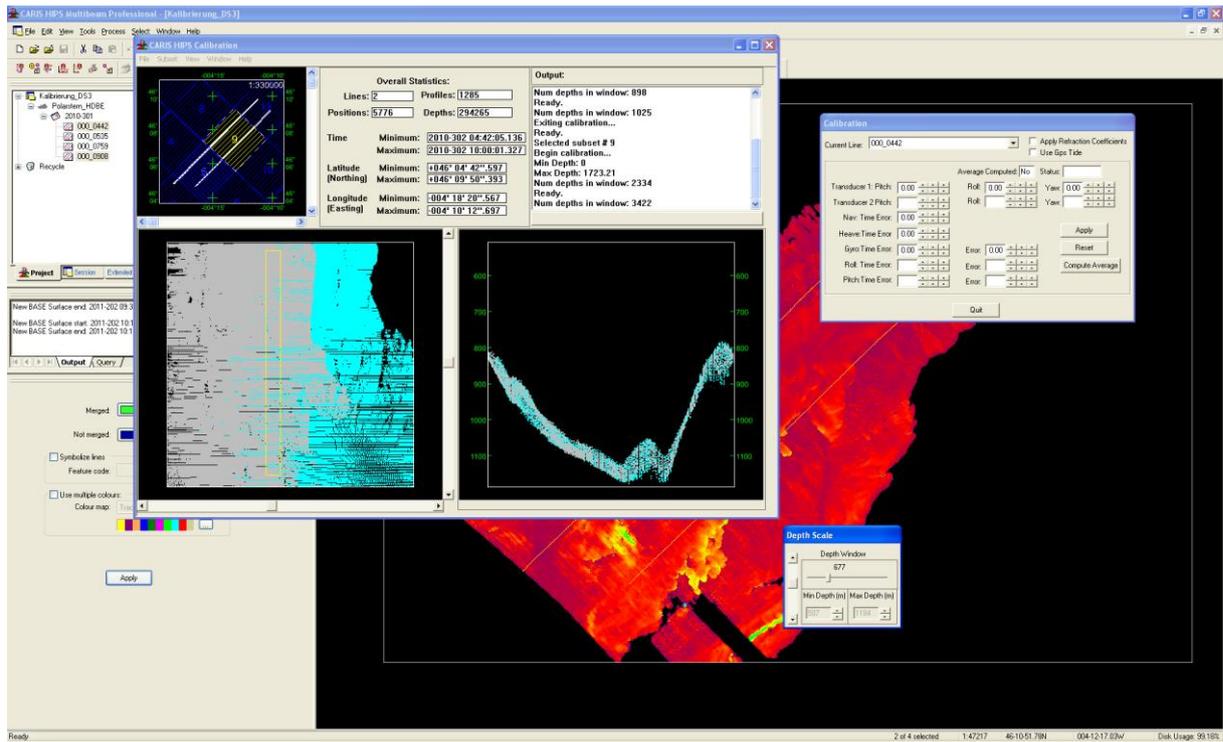


Abb. II.16: Heading-Kalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis: 0,0° bei Wassertiefen von 800 m bis 1200 m.

