

BfG-1931

Bericht

Ermittlung der Gewässersohle in hydroakustisch
schwer zu vermessenden Gebieten im Bereich der
Tideelbe

Dr.-Ing. Robert Weiß, 03.05.2017

Auftraggeber:

Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Standort Kiel

SAP-Nr.: M39610504067

Anzahl der Seiten: 123

Aufgestellt durch: Dr.-Ing. Robert Weiß

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Referat
Geodäsie

Gewässer-
vermessung

SAP
M39610504067

Inhalt

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Veranlassung und Ausgangslage..... | 5 |
| 1.1 | Veranlassung..... | 5 |
| 1.2 | Problemstellung..... | 5 |
| 1.3 | Aufbau des Berichts..... | 8 |
| 2 | Grundlagen..... | 9 |
| 2.1 | Beschreibung des Peilreviers und des Peilschiffs Wedel..... | 9 |
| 2.2 | Empfohlene Sofortmaßnahmen der BfG (Juli 2015)..... | 10 |
| 2.3 | Grundlagen der hydroakustischen Messverfahren..... | 11 |
| 2.3.1 | Einstrahlecholot..... | 11 |
| 2.3.2 | Fächerecholot..... | 12 |
| 2.4 | Filteralgorithmen..... | 14 |
| 2.5 | Fehlerbetrachtung..... | 18 |
| 2.6 | Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit..... | 20 |
| 3 | Verfügbare Messkampagnen..... | 22 |
| 3.1 | Messdaten..... | 22 |
| 4 | Datenanalyse..... | 32 |
| 4.1 | Darstellung der Qualität der vorhandenen Beobachtungen..... | 32 |
| 4.1.1 | Darstellung des Ist-Zustandes in Form von Querprofilen..... | 32 |
| 4.1.2 | Flächenhafte Darstellung der Parameter..... | 41 |
| 4.1.3 | Differenzen gegenüber einer Modelloberfläche..... | 50 |
| 4.1.4 | Fazit..... | 53 |
| 4.2 | Häufigkeitsverteilungen und Messpunktdichte..... | 53 |
| 4.3 | Zusammenhang zwischen Beamwinkel, Quality und Intensity Werten..... | 57 |
| 4.3.1 | Sedimentfang Wedel..... | 58 |
| 4.3.2 | Juelsand..... | 60 |
| 4.3.3 | Bereich Blatt 07..... | 61 |
| 4.3.4 | Fazit..... | 62 |
| 4.4 | Filterung auf Basis von Quality und Intensity Werten..... | 62 |
| 4.4.1 | Bereich Sedimentfang Wedel..... | 62 |
| 4.4.2 | Bereich Juelsand..... | 73 |
| 4.4.3 | Bereich Blatt 07..... | 81 |
| 4.4.4 | Fazit..... | 91 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 93 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6 | Literaturverzeichnis..... | 95 |
| 7 | Abbildungsverzeichnis | 96 |
| 8 | Tabellenverzeichnis..... | 101 |
| 9 | Anhang | 102 |
| 9.1 | Anhang A – Peilrevier und eingesetzte Peilschiffe | 102 |
| 9.2 | Anhang B - Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit | 103 |
| 9.2.1 | Grundlagen | 103 |
| 9.2.2 | Variationen der Wasserschallgeschwindigkeit..... | 104 |
| 9.2.3 | Fazit | 115 |
| 9.3 | Anhang C - Detaillierte Beschreibung der Peilstreifen | 117 |

1 Veranlassung und Ausgangslage

1.1 Veranlassung

Seit einiger Zeit treten in bestimmten Bereichen verschiedener Bundeswasserstraßen vermehrt Schwierigkeiten bei der Ausführung und Auswertung von Tiefenmessungen auf. Das Spektrum der Schwierigkeiten reicht dabei von einer Einschränkung der Fächerlottechnik bis hin zu ihrem kompletten Versagen und widersprüchlichen Angaben im Vergleich zu Einzelschwinger - Messsystemen. Die Probleme treten insbesondere in Bereichen auf, wo die Gewässersohle Weichsedimente aufweist.

Infolgedessen wurde die BfG durch das WSA-Tönning bzw. durch die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Standort Kiel beauftragt, die Ermittlung der nautisch relevanten Sohle in hydro-akustisch schwer zu vermessenden Gebieten zu untersuchen und Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Die Arbeiten sollten in Zusammenarbeit mit den zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämtern erfolgen.

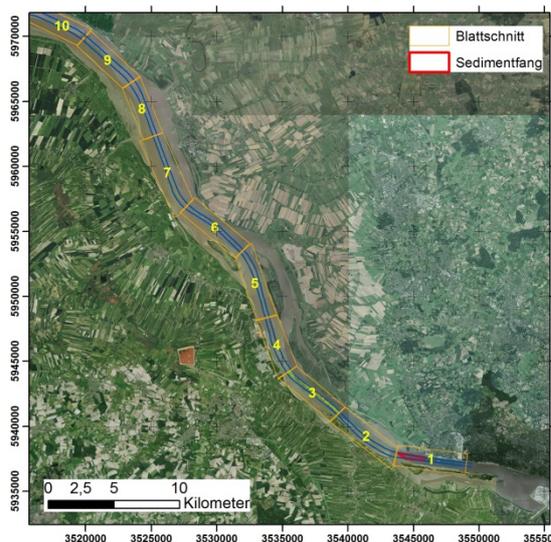


Abbildung 1: Blattschnitt im Revier des WSA Hamburg

1.2 Problemstellung

In dem vorliegenden Bericht wird auf den Fall der eingeschränkten Nutzbarkeit von Fächerlotsystemen in bestimmten Bereichen der Elbe zwischen Hamburg und Cuxhaven eingegangen. Im Zuständigkeitsbereich des WSA Hamburg (Abbildung 1) treten insbesondere in zwei Abschnitten große Probleme auf.

- a) Nahezu vollständiges Versagen der Fächerlottechnik im Bereich des Sedimentfangs Wedel in Blatt 1.
- b) Gebiete mit sehr weichen Sedimenten insbesondere im Bereich Juelsand (Blatt 3) und in weiteren Bereichen.

Im Bereich des Sedimentfangs Wedel variieren die Ergebnisse einer Peilung sehr stark. Es ist in

diesem Bereich mit herkömmlicher Fächerlottechnik kaum möglich, einen konsistenten Horizont zu detektieren. Bedingt durch die vielen Fehlmessungen variieren die Messungen sehr stark und dementsprechend treten sehr große Differenzen einzelner 1m x 1m Maschen sowie zwischen verschiedenen Messstreifen auf. Exemplarisch ist in Abbildung 2 ein Querprofil durch den Sedimentfang Wedel dargestellt.

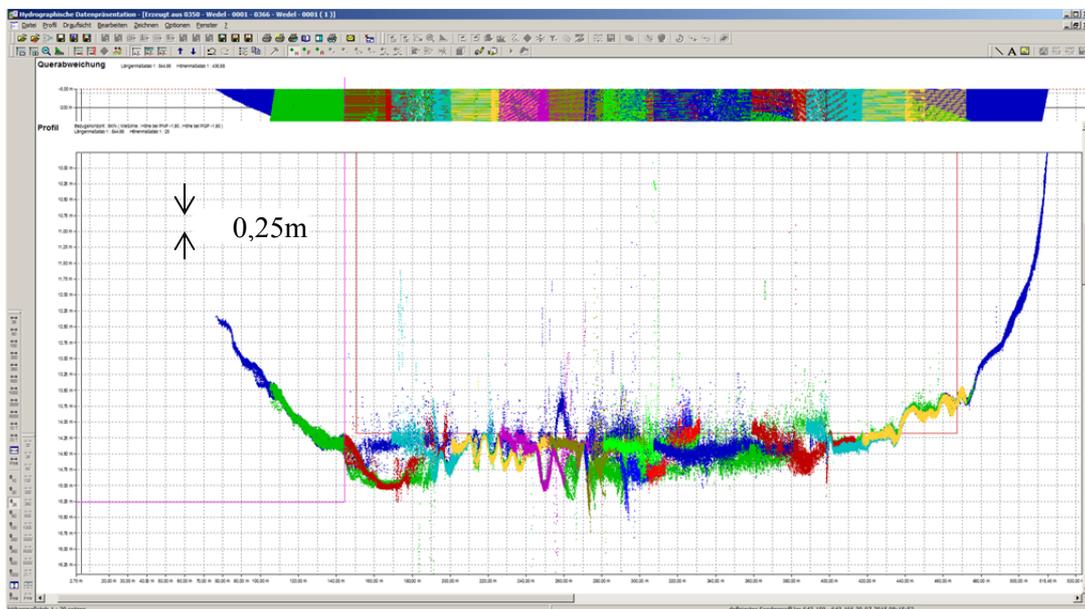


Abbildung 2: Querprofil im Bereich des Sedimentfang Wedel (km 643,16, EM2040C, 30.07.2015)

In den unter b) genannten Bereichen sind Fächerlotmessungen prinzipiell möglich, jedoch treten insbesondere bei größeren Beamwinkeln vermehrt Fehlmessungen auf. Die Messungen weisen z.T. eine derartige Streuung auf, dass eine zuverlässige Detektion der Sohle nicht mehr möglich ist. Exemplarisch sind in Abbildung 3 die Messungen von vier einzelnen Pings eines Messstreifens bei km 652,00 dargestellt. Es wird deutlich, dass Messungen mit Beamwinkeln über 30° keine zuverlässigen Messwerte mehr liefern.

Neben der großen Streuung der Messwerte untereinander sind insbesondere in den Randbereichen z.T. sehr große Abweichungen zwischen den Messwerten verschiedener Messstreifen zu beobachten. Die einzelnen Fächer sind in diesen Bereichen teilweise regelrecht „aufgebogen“, was auf Probleme mit der Wasserschallgeschwindigkeit hinweist. Infolgedessen wird die Sohle nicht korrekt erfasst und die Ergebnisse der einzelnen Fächer führen zu sehr großen Differenzen innerhalb der einzelnen Maschen. Exemplarisch ist in Abbildung 4 ein Querprofil bei km 651,96 dargestellt. In der Abbildung sind im rechten Bereich die beschriebenen Variationen dargestellt.

Die genauen Ursachen der Variationen können nicht explizit bestimmt werden. Es wird vermutet, dass die Weichsedimente einerseits und die Wasserschichtung andererseits die großen Variationen im Wesentlichen verursachen. Eine eindeutige Trennung zwischen beiden Fehlern ist nicht möglich. Die im Folgenden beschriebenen weiterführenden Parameter liefern aber die Grundlage für eine Problemlösungsstrategie. Mithilfe der in diesem Bericht dargestellten Lösungsstrategie ist es nicht möglich, die Ursachen zu eliminieren, wohl aber deren Auswirkungen zu minimieren.

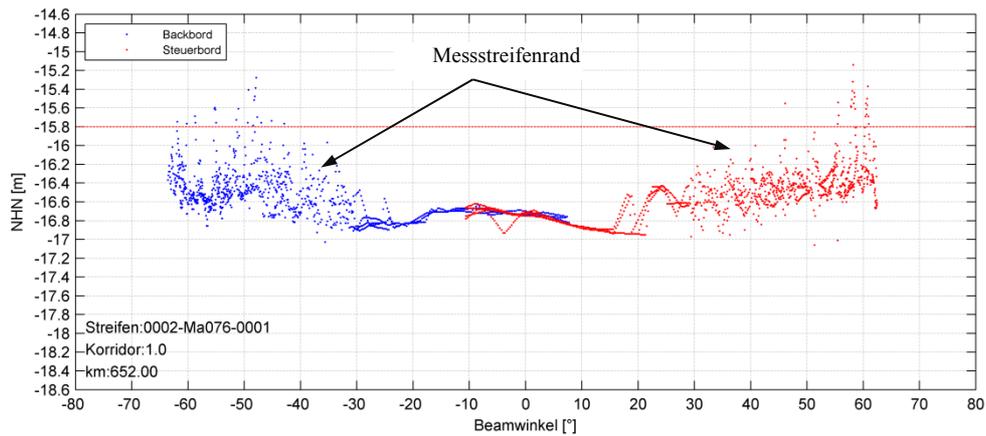


Abbildung 3: Vier Pings einer Messung bei km652,00

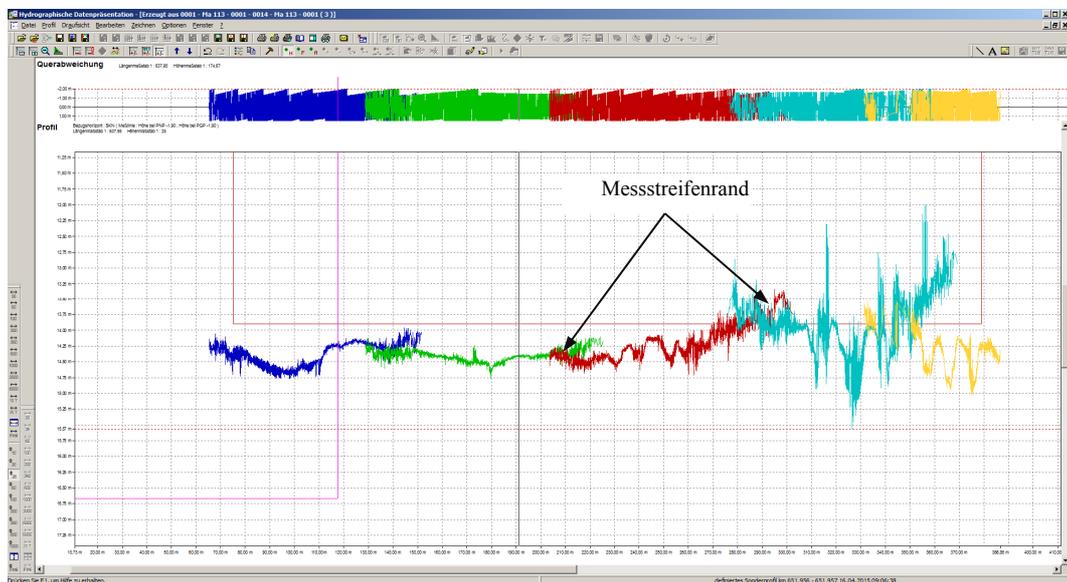


Abbildung 4: Querprofil bei km 651,957 (Korridorbreite 4,0m)

Die dargestellten Probleme führen zu großen Unsicherheiten im Bereich der Messdatenerfassung, weshalb die BfG um Mithilfe zur Problemlösung gebeten wurde.