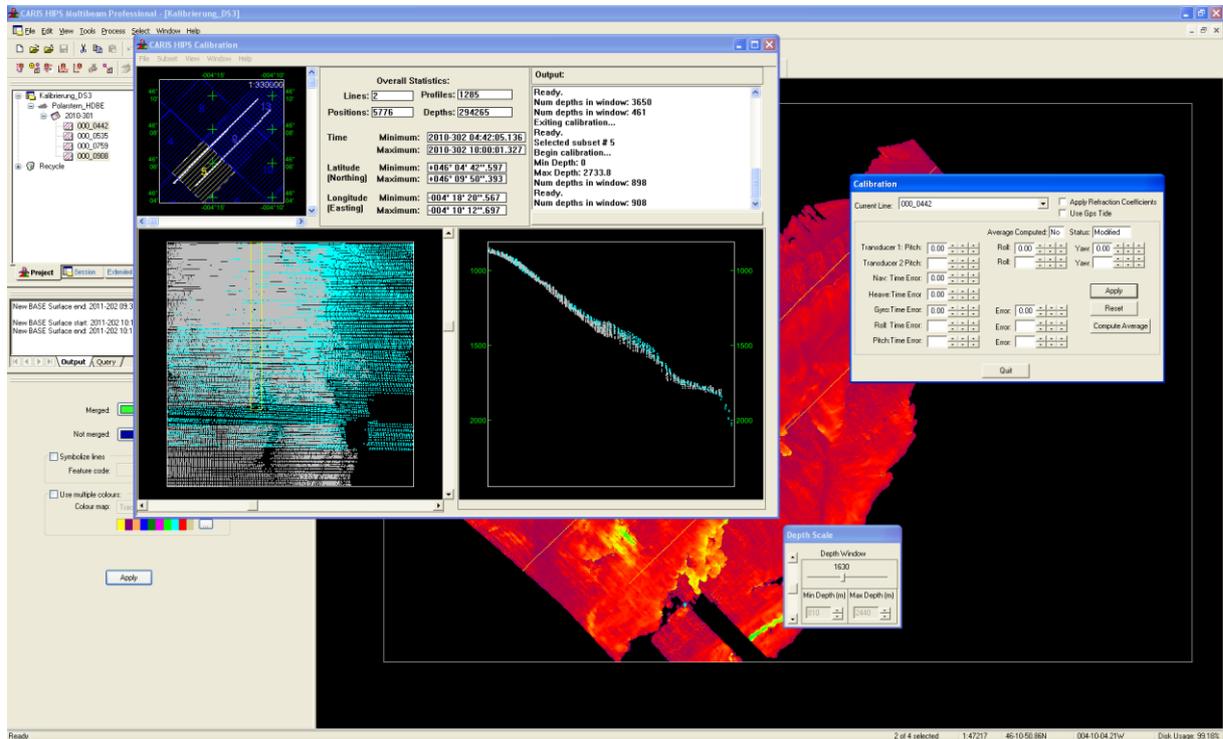


Abb. II.17: Heading-Kalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis: 0,0° bei einer Wassertiefe von 1000 m bis 2000 m.

II.1.2.4 Roll

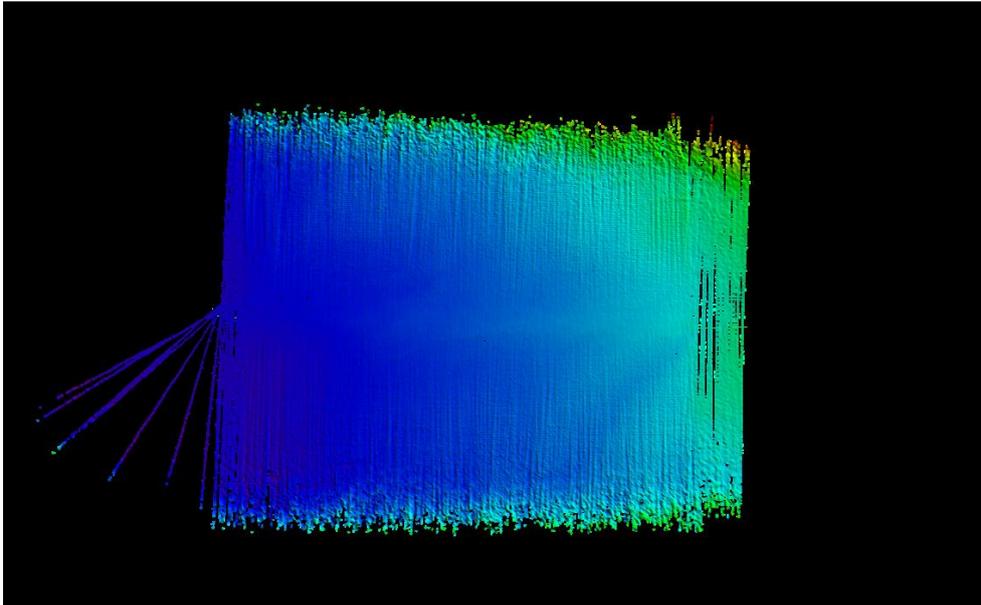


Abb. II.18: Tiefendarstellung aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.

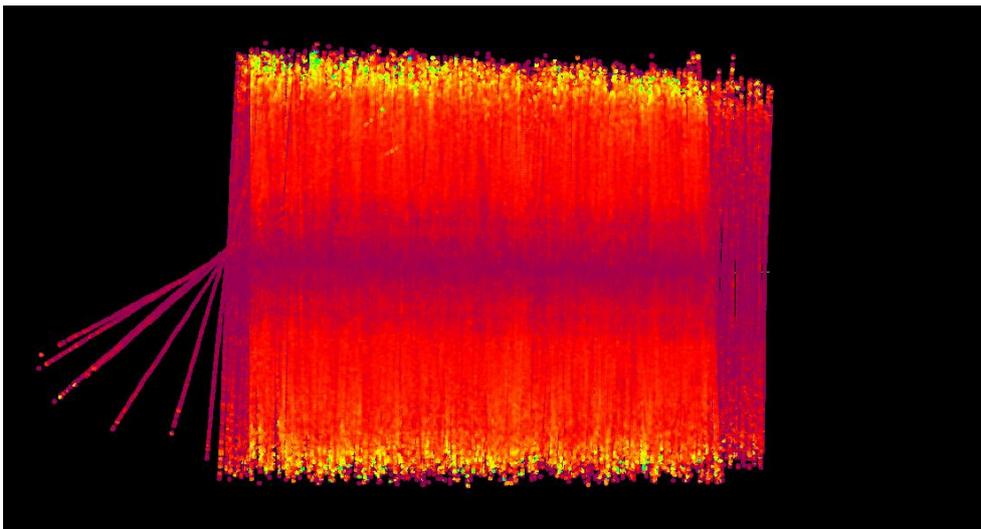


Abb. II.19: Darstellung der Standardabweichungen aller Pitch-Profile für die Grobkalibrierung zusammen in CARIS.

Anhang B

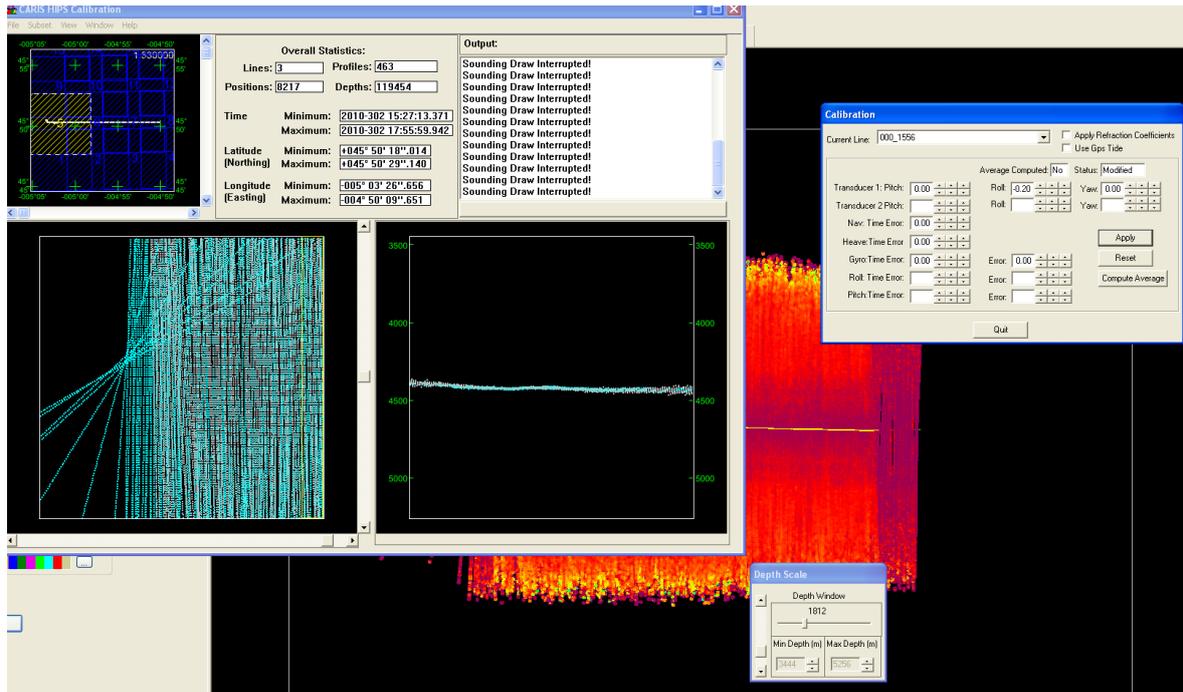


Abb. II.20: Roll-Grobkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Ergebnis -0,2.