Neben den Sofortempfehlungen der BfG vom Juli 2015 werden in diesem Bericht Filteransätze vorgestellt, die den Kernpunkt der Lösungsstrategie darstellen. Die Lösungsstrategie besteht im Wesentlichen darin, bereits während der Messfahrt enge Filter für bestimmte erweiterte Parameter zu setzen. Mithilfe dieser Parameter können Fehlmessungen während der Messung detektiert und eliminiert werden. Hat dies Datenlücken oder unzulässig stark ausgedünnte Bereiche zur Folge, können diese vor Ort erkannt werden. Es ist danach möglich, entsprechende Problembereiche während der gleichen Messfahrt unter optimaleren Bedingungen erneut zu erfassen und so den manuellen Auswertearbeit im Büro wesentlich zu senken.

Weiterführende Untersuchungen zu neuartigen Fächerlottechniken, wie etwa Sedimentecholoten oder Dichtesonden sowie die Definition des nautisch relevanten Horizonts sind nicht Gegenstand dieses Berichtes. Diese werden gesondert untersucht und die Ergebnisse in einem Folgebericht dargestellt.

1.3 Aufbau des Berichts

Im Rahmen dieses Berichts werden die Grundlagen und ein Lösungsansatz vorgestellt. Darüber hinaus erfolgt eine Beschreibung des Ist-Zustandes sowie der Ergebnisse des vorgestellten Lösungsansatzes.

In den Grundlagen erfolgt eine Beschreibung des Peilreviers. Dies beinhaltet eine morphologische Beschreibung der Gewässersohle, da insbesondere Weichsedimente als eine Ursache für die beschriebenen Peilprobleme in Betracht kommen. Dem schließt sich eine kurze Vorstellung des Peilschiffs Wedel sowie der durch die BfG im Juli 2015 empfohlenen Sofortmaßnahmen an (Abschnitt 2.2). Die Beschreibung der Grundlagen der hydroakustischen Messtechnik (Abschnitt 2.3) dient dem besseren Systemverständnis und dem Verständnis der Wirkungsweise der in Abschnitt 2.4 dargestellten Filteransätze.

In Abschnitt 2.5 erfolgt eine Fehlerbetrachtung. Dies dient der Abschätzung „normaler“ Unsicherheiten für dieses Peilrevier und Peilschiff. In Abschnitt 2.6 und Anhang B wird der Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit näher behandelt.

In Kapitel 3 werden die zugrunde liegenden Messkampagnen beschrieben. In dem sich anschließenden Kapitel 4 erfolgen Analysen der vorgestellten Daten. Diese beinhalten Beurteilungen der Qualität der Messungen in Form von Querprofilen (4.1.1) und flächenhaften Darstellungen (4.1.2). An dieser Stelle werden neben den üblichen Parametern auch erweiterte Parameter (z.B. Qualitätsinformationen und Dämpfungsinformationen) eingeführt, die eine bessere Beschreibung der Qualität der Messdaten ermöglichen. Auf Basis dieser erweiterten Parameter sind Filterungen möglich, die Kern der Lösungsstrategie sind. Es wird auch dargestellt, in welchem Zusammenhang vermeintliche Fehlmessungen mit den erweiterten Parametern stehen. Eine Analyse der Häufigkeit und Messpunktdichte in Bezug auf die erweiterten Parameter erfolgt in Abschnitt 4.2. Der Zusammenhang zwischen den Qualitäts- und Intensitätsinformationen sowie der Beamwinkel erfolgt in Abschnitt 4.3. In dem folgenden Abschnitt 4.4 werden die Filter auf die vorhandenen Messdaten angewendet und deren Auswirkungen in Form von Querprofilen und flächenhaften Darstellungen aufgezeigt. So wird aufgezeigt, welche Erfolge bei unterschiedlichen Filtergrenzen erreicht werden können.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse zusammengefasst und Empfehlungen ausgesprochen. Darüber hinaus erfolgt ein Ausblick auf die weiterführenden Arbeiten zur Optimierung der hydrografischen Datenerfassung in hydroakustisch schwierigen Gebieten.

2 Grundlagen

2.1 Beschreibung des Peilreviers und des Peilschiffs Wedel

Das Peilrevier des WSA Hamburg im Bereich der Elbe erstreckt sich vom Blatt 01 bis zum Blatt 09. Die Elbe ist in diesem Bereich charakterisiert durch den Einfluss der Gezeiten und den damit verbundenen Auswirkungen auf den Salzgehalt des Wassers sowie die Sohlbeschaffenheit des Flussbetts der Elbe. Die Variation des Salzgehaltes und die damit verbundene Variation der Wasserschallgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Qualität der Peildaten. Darüber hinaus ist die Beschaffenheit der Sohle von großer Bedeutung. Diese lässt sich in unterschiedliche Fraktionen aufteilen. Im Revier des WSA Hamburg treten unterschiedliche Sedimentstrukturen auf. Die Sedimente der Feinkornfraktionen Schluff und Ton werden als Suspension mit dem Wasserkörper transportiert, weswegen diese auch als Schwebstoffe bezeichnet werden (advektiver und diffusiver Transport). Größere Sandfraktionen werden sohlgebunden und sohlnah transportiert. Der Feinsand bildete einen Übergangsbereich und wird in den untersten 1 m bis 2 m der Wassersohle transportiert (Winterscheid et al, 2014). Die Sedimentbeschaffenheit der Elbe zwischen Hamburg und Cuxhaven variiert zwischen schluffig und sandig. In Abbildung 5 sind den jeweiligen Bereichen der Elbe die Sedimentverhältnisse zugeordnet. Insbesondere im Bereich Wedel (Blatt 01/BA1) und Juelsand (Blatt 03/BA3) sind schluffige/feinsandige Sedimente vorhanden, die zu schwierigeren hydro-akustischen Bedingungen führen, für die im vorliegenden Bericht Messstrategien dargestellt werden.

Das WSA Hamburg verfügt mit dem Peilschiff Wedel (Abbildung 6) über ein im Jahr 2007 in Dienst gestelltes Peilschiff, mit welchem die Peilaufgaben im Revier des WSA Hamburg durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Indienststellung war in das Peilschiff ein hydrografisches Messsystem eingerüstet, dessen Herzstück ein Dual Head Fächerlotsystem des Typs Kongsberg EM3002 bildete. Neben der Fächerlotanlage verfügt das Peilschiff Wedel über ein 15kHz und 200kHz Einzelschwinger-Messsystem. Das Fächerlotsystem wurde 2015 durch ein neues System (Kongsberg EM2040C) ersetzt. Weiterhin erfolgten Installationen neuen Positionierungs- und Orientierungskomponenten, sowie der Austausch diverser Peripheriegeräte.

Im Rahmen der Abnahme des Messsystems im Juli 2015 erfolgten Testmessungen. Aufbauend auf den Ergebnissen sowie auf vorangegangenen Beobachtungen hat die BfG Empfehlungen an das zuständige WSA Hamburg ausgesprochen, die zu einer zuverlässigen Erfassung der Gewässersohle in Weichsedimentbereichen des Blattes 03 (Juelsand) führen sollen. Neben den Abnahmemessungen wurden weiterführende Messungen im 3. und 4. Quartal 2015 sowie im April 2016 ausgewertet, wobei die von der BfG empfohlenen Maßnahmen umgesetzt wurden.

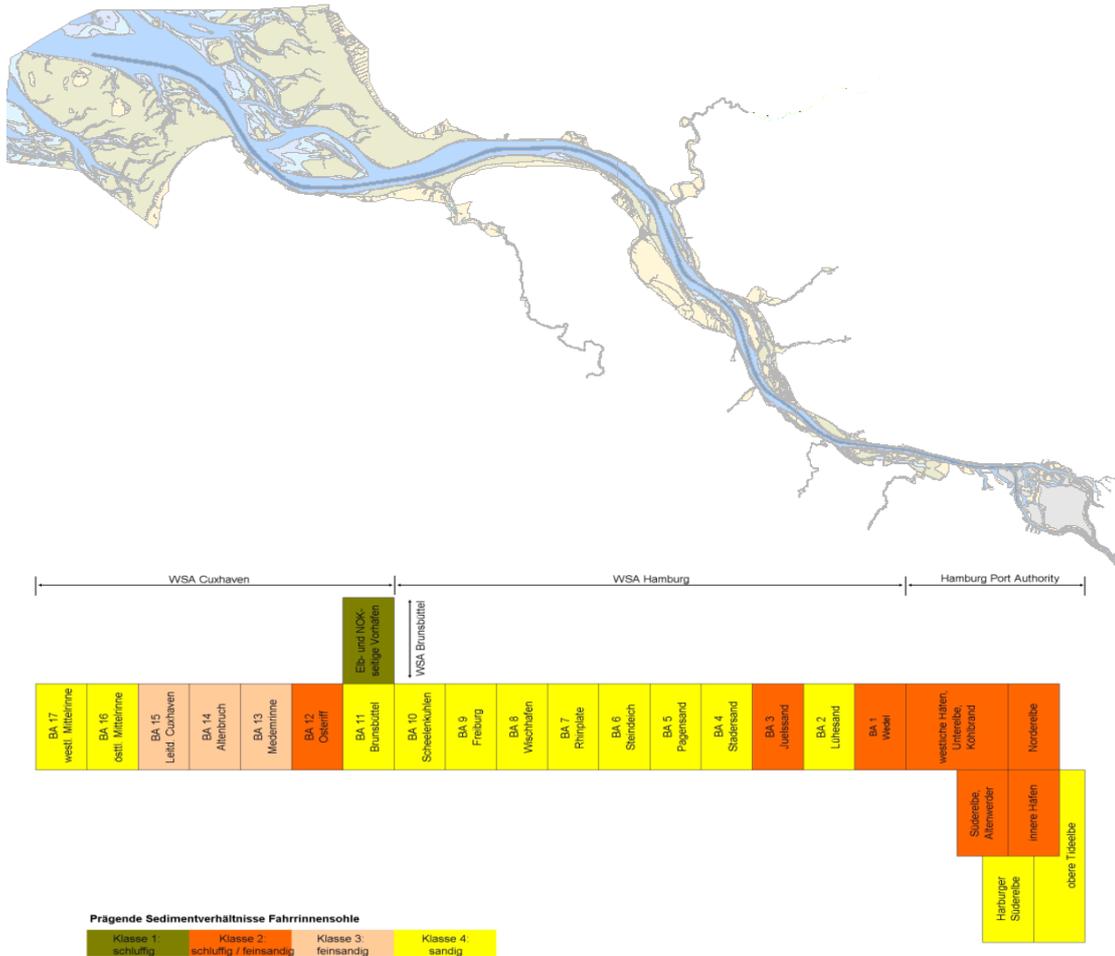


Abbildung 5: Sedimentbeschaffenheit im Bereich der Elbe (Winterscheid et al 2014)



Abbildung 6: Peilschiff Wedel des WSA Hamburg

2.2 Empfohlene Sofortmaßnahmen der BfG (Juli 2015)

Bedingt durch die örtlich und zeitlich stark variierenden Wasserschallverhältnisse hat die BfG nach der Abnahme des neuen hydrografischen Vermessungssystems des PS Wedel die folgenden

Sofortmaßnahmen empfohlen:

- a) Einschränkung der nach außen gerichteten Öffnungswinkel der Backbord- und Steuerbordtransducer auf 65° bzw. auf 60° in Gebieten mit Weichsedimenten
- b) Die Länge der einzelnen Messstreifen auf etwa 2-3km reduzieren und die einzelnen Blattsnitte in die entsprechenden Teilmessgebiete aufteilen
- c) Zu Beginn der Messung sollte in der Mitte des etwa 2-3km langen Messstreifens ein Wasserschallprofil gemessen werden
- d) In der Mitte der Messstreifen sollte ein Querprofil relativ zur späteren Hauptmessrichtung gemessen werden
- e) Die einzelnen Messstreifen in Hauptmessrichtung sollten direkt nebeneinander mit einer Überlappung von 50% gemessen werden. Der Zentralbereich unter dem Peilschiff sollte in etwa dem äußeren Rand des vorangegangenen Messstreifens entsprechen. Die Messstreifen sollten von einer Fahrrinnenseite zur anderen Fahrrinnenseite erfolgen.
- f) In der Erfassungssoftware (hier QINCY) sollten einzelne Darstellungen (Mittelwert, Differenz, Standardabweichung, Maxima und Minima der Maschen sowie die Schummerungsdarstellung) so konfiguriert werden, dass bereits geringe Abweichungen erkannt werden können.
- g) Im Fall größerer Abweichungen ist ein Wasserschallprofil zu messen. Weiterhin sind Wasserschallprofile nach Bedarf, spätestens am Ende der Messung des max. 2-3km langen Teilgebietes zu messen.
- h) Zum Abschluss ist im ersten Drittel und im letzten Drittel des Teilmessgebiets jeweils ein Kontrollprofil quer zur Hauptmessrichtung zu messen.

2.3 Grundlagen der hydroakustischen Messverfahren

2.3.1 Einstrahlecholot

Das Funktionsprinzip eines Echolots basiert auf Laufzeitmessungen von Schallimpulsen durch das Wasser. Voraussetzung hierfür sind Reflektionen der Schallimpulse an „akustischen Sprungschichten“ bzw. Schichten mit einer starken Änderung der akustischen Impedanz. Letzteres hängt von der Dichte und der Schallgeschwindigkeit sowie von der Schallfrequenz ab. Praktisch bedeutet dies, dass unterschiedliche Schallfrequenzen verschieden weit in den Boden eindringen bzw. unterschiedliche „Horizonte“ erfasst werden. Exemplarisch sind in Abbildung 7 die Horizonte der Frequenzen 15kHz und 200kHz dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass zwischen beiden „Horizonten“ eine Differenz von 1,5 m – 2,0m vorhanden ist.

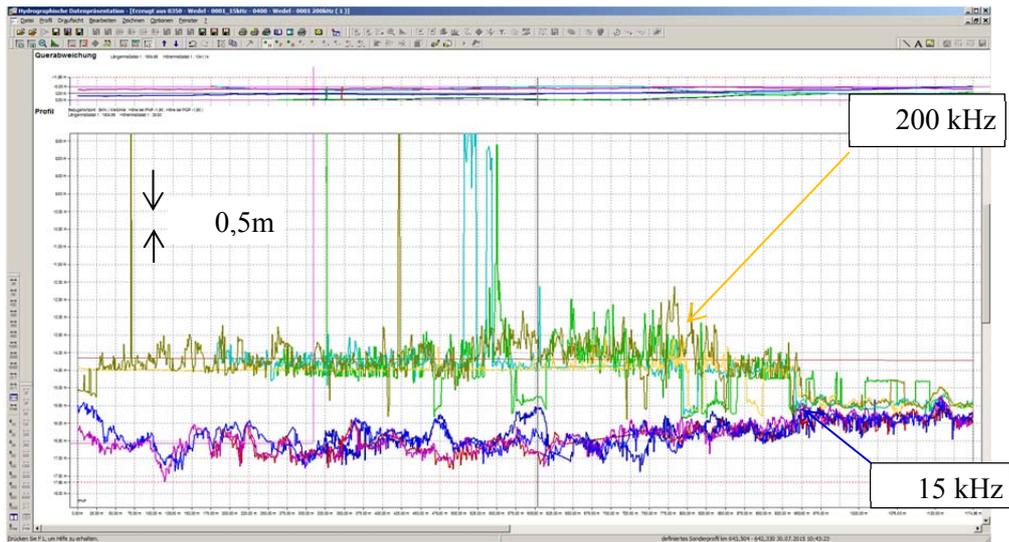


Abbildung 7: Längsprofil im Bereich des Sedimentfangs (Lage: siehe Abbildung 8)

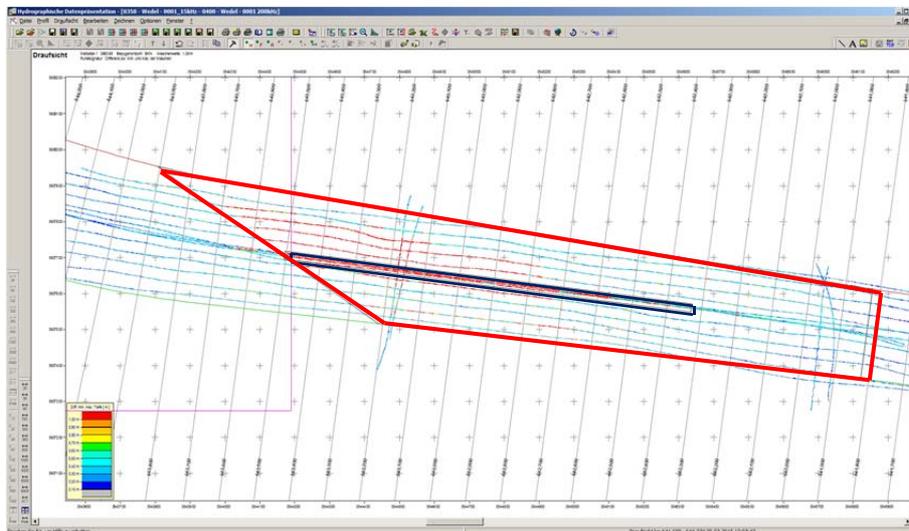


Abbildung 8: Differenzen zwischen 15 kHz und 200 kHz Beobachtungen im Bereich des Sedimentfangs Wedel (km 641,8 - 644,0, 30.07.2015)

Ergänzend zur Abbildung 7 sind in Abbildung 8 die Differenzen im Grundriss, sowie die Lage des Sedimentfangs dargestellt. Ursache der dargestellten Differenzen ist die Beschaffenheit des Gewässerbodens. Es ist davon auszugehen, dass im Bereich des Sedimentfangs sehr weiches Sediment bzw. „fluid mud“ – ähnliches Material vorhanden ist. Dem entsprechend dringen die unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich in das Material ein und es werden unterschiedliche Tiefenhorizonte erfasst.

2.3.2 Fächerecholot

Ähnlich dem normalen Einstrahlecholot basiert das Fächerecholot ebenfalls auf Signallaufzeiten von Schallimpulsen durch das Wasser. Prinzipiell basiert eine Fächerlotmessung auf einer Art „gerichteten Hören“. Ein vom Fächerlot ins Wasser abgesonderter Schallimpuls wird vom Gewässerboden mehr oder weniger stark reflektiert und von Hydrophonen wieder empfangen. Über die Laufzeit lässt sich dabei eine Streckeninformation ableiten. Bei einem Fächerlot wird der

Impuls von einem Array von Hydrophonen empfangen, wobei der Impuls von den einzelnen Hydrophonen leicht zeitversetzt empfangen wird (Wirth, 2011). Dieser Zeitversatz resultiert aus einer Streckendifferenz, die über den Beamwinkel charakterisiert werden kann (vgl. Abbildung 9). Entscheidend für den korrekten Beamwinkel ist die exakte Wasserschallgeschwindigkeit an der Transduceroberfläche. Diese wird üblicherweise über kontinuierlich arbeitende Wasserschallsonden erfasst und in Echtzeit bereitgestellt.

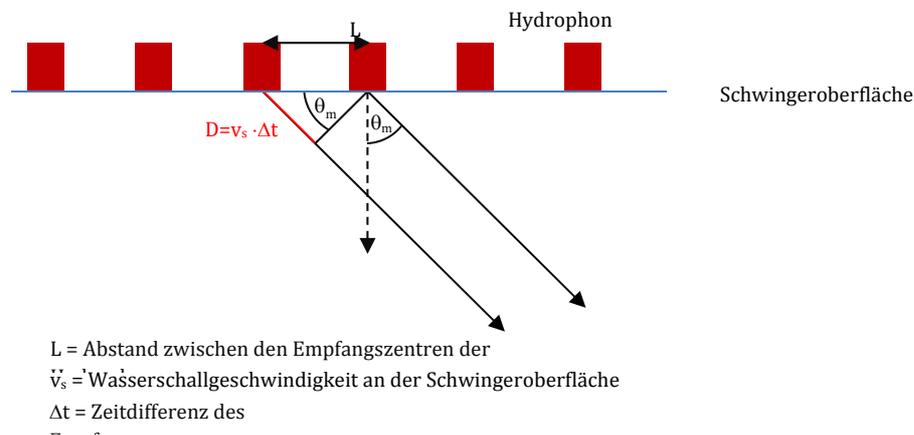


Abbildung 9: Ableitung des Beamwinkels am Schwinger nach [Hare,1995]

Problematisch bei dem Messprinzip ist die exakte zeitliche Zuordnung des Rückkehrimpulses bzw. die Ableitung der Zeitdifferenzen Δt . Innerhalb des Fächerlotsystems werden firmenspezifische Algorithmen angewendet, die Beamwinkel und Range aus den reinen Rohbeobachtungen ableiten. Neben den beiden Beobachtungsgrößen Beamwinkel und Range werden dabei noch weitere Parameter wie etwas Qualitäts- und Intensitätsinformationen abgeleitet.

Ändert sich die Dichte in Richtung der Gewässersohle „schleichend“, fehlt die „Sprungschicht“ und damit die Reflektion. Insbesondere bei schräg eintreffenden Signalen und damit bei großen Beamwinkeln treten dadurch verursachte Probleme auf.

Die Auswirkungen sind exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt. Die Abbildung zeigt Fächerlotbeobachtungen relativ zum Beamwinkel. In diesem Beispiel sind im Bereich der äußeren Beamwinkel bei dem rot dargestellten Steuerbord Transducer sehr große Differenzen vorhanden.

Prinzipiell liefert ein Fächerlot nur Koordinaten der Gewässersohle relativ zu einem internen Koordinatensystem. Der Erfassungsvorgang der Gewässersohle mithilfe eines Fächerlots lässt sich in zwei Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt beinhaltet die eigentliche Messung des Fächerlots bzw. die Ableitung von Polarkoordinaten (Beamwinkel und Range) relativ zum Bezugssystem des Schwingers. Im zweiten Abschnitt werden die so erfassten Polarkoordinaten unter Nutzung weiterer Informationen wie etwa den Einmessungsergebnissen, Positionierungs- und Orientierungsinformationen in Koordinaten der Gewässersohle überführt.

Auf das Peilschiff Wedel des WSA Hamburg ist ein Fächerlotsystem vom Typ Kongsberg EM2040C und alle für den Betrieb nötigen weiteren Messsysteme installiert. An Bord des Messschiffs erfolgt eine Sensorfusion in der Art, dass die Rohbeobachtungen des Fächerlots mit weiteren Beobachtungen zu Koordinatentripeln der Gewässersohle verarbeitet werden. Bei den hier

genannten weiteren Beobachtungen handelt es sich im Wesentlichen um:

- a) Beobachtungen der Position und Orientierung (GNSS-Antennenposition, Roll-, Pitch und Headingwinkel) sowie deren Unsicherheiten
- b) Einmessungsergebnisse aller weiteren Sensoren sowie deren Unsicherheiten
- c) Wasserschallprofile sowie deren Unsicherheiten.

2.4 Filteralgorithmen

Zur Steuerung des Fächerlots wird die Kongsberg Software SIS eingesetzt. Neben der Ansteuerung des Fächerlots findet innerhalb dieser Software die Signalverarbeitung des Fächerlots statt. Neben SIS ist an Bord noch die Software QPS QINCY installiert. In QINCY findet die Ableitung der Koordinatentripel der Gewässersohle statt. Die Software bietet die Möglichkeit, die eingehenden Beobachtungen in Bezug auf bestimmte Größe zu filtern bzw. Schranken einzubauen. Werden entsprechende Schranken überschritten, gilt die betreffende Beobachtung als nicht valide und wird im Folgenden nicht weiter genutzt.

Filter auf Basis geometrischer Größen geben bestimmte Intervalle für Wassertiefen, Streckenmessungen oder Beamwinkel vor. Liegen Beobachtungen außerhalb entsprechender Grenzen, werden die Beobachtungen verworfen.

Neben diesen rein geometrischen Filtern bietet QINCY noch die Möglichkeit, Filterungen aufgrund weiterführender Informationen aus SIS durchzuführen. Dazu zählen insbesondere Intensitäts- und Qualitätsinformationen, die für jede einzelne Messung von SIS an QINCY übergeben werden.

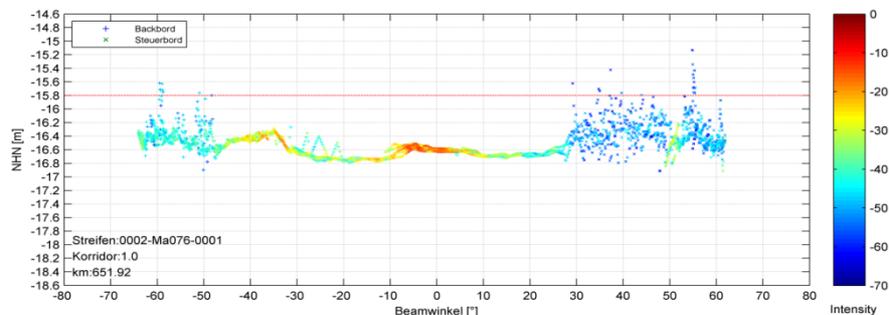


Abbildung 10: Farbcodierte Intensity Werte eines Fächers (April 2016, km 651,92)

Die Intensitätsinformationen, in QINCY als Intensity bezeichnet, ist ein Maß für die Rückstreueenergie bzw. der Wert spiegelt die Intensität/Dämpfung des empfangenen Impulses gegenüber dem ausgesendeten Impuls wieder. Dieser kann ebenfalls zur Bewertung der Qualität herangezogen werden. Naturgemäß weisen Messungen am äußeren Rand des Fächers geringere Intensitäten auf, als dies im Zentralbereich der Fall ist. Im Fall der Systemkonfiguration des PS Wedel (Kongsberg EM2040C + SIS + QPS QINCY) werden für die Intensität negative Werte ausgegeben. Je größer der Betrag bzw. je kleiner der negative Intensitätswert ist, desto schlechter ist die Messung. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 10. In dieser Abbildung sind die Intensity Werte im Zentralbereich rötlich dargestellt (was einer relativ geringen Dämpfung entspricht), wohingegen die äußeren Bereiche bläulich (=größere Dämpfung) dargestellt sind. Weiterhin geht

aus der Abbildung hervor, dass offensichtliche Fehlmessungen dunkelblau sind und damit eine große Dämpfung aufweisen.