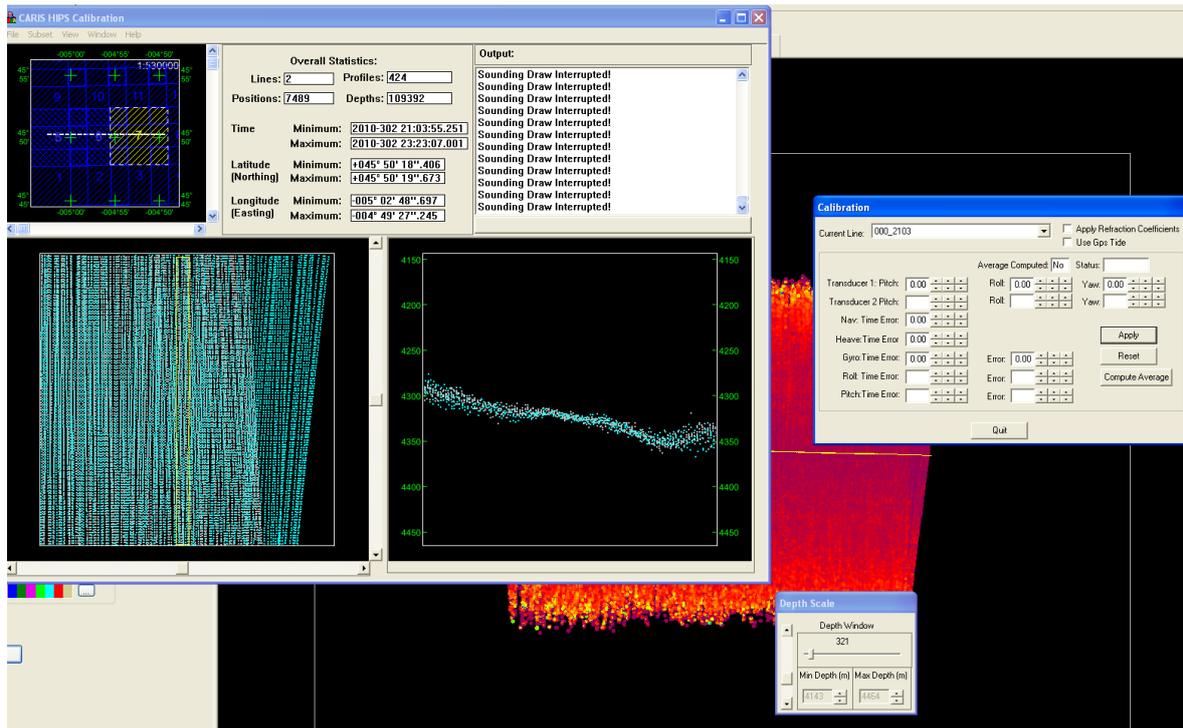


Abb. II.21: Roll-Feinkalibrierung, Profile mit der Mins 1 gefahren – Endergebnis: 0,0°.

II.1.3 QC-Test

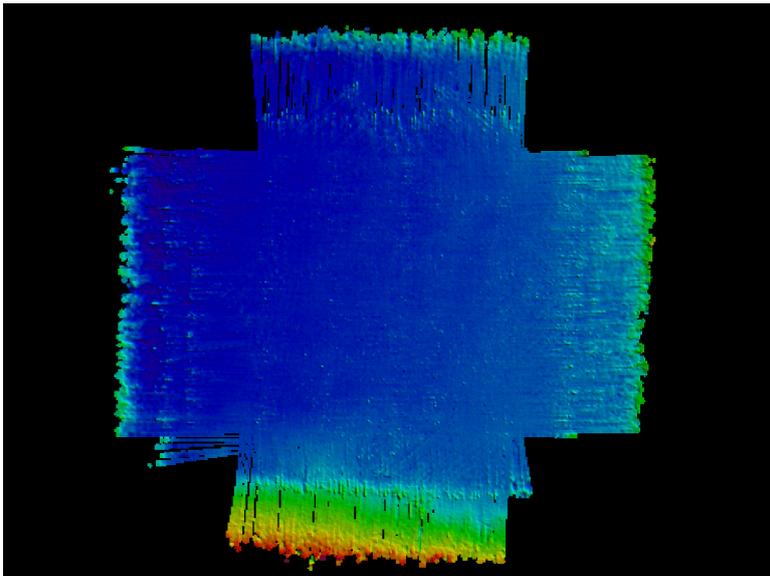


Abb. II.22: QC-Test Referenzfläche - bereits editiert.

II.1.4 Lokation 2b

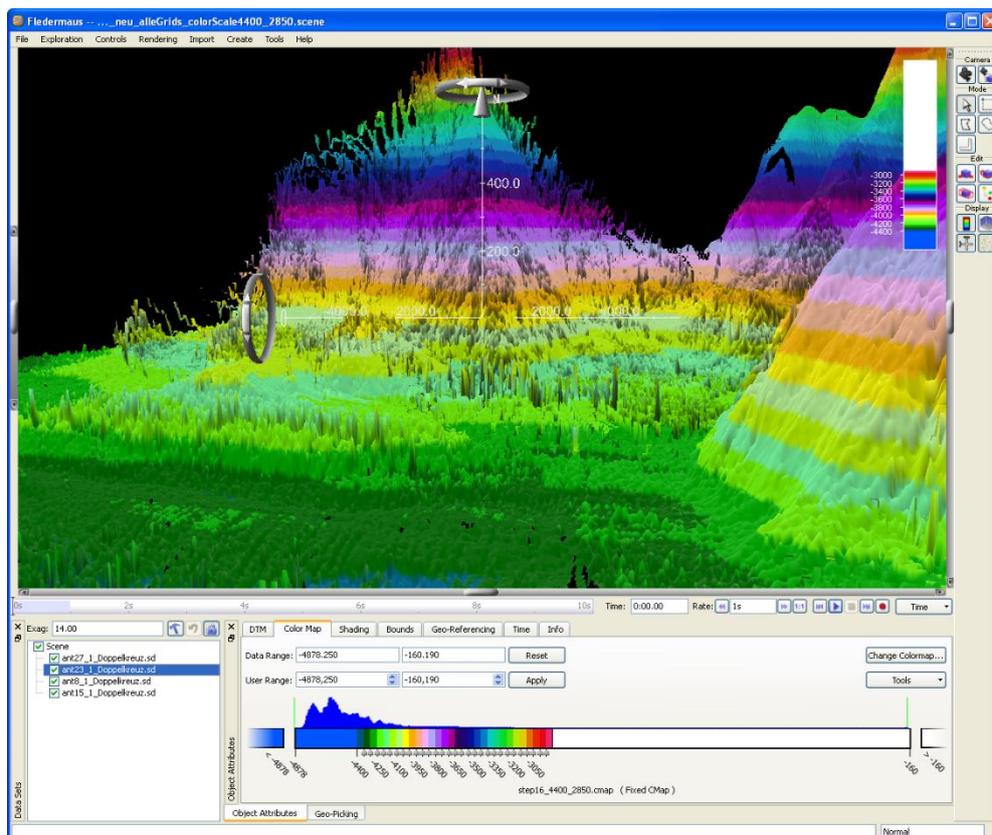


Abb. II.23: In Fledermaus ist sichtbar, dass die mit HS DS-3 gemessenen Flächen, abgesehen von den starken Ausreißern der Außenbeams, mit den vorangegangenen Messung gut zusammen passen.

II.1.5 Romanche-Bruchzone

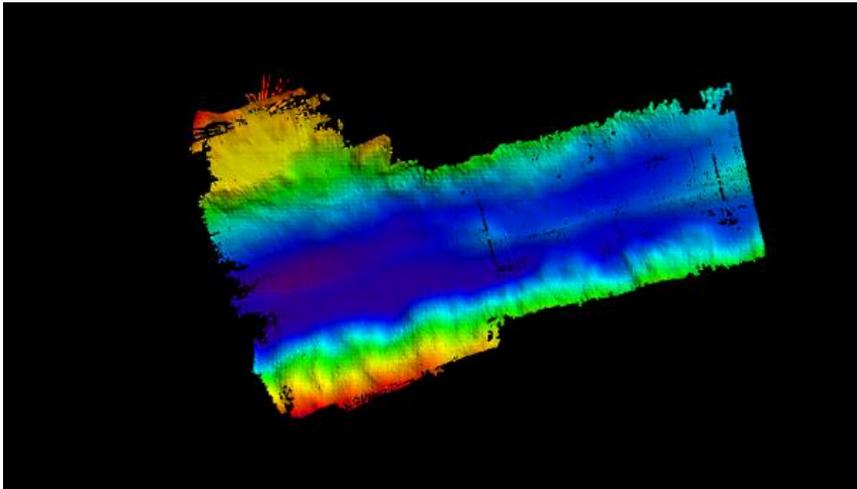


Abb. II.24: Darstellung der Daten der Romanche-Bruchzone in CARIS BASE Surface.