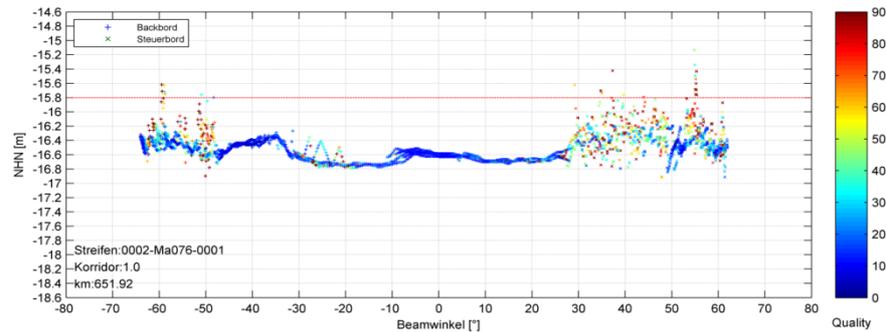


Abbildung 11: Farbcodierte Quality Werte eines Fächers (April 2016, km 651,92)

Der Qualitätsfaktor (Quality) errechnet sich im Fall des Kongsberg EM2040C aus dem Verhältnis zwischen der geschätzten Standardabweichung der Streckenmessung $est(s_R)$ und der eigentlichen Strecke R nach der Formel:

$$QF = 2500 * \left(\frac{est(s_R)}{R} \right)$$

Die Formel wurde der BfG von Kongsberg Maritime GmbH auf Nachfrage mitgeteilt. Die Schätzung der Standardabweichung der Streckenmessung erfolgt im Rahmen der Signalprozessierung innerhalb des Fächerecholotsystems. Bei einer gemessenen Range von 49m ($\sim 70^\circ$ Öffnungswinkel bei 18m Wassertiefe) ergibt sich bei einer geschätzten Unsicherheit der Streckenmessung von 0,2m von ein Qualitätsfaktor von 10,2. Der Qualitätsfaktor nimmt mit schlechter werdender Signalqualität zu. Gute Beobachtungen weisen folglich einen geringen Qualitätsfaktor auf. In Abbildung 11 sind die Qualitätsformationen farbcodiert dargestellt. Daraus geht hervor, dass die rötlich dargestellten Messwerte (großer Quality-Wert = schlechte Beobachtung) tendenziell unzuverlässig sind. Aus den Abbildungen geht hervor, dass die unzuverlässigen Beobachtungen im Allgemeinen auch schlechte Intensity und Quality Werte aufweisen. Diese beiden genannten Parameter aus der Signalverarbeitung sind insofern sehr interessant, da diese nicht geometrischer Natur sind, sondern vielmehr eine Qualitätsinformationen über die Messungen als solche wiedergeben. Praktisch bedeutet dies, dass „schlechte“ Messwerte mithilfe dieser Parameter besser detektiert bzw. bereits während der Erfassung gefiltert werden können

In Abbildung 12 sind die Beobachtungen eines Querprofils mit farbcodierten Messstreifen dargestellt. Die Messung stammt aus dem April 2016 und beschreibt das Querprofil bei km 641,86. Aus der Abbildung geht hervor, dass dieses Profil aus sieben Messstreifen besteht und tendenziell in den Randbereichen der Messstreifen Probleme auftreten.

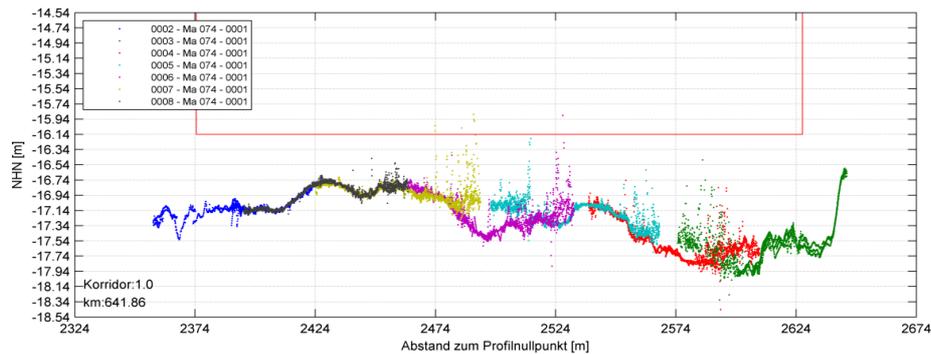


Abbildung 12: Beobachtungen eines vollständigen Querprofils bei km 641,86 (April 2016)

Werden die Intensity und Quality Werte farbcodiert dargestellt, ergeben sich die Abbildung 13 und Abbildung 14.

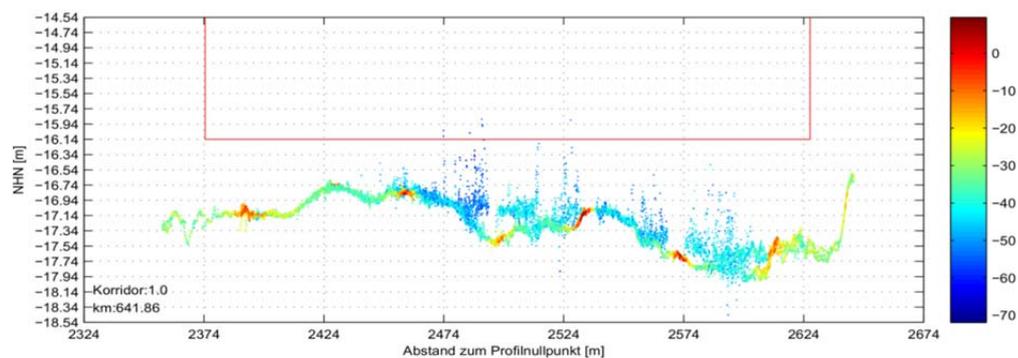


Abbildung 13: Intensity Information (farbcodiert) eines Querprofils bei km 641,86 (Apr. 2016)

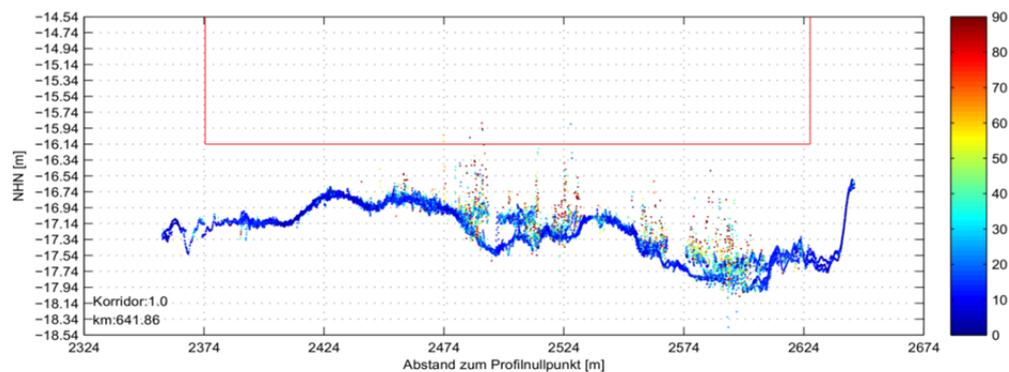


Abbildung 14: Quality Information (farbcodiert) eines Querprofils bei km 641,86 (Apr. 2016)

Eine flächenhafte Darstellung entsprechender Informationen erfolgt in Abbildung 15 bis Abbildung 17. In Abbildung 15 sind die Maschendifferenzen (Differenz minimaler und maximaler Wert innerhalb einer Masche) einer Messung im Bereich des Sedimentfangs Wedel dargestellt. Aufgrund der großen Streuung der Messungen ergeben sich im Sedimentfang sehr große Maschendifferenzen. Die Konturen des Sedimentfangs zeichnen sich in der Abbildung sehr deutlich ab. Ergänzend dazu sind in Abbildung 16 die Intensity und in Abbildung 17 die Quality Werte dargestellt. Die Lage des Sedimentfangs ergibt sich analog aus den Daten. Die Messungen im Bereich des Sedimentfangs weisen sehr große (und damit schlechte) Quality Werte und sehr starke Dämpfungen (negative Intensitywerte) auf. Die Messungen innerhalb des Sedimentfangs

sind damit qualitativ minderwertiger.

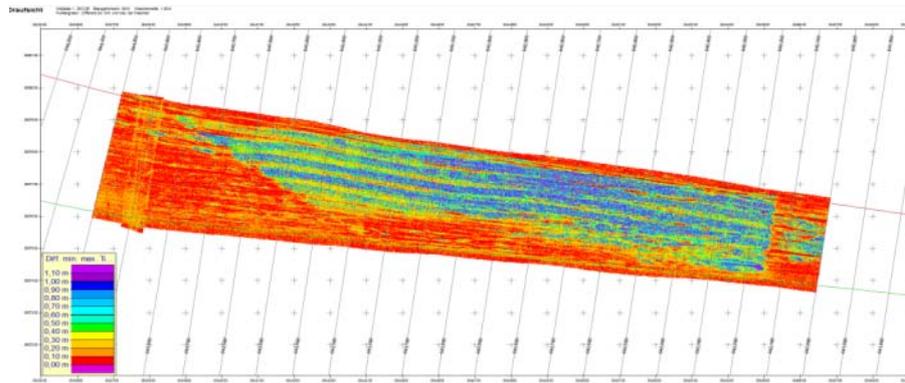


Abbildung 15: Darstellung der Maschendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)

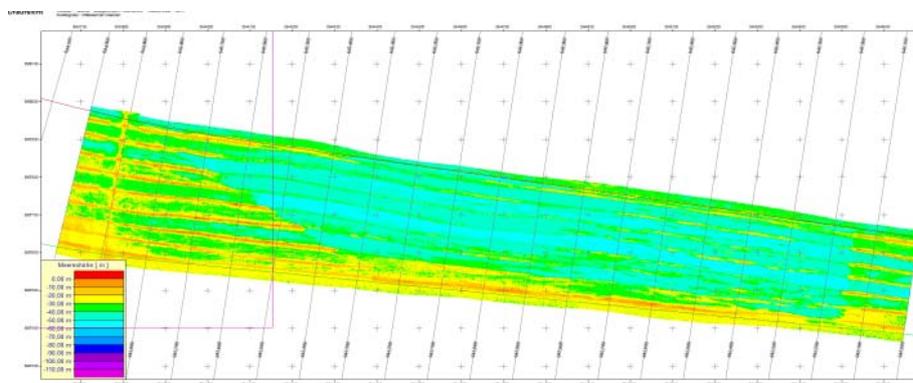


Abbildung 16: Flächenhafte farbcodierte Darstellung der Intensitiv Werte im Bereich Wedel (Apr. 2016)

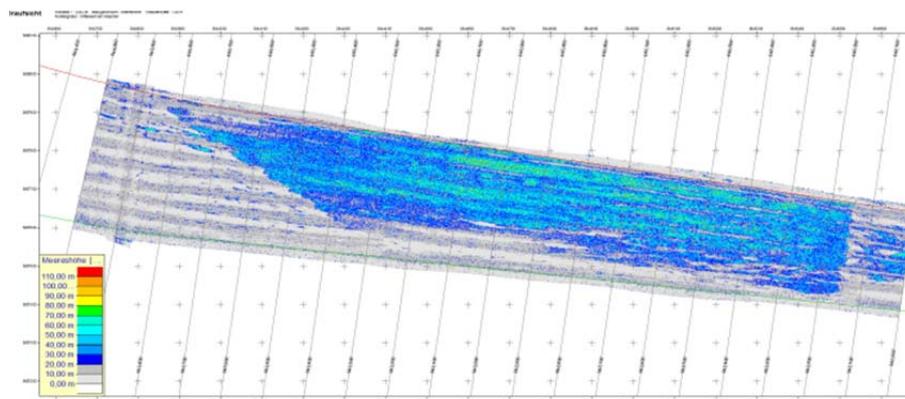


Abbildung 17: Flächenhafte farbcodierte Darstellung der Quality Werte im Bereich Wedel (Apr. 2016)

Eine weitere Möglichkeit ist die Filterung nach Fehlerwerten (Total Propagated Uncertainties/Errors, TPU oder TPE). Auf Basis der hinterlegten Systemkonfiguration (Position und Orientierung der Sensoren rel. zum Schiff), der Unsicherheiten der Einmessung, der Unsicherheiten der eigentlichen Sensoren sowie der tatsächlichen Messwerte erfolgt eine kontinuierliche Abschätzung von TPU-Werten für Lage und Höhe. Beim Überschreiten von definierten Grenzwerten, werden die Messungen als Fehlmessungen interpretiert. Die TPU-Filterung basiert auf gerechneten TPU-Angaben in Lage und Höhe, die sich aus der aktuellen

Messkonfiguration in Verbindung mit den tatsächlichen Messwerten ergeben. Die Signalqualität fließt dabei nicht mit ein.

Zusammenfassend sind in Abbildung 18 sind die Einstellmöglichkeiten von QINCY dargestellt. Die rot eingerahmten Filter beschreiben geometrische Filter. Grün umrandet sind die Einstellmöglichkeiten für Quality- und Intensity- Werte wohingegen blau die TPU Filterung definiert.

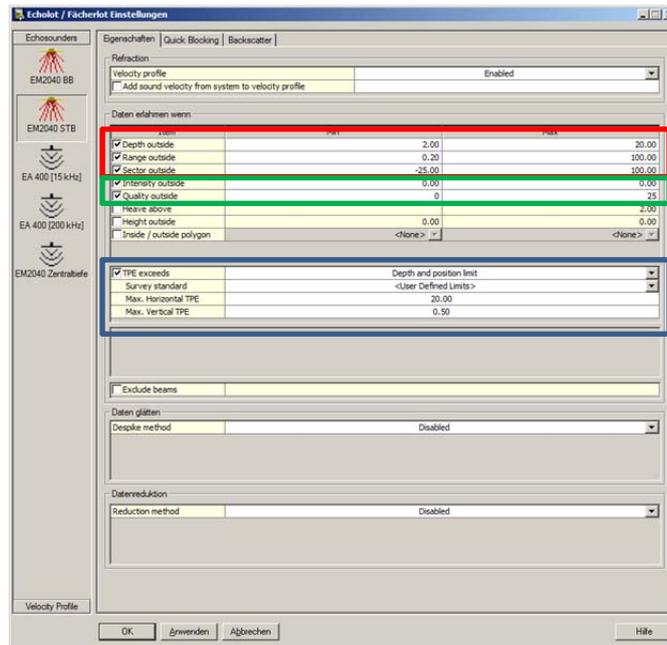


Abbildung 18: Filtereinstellungen bei QINCY (rot: geometrisch, grün Intensity- und Quality, blau: TPU Grenzen)

Diese Filterung ist Kern der Lösungsstrategie. Mit QINCY ist es möglich, dass nur die Messungen weitergeführt werden, die bestimmten qualitativen Anforderungen entsprechen. In den Anzeigen des Messsystems an Bord werden – sofern das System korrekt konfiguriert ist – auch nur die validen Messungen angezeigt. Treten in einem bestimmten Bereich sehr viele schlechte Messungen auf, kann dies vor Ort erkannt werden und die Messung unter Nutzung eines anderen Beamwinkels (z.B. Erfassung mit dem Zentralbereich unter dem Schiff) direkt wiederholt werden.