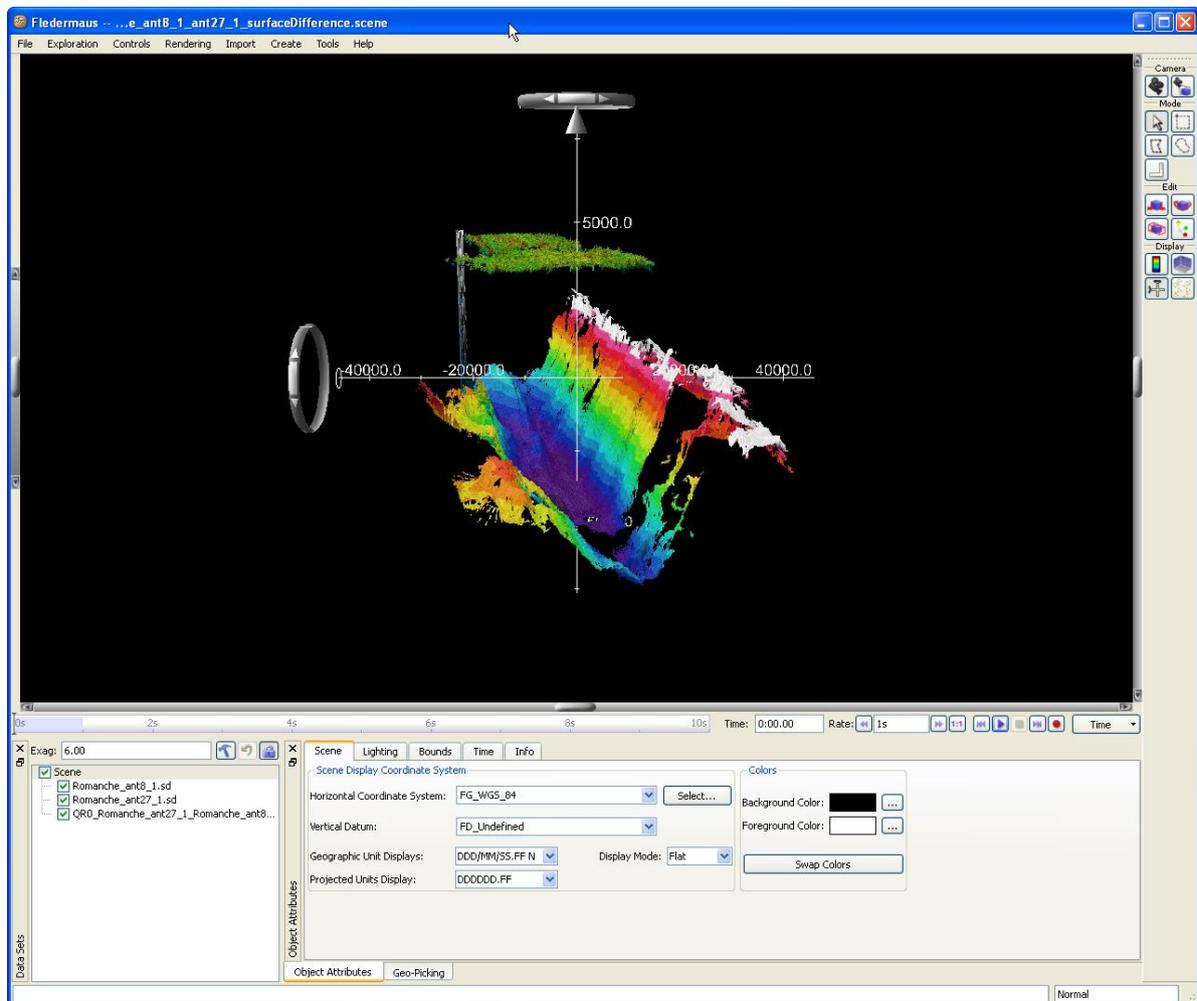


Abb. II.25: Darstellung der Daten der Romanche-Bruchzone in Fledermaus mit einer sechsfachen Überhöhung und der resultierende Surface Difference Fläche.

II.1.6 EIVA-HYPACK in Fledermaus

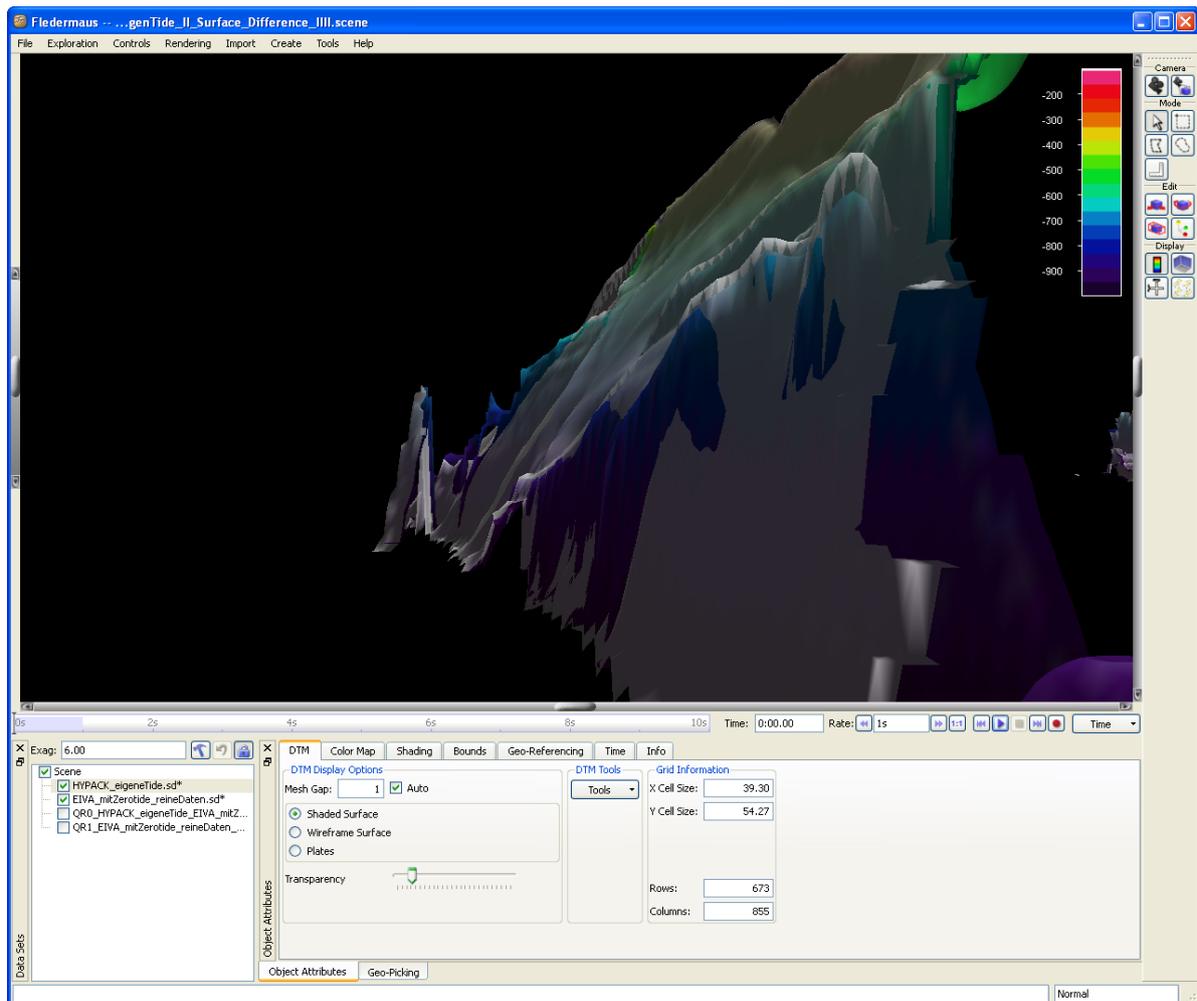


Abb. II.26: Abweichungen zwischen EIVA und HYPACK in der Tiefsee.