2.5 Fehlerbetrachtung

Ausgehend von der Form des Peilschiffs Wedel, der Lage bzw. Einbaurichtungen der Sensoren sowie deren Unsicherheiten lassen sich theoretische, zu erwartende Fehlermaße ableiten. Mithilfe der Fehlermaße kann abgeschätzt werden, welche Unsicherheiten im Normalfall zu erwarten sind und wann anormale Peilungen vorliegen. Die Ableitung Filtermöglichkeiten in QINCY basieren auf vergleichbaren Werten. In dem BfG Bericht 1734 „Messunsicherheiten in der Gewässervermessung“ sind Algorithmen zur Ableitung der Kombinierten Standardunsicherheit von Beobachtungen der Gewässervermessung auf Basis der Unsicherheiten der einzelnen Komponenten des hydrografischen Messsystems dargestellt. Die Algorithmen in dem Bericht basieren auf dem Ansatz von Rob Hare (1995) und wurden z.T. erweitert. In Kapitel 5 „Vereinfachte Berechnung der Varianz der Tiefenmessung und Ortung“ und in Kapitel 6

„Genauigkeitsangaben“ sind Formeln zur Ableitung der Kombinierten Standard Unsicherheit (KSU) der Koordinaten hinterlegt. Die KSU werden auch aus TPU oder TPE bezeichnet. In die Berechnung der KSU fließen neben den Unsicherheiten der einzelnen Sensoren auch Positionen der Sensoren in Bezug auf das Schiffssystem sowie bestimmte schiffsspezifische Parameter wie etwa die Geschwindigkeit über Grund, die Rollrate, Pitchrate und weitere Parameter ein. Ausgehend von den in Tabelle 10 genannten Einbaumaßen, sowie der in Tabelle 11 genannten Unsicherheitsangaben ergeben sich für das PS Wedel die in Abbildung 19 dargestellten TPU für die Positionskomponente, sowie die in Abbildung 20 dargestellten TPU für die Tiefenmessung. Grundlage der Berechnungen ist eine Wassertiefe von 17,6m über Grund. Aus den Abbildungen geht hervor, dass die Anforderungen der Tiefenmessgenauigkeit ohne Probleme auch bei einem Öffnungswinkel von ca. 70° erreicht werden können. Problematischer sind die Anforderungen der Lagegenauigkeit. Diese werden nur bis zu einem Öffnungswinkel von ~67° erreicht.

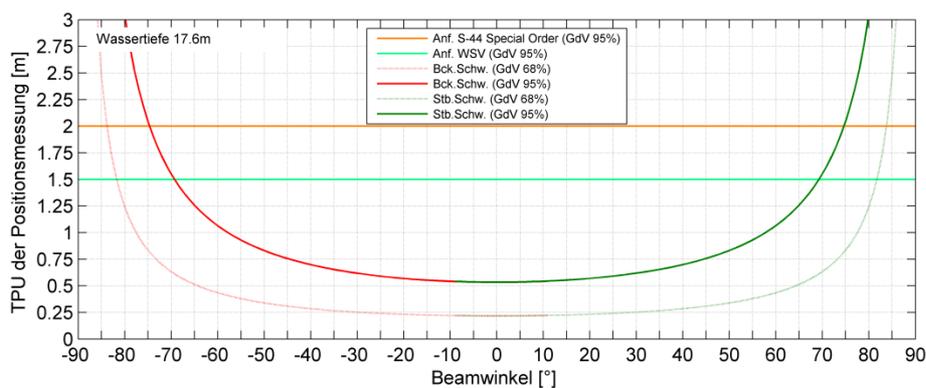


Abbildung 19: Resultierende KSU (TPU) – Lage (PS Wedel, angenommene Wassertiefe 17,6m)

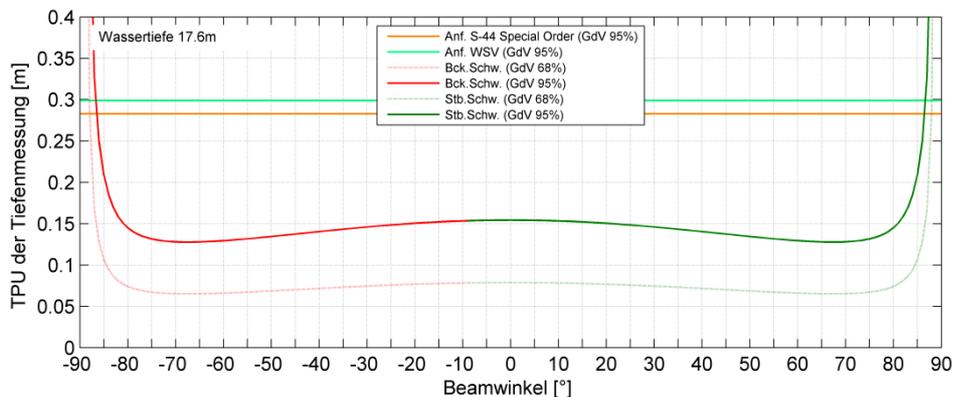


Abbildung 20: Resultierende KSU (TPU) - Tiefe (PS Wedel, angenommene Wassertiefe von 17,6m)

Gem. IHO Special Order S-44 ergibt sich die maximal zulässige Unsicherheit der Tiefe nach:

$$u_v = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \text{ mit } (a=0,25\text{m } b=0,0075 \text{ und } d= 17,6\text{m} \rightarrow \sim 0,28\text{m})$$

Für die Tiefe wird eine maximal zulässige Unsicherheit von 2m für „special order“ genannt. Innerhalb der WSV sind die Angaben verschärft. Die max. zulässige Unsicherheit der Tiefe ergibt sich aus der oben genannten Formel in Verbindung mit a=0,14m und b=0,015. Bei einer Wassertiefe von 17,6m ergibt sich dabei eine max. zulässige Unsicherheit von 0,299m.

Die max. zulässige Unsicherheit der Lage für die WSV ergibt sich wie folgt:

$$u_H = \sqrt{(a^2 + (b \cdot d)^2)} \quad (a=0,3\text{m}, b=0,15 \text{ und } d= 17,6\text{m} \rightarrow \sim 2,66\text{m})$$

oder eine Anforderung von mind. 1,5m. In diesem Fall ist die Minimalanforderung von 1,5m kleiner als die errechneten 2,66m, weshalb die 1,5m hier anzuhalten sind.

Die abgeleiteten Kombinierten Standardunsicherheiten ändern sich mit den Wassertiefen. Auf Basis der im Revier des WSA Hamburg liegenden Pegel lassen sich Aussagen zum Mittleren Tideniedrigwasser (MTnw) und mittleren Tidehochwasser (MThw) treffen. Aus den Daten ergibt sich, dass die festgelegte Fahrrinne etwa 17,6m unterhalb der Wasseroberfläche liegt.

Weiterführende Angaben sind in Tabelle 12 bzw. im Anhang A, Kapitel 9.1 hinterlegt.

2.6 Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit

Korrekte Annahmen zur Wasserschallgeschwindigkeit stellen eine wesentliche Voraussetzung zur korrekten Bestimmung der Gewässersohle dar. Der Einfluss tritt an verschiedenen Stellen auf. Während der Ableitung des Beamwinkels werden Informationen zur Wasserschallgeschwindigkeit benötigt (vgl. Abbildung 9). Aufgrund der Sensibilität des Erfassungsprozesses in Bezug auf die Wasserschallgeschwindigkeit an der Transduceroberfläche erfolgt bei den in der WSV eingesetzten Peilschiffen eine kontinuierliche Erfassung der Wasserschallgeschwindigkeit an dieser Stelle mit einer hohen Genauigkeit. Im Folgenden wird dieser Einfluss nicht näher betrachtet.

Neben der Wasserschallgeschwindigkeit an der Transduceroberfläche spielt die Wasserschallgeschwindigkeit innerhalb der Wassersäule eine entscheidende Bedeutung. Aufgrund von Laufzeitverzögerungen und Brechungseffekten sind resultieren aus falschen Annahmen zur Wasserschallgeschwindigkeit Fehler in Lage und Höhe. Eine vollständige Auswertung zu diesem Thema erfolgt im Anhang B (Kapitel 9.2). Im Rahmen der Peildatenerfassung erfolgt üblicherweise eine Erfassung des Wasserschallprofils (sound velocity profile SVP) in regelmäßigen Abständen. Die Daten des erfassten Profils dienen der Korrektur der Beobachtungen bis zum nächsten Profil. Ändert sich zwischen zwei Messungen die Wasserschallgeschwindigkeit entlang des Profils werden die Messdaten falsch korrigiert und Lage- bzw. Höhenfehler sind die Folge.

Für die Änderungen lassen sich zwei Fälle unterscheiden. Eine gleichförmige, tiefenunabhängige Änderung führt zu falschen Strecken und damit verbunden falschen Lage- und Tiefenangaben. Der Einfluss hierbei ist aber eher gering (vgl. Anhang B, Abschnitt 9.2.2.2). Die Auswirkungen auf die Tiefe sind nahezu unabhängig vom Beamwinkel. Der Lagefehler steigt mit zunehmenden Beamwinkel nicht linear an. Im zweiten Fall ändern sich sowohl Betrag wie auch die Schichtung der Wasserschallgeschwindigkeit. Bedingt durch die Schichtung treten an den Schichtübergängen Brechungseffekte auf, die zu wesentlich größeren Abweichungen in Form von Lage und Höhe führen. Exemplarisch sind in Abbildung 21 unterschiedliche Wasserschallprofile einer Messung vom 15.10.2015 dargestellt. Ergänzen sind in Abbildung 22 die resultierenden Abweichungen dargestellt, die sich ergeben würden, wenn die Wasserschallprofile gegenüber der ersten Messung nicht fortgeführt werden würden.

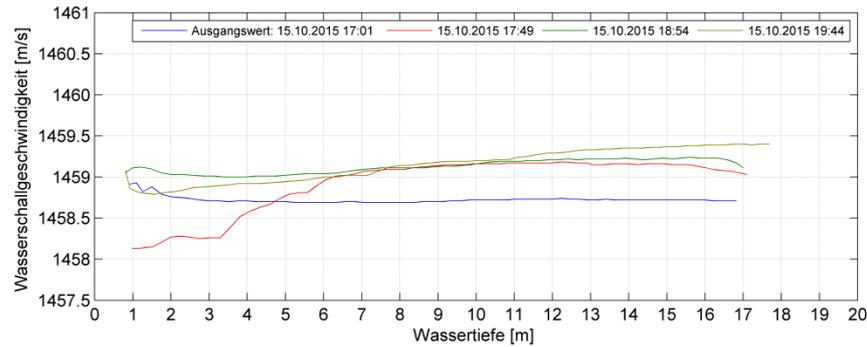


Abbildung 21: Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 3, Juelsand)

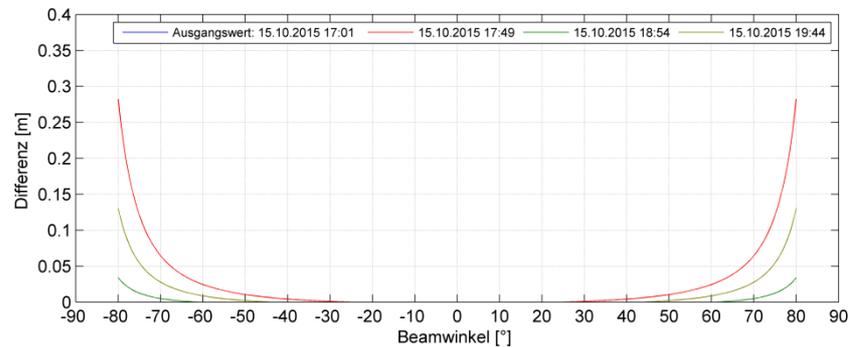


Abbildung 22: Abweichungen aufgrund variierender Wasserschallgeschwindigkeiten

Aus den Abbildungen geht hervor, dass mit bis zu einem Beamwinkel von $\sim 68\%$ die Auswirkungen mit $< 5\text{cm}$ in allen Fällen gering sind. Bei der üblichen Begrenzung des Beamwinkels von 72° ergeben sich in diesem Beispiel maximale Abweichungen von ca. $8,5\text{cm}$ (rote Linie). In diesem Fall ist aber zu beachten, dass zwischen Ausgangsprofil und dem hier rot dargestellten Profil 48 Minuten vergangen sind. Werden die Wasserschalländerungen über die Zeit mithilfe von Dauermessstellen betrachtet, ergeben sich im Untersuchungsgebiet stündliche Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit, deren Beträge im Allgemeinen 1m/s bzw. $0,75\text{m/s}$ nicht überschreiten (Messstelle D1 in Blatt 01 bzw. Messstelle D2 in Blatt 03).

Die Wasserschalländerungen sind abhängig von der Position innerhalb der Tideelbe und der Tidephase. Je näher man sich der Küste bzw. Cuxhaven annähert, umso geringer sind die kurzfristigen Wasserschallvariationen bzw. die Wasserschichtungen. Praktisch bedeutet dies, dass in Blatt 01 größere Variationen innerhalb der Wassersäule auftreten, als dies in Blatt 07 der Fall ist. Infolgedessen treten auch in diesen Blättern größere Unsicherheiten in Lage und Höhe auf. Dementsprechend sind in diesen Bereichen mehr Wasserschallprofilmessungen nötig. Die Frequenz ist dabei abhängig von der Tidephase. In den Zeiten von auflaufenden bzw. ablaufenden Wassers sollte ein Intervall von 1h nicht überschritten werden. Während der Tidescheitel sind größere Intervalle in diesen Bereichen möglich.

Alle weiterführenden Informationen sind im Anhang B (Kapitel 9.2) dargestellt.

3 Verfügbare Messkampagnen

3.1 Messdaten

Den Auswertungen und Schlussfolgerungen dieses Berichts liegen die in Tabelle 1 genannten Messungen zugrunde. Bei den ausgewerteten Bereichen sind die in Tabelle 2 dargestellten Bereichen von besonderem Interesse. Der Bereich des Sedimentfangs ist durch besonders ausgeprägte Fehlmessungen bzw. schwierige hydroakustische Bedingungen geprägt. Im Bereich Juelsand im Blatt 03 treten verstärkt Weichsedimente auf, wobei hier aber an dieser Stelle gegenüber dem Sedimentfang weniger starke Probleme auftreten. Die Verteilung/Ausgestaltung der Weichsedimente ist in Juelsand gegenüber dem Sedimentfang anders und somit weichen deren Auswirkungen in den Messdaten auch von den Auswirkungen in den Messdaten ab. Im Bereich des Blatt 07 treten weniger starke Probleme auf. Die Lage der drei Bereiche ist in Abbildung 23 bzw. in Tabelle 2 dargestellt.