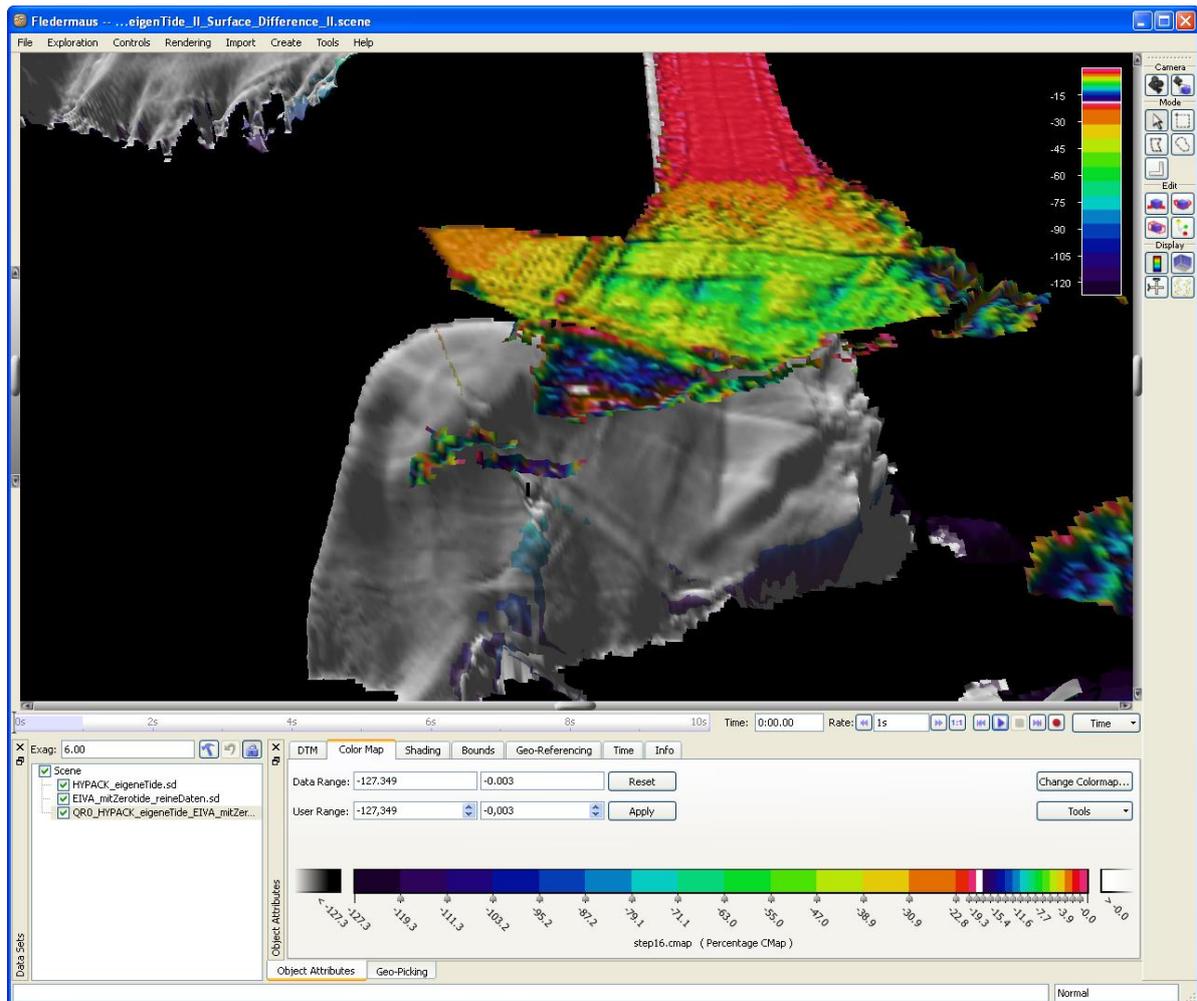


Abb. II.27: Darstellung der Daten in Fledermaus. Die unteren Daten sind die eigentlichen EIVA und HYPACK-Daten, während die bunt gefärbte Fläche die Differenzfläche mit den Höhenunterschieden durch die Abweichungen darstellt.

Danksagung

Danksagung

Mein Dank geht an dieser Stelle zunächst an Herrn Prof Dr. Hans Werner Schenke und Herrn Prof Dr. Delf Egge, für die Ausgabe dieser Bachelorarbeit und die Unterstützung und Ermöglichung der Durchführung.

Ralf Krocke und Fred Niederjasper, von der Bathymetrie-Gruppe möchte ich für die Unterstützung, Anregungen und die vielen Tipps während der Ausarbeitung in Bremerhaven danken. Auch ein herzliches Dankeschön für das Korrekturlesen.

Ein Dank geht auch an Tanja Dufek für viele Tipps zu Fledermaus und CARIS und die immer wieder nette Fahrgemeinschaft zum AWI nach Bremerhaven.

Birgit Tewes danke ich für das Korrekturlesen und die ständige Motivierung während des Semesters.

Meiner Familie, möchte ich auch ganz besonders für die „Telefonseelsorge“ in den letzten Tagen dieser Bachelorarbeit danken. Danke dass ihr immer für mich da seid und mich so sehr unterstützt!

Und zum Schluss ein großes Dankeschön an Nils, der trotz einer Entfernung von über 10000 km mich immer motivieren konnte und für mich da ist, Dankeschön!