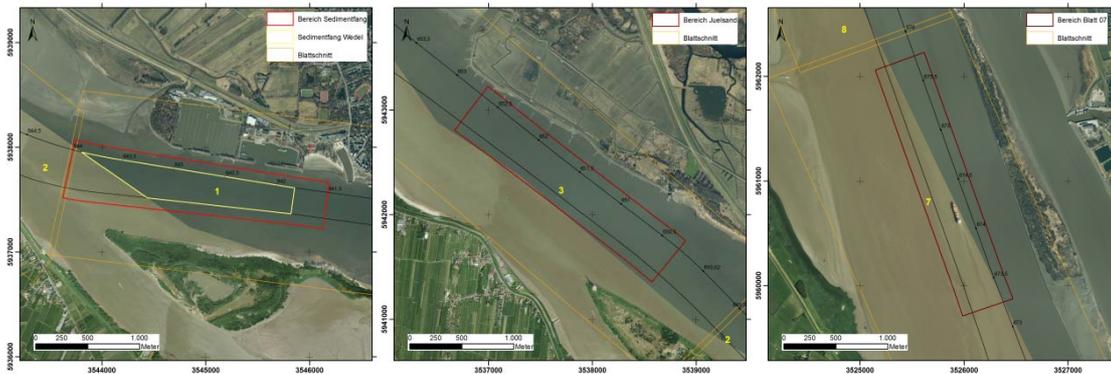


Abbildung 23: Im Rahmen der Auswertung näher betrachtete Abschnitte

Tabelle 1: Der Auswertung zugrunde liegende Messkampagnen

| Kampagne | Zeitraum | Messungen Ausgewertete Bereiche | Datentyp | Bemerkungen |
|---------------------------|-------------|---------------------------------------|------------------|---|
| Abnahme PS Wedel | Juli 2015 | Blatt 3 und Blatt 1 | mbes | nur mbes Daten |
| Verkehrssicherungspeilung | Aug. 2015 | Blatt 01 - 10 | mbes | nur mbes Daten |
| Verkehrssicherungspeilung | Okt. 2015 | Blatt 01,03,07 | mbes + QINCy roh | QINCy Rohdaten weiterführende Aus- wertungen der Signalstärke und Intensität möglich |
| Verkehrssicherungspeilung | Dez. 2015 | Blatt 01,03,07 | mbes + QINCy roh | |
| Verkehrssicherungspeilung | April 20016 | Blatt 01,03,07 | mbes + QINCy roh | |

Tabelle 2: Stromabschnitte der näher betrachteten Bereiche

| Blatt | Bereich | km-von | km-bis | Länge | angenommener Bezugspegel |
|----------|--------------------|--------|--------|-------|--------------------------|
| Blatt 01 | Sedimentfang Wedel | 641,5 | 644 | 2,5 | Schulau |
| Blatt 03 | Juelsand | 650,30 | 652,70 | 2,4 | Lühort |
| Blatt 07 | Fahrwasser | 673,25 | 675,75 | 2,5 | Glückstadt |

Bei den Messdaten handelt es sich um Daten der Peilschiffe Wedel und Uwe Jens Lornsen. Die Messungen im Oktober 2015 erfolgten mit dem Peilschiff Uwe Jens Lornsen vom WSA Tönning. Die Messungen im August 2015, Dezember 2015 und April 2016 wurden mit dem Peilschiff Wedel

erfasst. Für einen Überblick sind in Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 die Wassertiefen der Untersuchungsgebiete dargestellt.

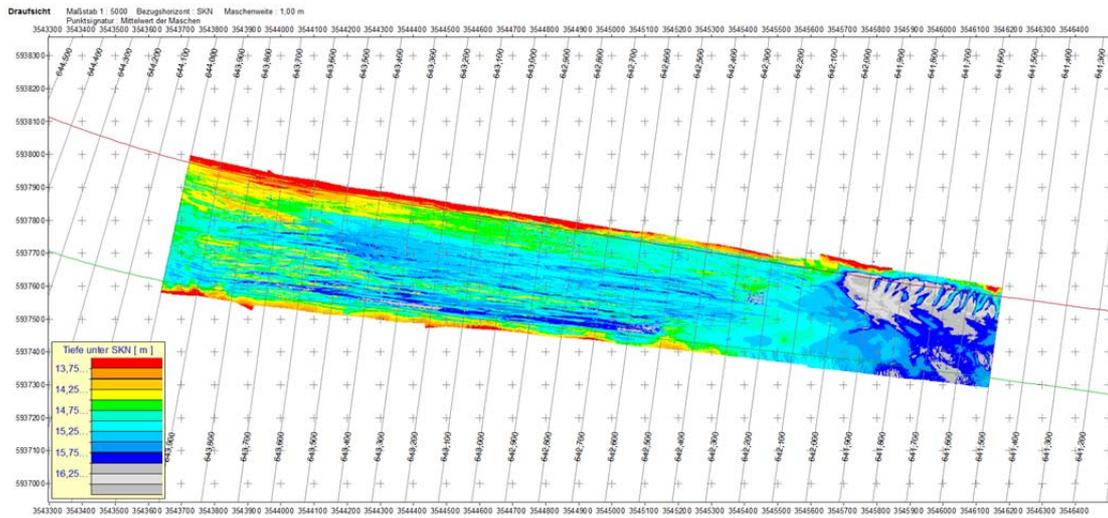


Abbildung 24: Wassertiefen im Bereich Wedel

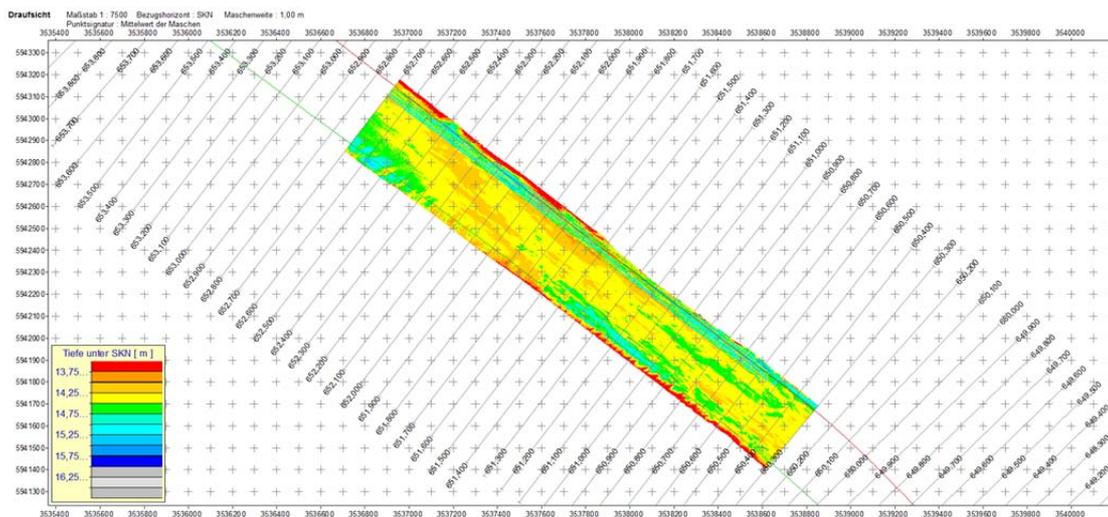


Abbildung 25: Wassertiefen im Bereich Juelsand

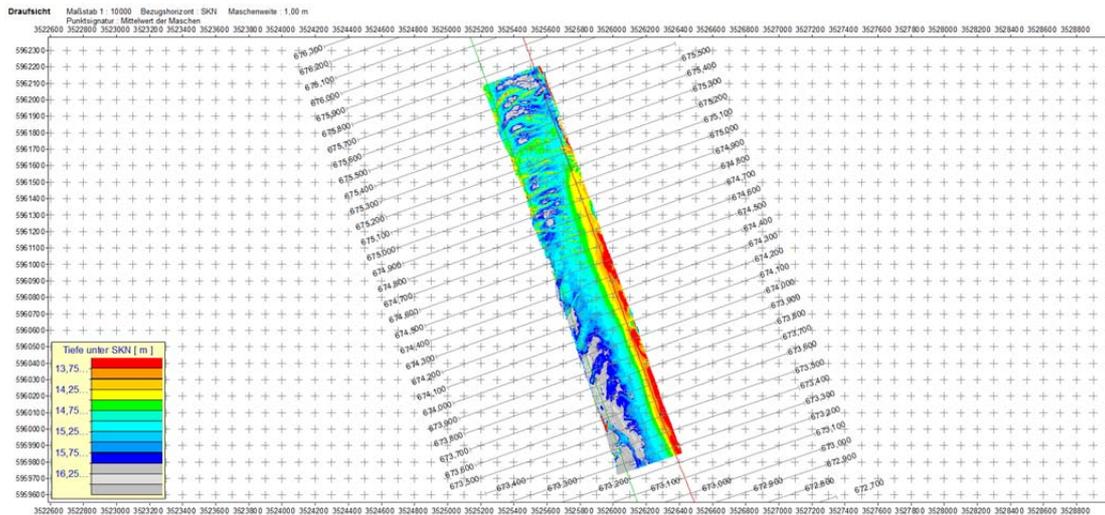


Abbildung 26: Wassertiefen im Bereich Blatt 07

Zur Bewertung der Messungen werden insbesondere die Maschendifferenzen (=Differenz zwischen dem tiefsten und höchsten Wert innerhalb einer Masche) näher betrachtet. In Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29 sind die Differenzen der 1m Maschen der drei Bereiche dargestellt. Die Abbildung 27 zeigt sehr deutlich, dass im Bereich des Sedimentfangs Wedel sehr große Variationen der Messungen vorhanden sind. In der Abbildung zeichnet sich die genaue Lage des Sedimentfangs aus den Maschendifferenzen ab. Im Bereich Juelsand treten während dieser Peilung weniger Probleme auf. Nur im rechten Bereich der Fahrrinne treten größere Maschendifferenzen auf. Punktuell treten auch im Bereich des Blattes 07 einzelne Bereiche mit sehr großen Maschendifferenzen auf.

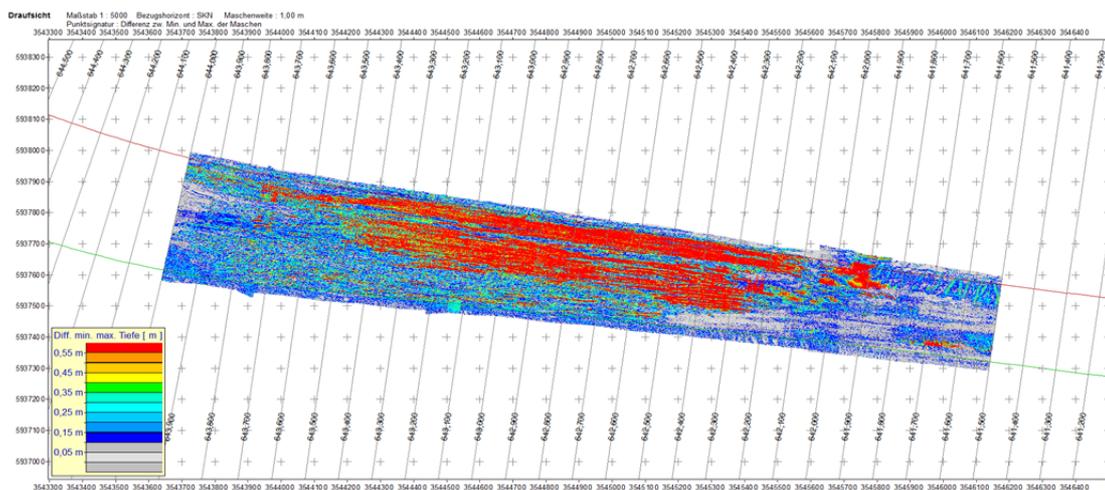


Abbildung 27: Maschendifferenzen im Bereich Wedel (Okt. 2015)

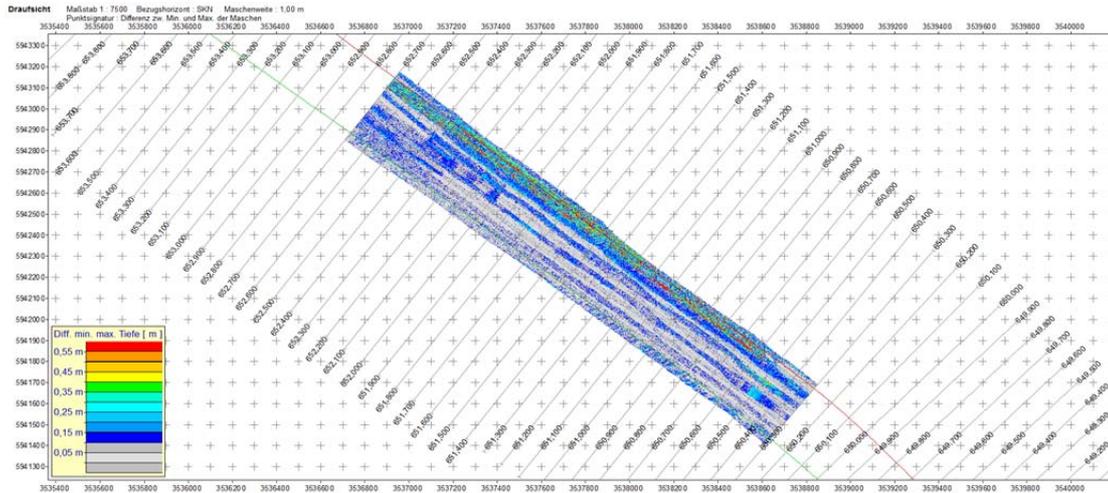


Abbildung 28: Maschendifferenzen im Bereich Juelsand (Okt. 2015)

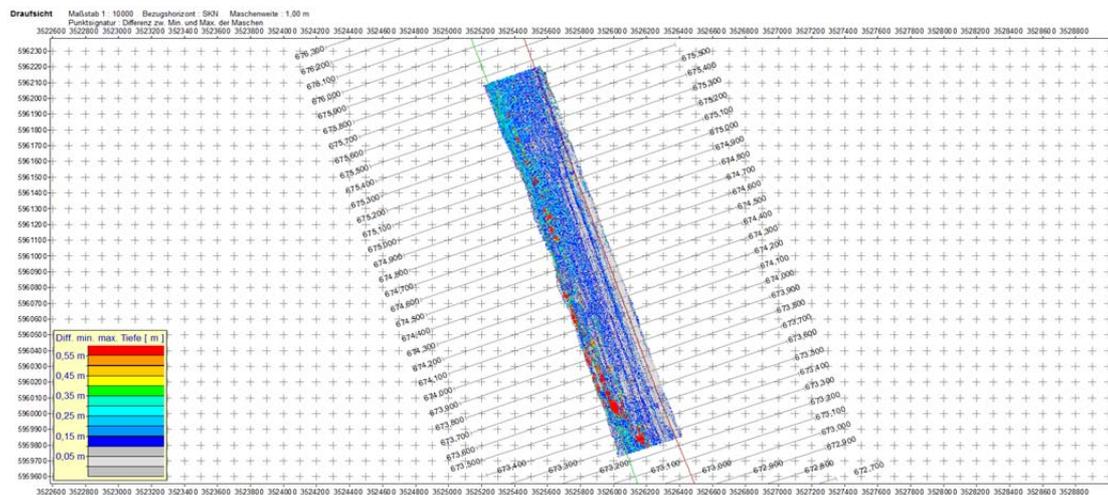


Abbildung 29: Maschendifferenzen im Bereich Blatt07 (Oktober 2015)

Um diese Beobachtungen näher zu quantifizieren, sind in Abbildung 30 die Häufigkeitsverteilungen der Maschendifferenzen innerhalb der näher betrachteten Bereiche dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass im Bereich Wedel etwa 65% aller Beobachtungen eine Maschendifferenz von 0,3m aufweisen bzw. $\pm 0,15m$ von einer wahrscheinlichen Fläche entfernt sind. Im Bereich Juelsand liegen etwa 93% und im Bereich Blatt 07 etwa 92% aller Beobachtungen innerhalb eines 0,3m breiten Bandes.

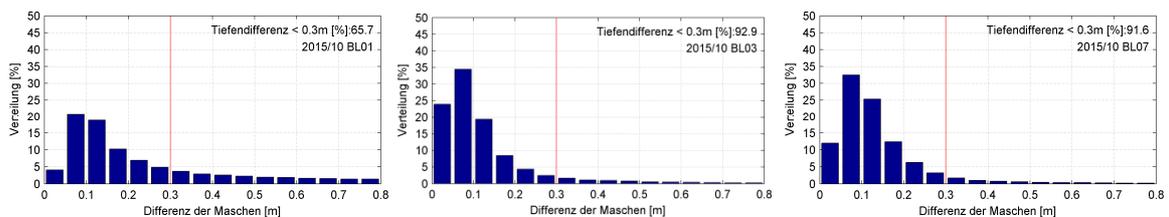


Abbildung 30: Histogramme der Maschendifferenzen (Okt. 2015); Links: Sedimentfang Wedel, Mitte Juelsand, Rechts: Blatt 07

Ein wesentlich anderes Bild ergibt sich bei der Verkehrssicherungspeilung im April 2014. Die Maschendifferenzen sowie die Häufigkeitsverteilungen sind in den folgenden Abbildungen

dargestellt.

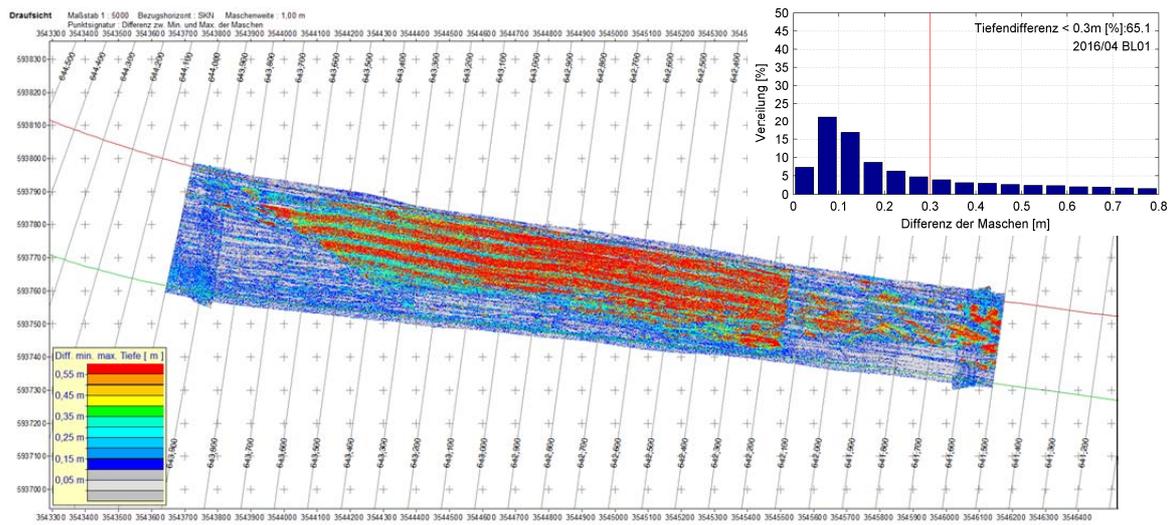


Abbildung 31: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 im Bereich Wedel

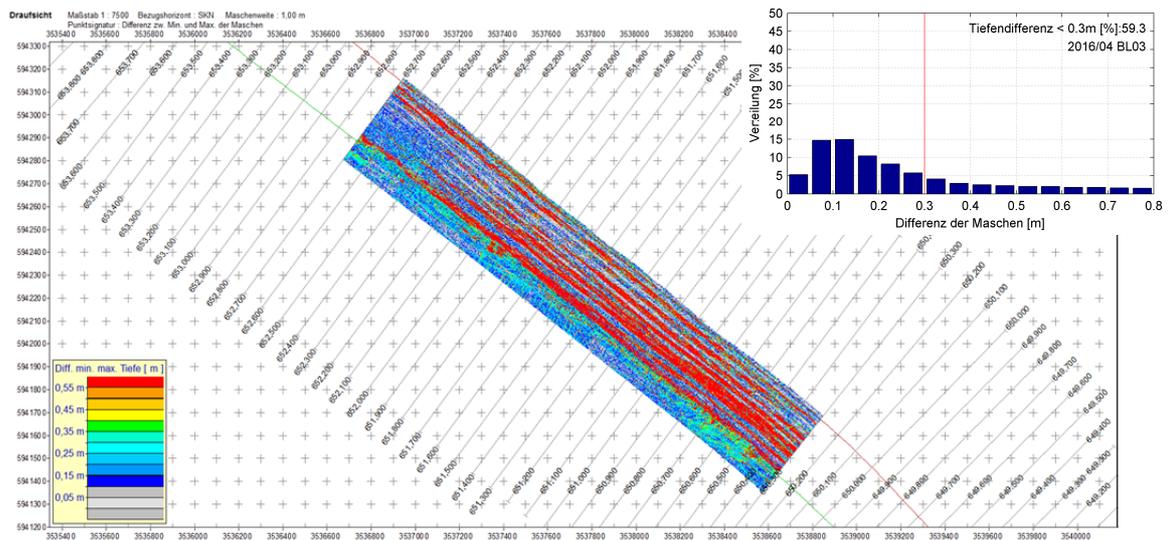


Abbildung 32: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 im Bereich Juelsand

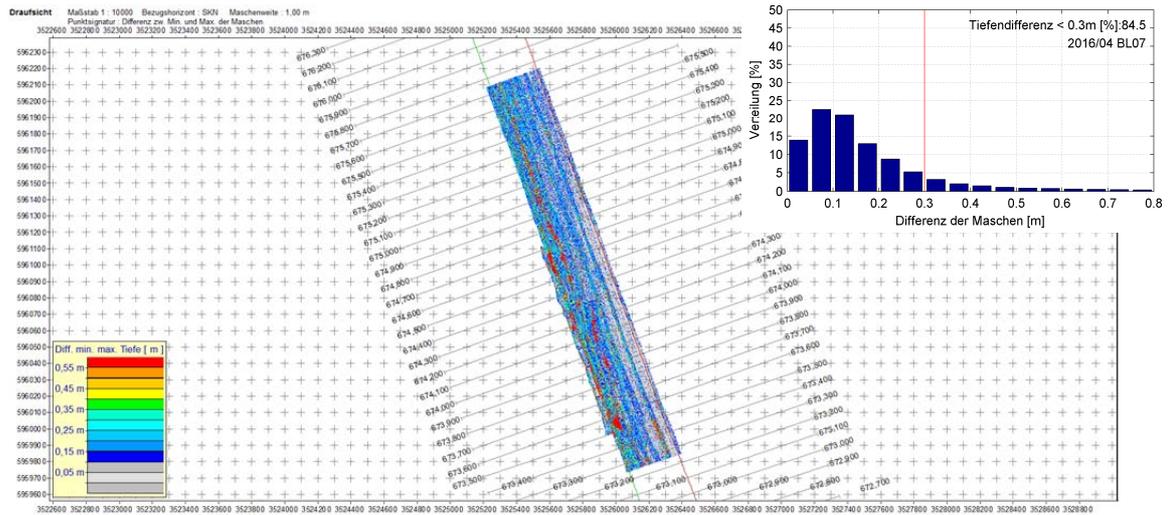


Abbildung 33: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 im Bereich Blatt 07

Abweichend von der Situation im Oktober wird deutlich, dass die Anzahl der Fehlmessungen wesentlich größer war. Deutlich wird dies anhand der Verteilung der Maschendifferenzen. Lagen in Juelsand bzw. in Blatt 07 im Oktober noch über 90% der Beobachtungen innerhalb eines 0,3m breiten Bandes sind es im April 2016 nur noch 85% (Blatt 07) bzw. 59% (Juelsand). Praktisch bedeutet dies, dass die Beobachtungen im April 2016 gegenüber den Beobachtungen im Oktober 2015 wesentliche verrauschter waren. Zusammenfassend für unterschiedliche Messkampagnen sind in Abbildung 34 die Häufigkeitsverteilungen dargestellt.

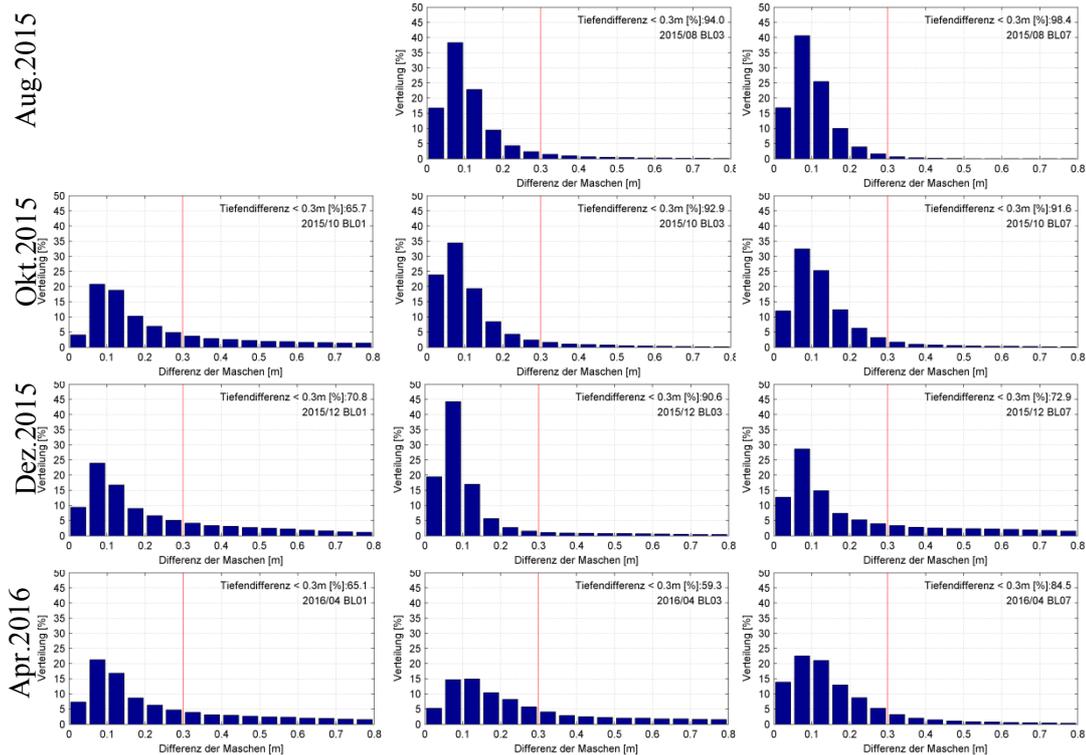


Abbildung 34: Maschendifferenzen während der Verkehrssicherungspeilungen); Links: Sedimentfang Wedel, Mitte Juelsand, Rechts: Blatt 07

Zur Verdeutlichung der Unterschiede sind in den folgenden Abbildungen Messungen für ein Querprofil im Bereich Juelsand bei km 651,70 dargestellt. Aus den Abbildungen geht hervor, dass einzelne Messstreifen im Randbereich erheblich von Nachbarstreifen abweichen. Die entsprechenden Stellen sind mit Pfeilen gekennzeichnet.

Für die Messungen ab Oktober 2015 (Abbildung 36, Abbildung 37 und Abbildung 38) liegen die Zeitdifferenzen in Minuten zum gemessenen Wasserschallprofil (sound velocity profile - SVP) vor. In der Legende werden diese Messwerte mit SVP: xx min dargestellt. Die Anzahl der scheinbar unplausiblen Messungen ist in den Messungen von August 2015 – Dezember 2015 relativ gering. Abweichend davon treten im April 2016 z.T. erhebliche Abweichungen auf bzw. in bestimmten Bereichen des Querprofils streuen die Messwerte erheblich. Eine korrekte Schätzung der Gewässersohle ist in diesen Bereichen nicht sicher möglich. Vergleichbare Streuungen treten auch in anderen Bereichen auf. Ein Zusammenhang zwischen der Zeitdifferenz zum gemessenen Wasserschallprofil wird aus den Abbildungen nicht ersichtlich. Die Wasserschallprofile wurde in einem hinreichend dichten Abstand gemessen.

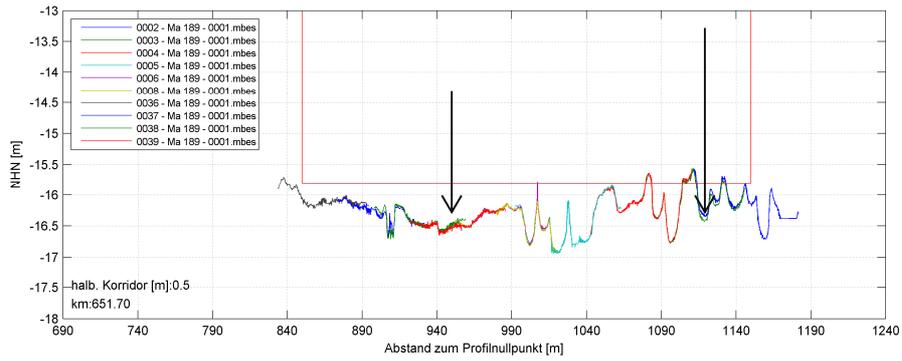


Abbildung 35: Querprofil darstellung bei km 651,70 (Aug. 2015)

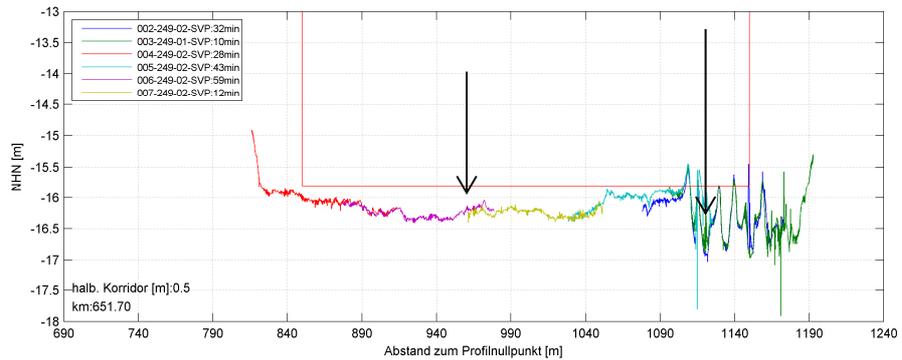


Abbildung 36: Querprofil darstellung bei km 651,70 (Okt. 2015)

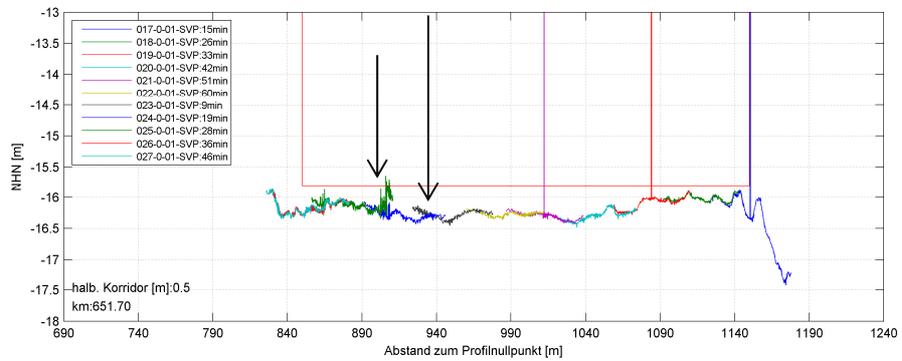


Abbildung 37: Querprofil darstellung bei km 651,70 (Dez. 2015)

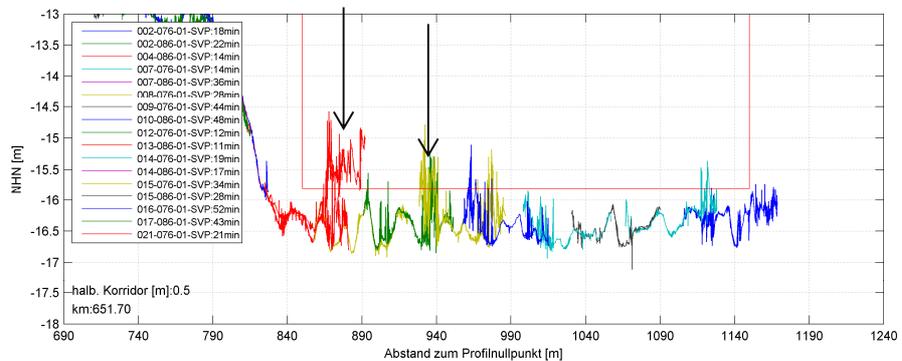


Abbildung 38: Querprofil darstellung bei km 651,7 (Apr. 2016)

Abweichend von Tabelle 1 sind in Tabelle 3 die einzelnen Messkampagnen detaillierter dargestellt. In der Tabelle sind nur die Messstreifen berücksichtigt, die innerhalb der Untersuchungsgebiete liegen. Die Tabellen beinhalten neben der Start- und Endzeit auch Angaben zu der Anzahl der Messstreifen sowie detailliere Angaben der Tidephase. Der Wert TNW1 beschreibt das erste Tideniedrigwasser und damit den Beginn der Tide. Das TNW2 beschreibt das folgende Tideniedrigwasser und damit das Ende der Tide. Aus diesen Zeiten wurden die Tidephasen abgeleitet (vgl. Abbildung 39). Der Wert SVP (sound velocity profile) beschreibt den maximalen zeitlichen Abstand zum zugrundeliegenden Wasserschallprofil (SVP).

Tabelle 3: Übersicht über die Messkampagnen sowie Tideinformationen

| Übersicht der Messkampagnen | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|-----------|------|-------|-------|-------|---------------------------------|-----|
| Kampagne | Startzeit | Ende | Anz. | TNW1 | THW | TNW2 | Tidephasen | SVP |
| 2015_07_BL03_A | 28.07.2015 12:29 | ca. 14:00 | 8 | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW-absteigend (3) | |
| 2015_07_BL03_B | 29.07.2015 07:43 | ca. 09:10 | 8 | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW-ansteigend (1) | |
| 2015_07_BL03_C | 29.07.2015 12:10 | ca. 13:10 | 6 | 07:15 | 13:10 | 19:38 | ansteigen(3)-THW | |
| 2015_01_BL01_A | 29.07.2015 14:11 | ca. 14:50 | 4 | 07:26 | 13:16 | 19:46 | THW | |
| 2015_01_BL01_B | 30.07.2015 08:15 | ca. 11:00 | 17 | 19:46 | 01:34 | 08:38 | TNW | |
| | | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW-ansteigend (1) | |
| 2015_08_BL03 | 07.08.2015 05:58 | ca. 10:34 | 25 | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend (2)-absteigend(3) | |
| | 10.08.2015 05:43 | ca. 07:00 | 7 | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW-ansteigend (1) | |
| 2015_08_BL07 | 10.08.2015 10:06 | ca. 11:35 | 12 | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| | 11.08.2015 06:43 | ca. 08:00 | 7 | 05:38 | 11:28 | 18:29 | TNW - ansteigend (1) | |
| 2015_10_BL01 | 14.10.2015 12:57 | 16:31 | 37 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(1) - THW | 84 |
| | 15.10.2015 05:45 | 09:38 | 11 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | THW-absteigend (1) | 56 |
| 2015_10_BL03 | 15.10.2015 15:23 | 17:30 | 14 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | ansteigend (3) - THW | 59 |
| 2015_10_BL07 | 13.10.2015 10:09 | 13:41 | 24 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | TNW-ansteigend (3) | 61 |
| 2015_12_BL01 | 18.12.2015 07:13 | 09:34 | 17 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW-absteigend (3) | 52 |
| 2015_12_BL03 | 16.12.2015 9:04 | 14:05 | 17 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend (3) - TNW | 69 |
| | | | 12 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW - ansteigend (1) | 62 |
| 2015_12_BL07 | 14.12.2015 8:15 | 09:50 | 10 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend (1) - TNW | 75 |
| 2016_04_BL01 | 14.04.2016 7:29 | 10:27 | 17 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW - absteigend (3) | 52 |
| 2016_04_BL03 | 11.04.2016 6:11 | 09:17 | 16 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | THW - absteigend(2) | 52 |
| | 28.04.2016 9:09 | 11:44 | 12 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend (3) - absteigend (1) | 53 |
| 2016_04_BL07 | 13.04.2016 8:14 | 10:53 | 8 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(3) - absteigend (1) | 51 |

Für die Kampagnen im Juli 2015 bzw. August 2017 liegen nur *.mbes Daten vor. Die weiterführenden Metadaten (*.mbes.xml) liegen nicht vor. Die Dauer der Messungen wurde daher anhand der Länge vorheriger Messstreifen abgeschätzt. Auch liegen keine Informationen vor, welches Wasserschallprofil (SVP) bei dem Messstreifen genutzt wurde. Dementsprechend ist es nicht möglich, den Zeitraum zwischen dem gemessenen Wasserschallprofil und der eigentlichen Messung zu konkretisieren.

Ergänzend sind in Tabelle 4 die Tidephasen der einzelnen Messungen graphisch dargestellt. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Messungen im Juli 2015, August 2015 und Oktober 2015 tendenziell eher bei auflaufendem Wasser bzw. im Bereich von Tideniedrigwasser erfasst wurden, wohingegen die Messungen im Dezember 2015 und April 2016 im Bereich der Tidehochwasser bzw. des ablaufenden Wassers erfasst wurden.

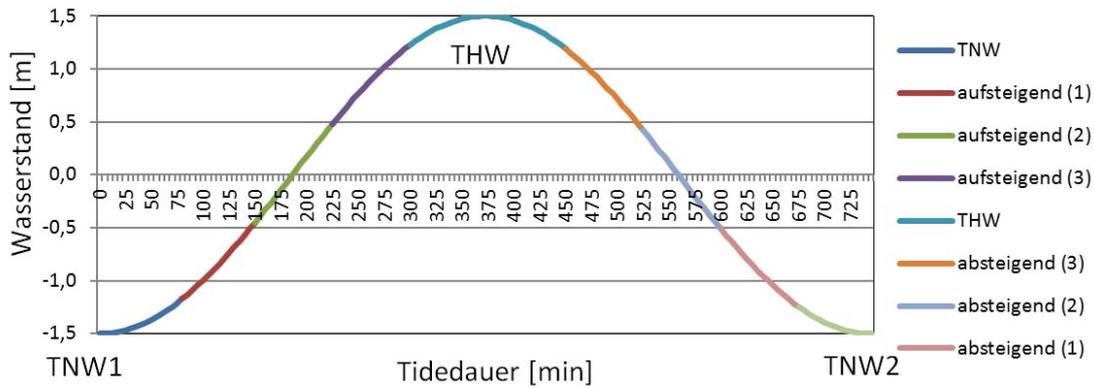


Abbildung 39: Charakterisierung der Tidephasen

Tabelle 4: Tidephasen der Messungen

| Kampagne | Tag | Übersicht der Messkampagnen | | | | | | | | |
|----------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|
| | | TNW | anst.(1) | anst.(2) | anst.(3) | THW | abst.(3) | abst.(2) | abst.(1) | TNW |
| 2015_07_BLO3_A | 28.07.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_07_BLO3_B | 29.07.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_07_BLO3_C | 29.07.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_01_BLO1_A | 29.07.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_01_BLO1_B | 30.07.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_08_BLO3 | 07.08.2015 | | | | | | | | | |
| | 10.08.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_08_BLO7 | 10.08.2015 | | | | | | | | | |
| | 11.08.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_10_BLO1 | 14.10.2015 | | | | | | | | | |
| | 15.10.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_10_BLO3 | 15.10.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_10_BLO7 | 13.10.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_12_BLO1 | 18.12.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_12_BLO3 | 16.12.2015 | | | | | | | | | |
| 2015_12_BLO7 | 14.12.2015 | | | | | | | | | |
| 2016_04_BLO1 | 14.04.2016 | | | | | | | | | |
| 2016_04_BLO3 | 11.04.2016 | | | | | | | | | |
| | 28.04.2016 | | | | | | | | | |
| 2016_04_BLO7 | 13.04.2016 | | | | | | | | | |

In einzelnen Fällen wurden an unterschiedlichen Tagen in bestimmten Bereichen gemessen. In Bezug auf die hier ausgewerteten Beobachtungen handelt es sich um Messungen im August (2015_08_BLO3, 2015_08_BLO7), im Oktober (2015_10_BLO1) sowie im April 2016. Bei einer Auswertung der Daten wird ersichtlich, dass die Messungen der einzelnen Tage sehr gut zu zusammenpassen und im Überlappungsbereich nur die normalen Maschendifferenzen auftreten.

4 Datenanalyse

4.1 Darstellung der Qualität der vorhandenen Beobachtungen

Im folgenden Abschnitt soll der Ist-Zustand der Messdaten dargestellt werden. Ziel ist es dabei zu verdeutlichen, dass ein augenscheinlicher Zusammenhang zwischen der Qualität der Messwerte (Quality und Intensity Werten) sowie deren Unsicherheiten besteht.

4.1.1 Darstellung des Ist-Zustandes in Form von Querprofilen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, liegen für die Kampagnen 10/2015, 12/2015 und 04/2016 die vollständigen Datensätze vor. Neben den eigentlichen Messdaten liegen für diese Datensätze auch die Beamwinkel, Quality, Intensity, Range, hTPU, vTPU Werte vor. Zum besseren Verständnis wurden an unterschiedlichen Stellen Querprofile definiert und die Messungen visualisiert. Neben den eigentlichen Messungen erfolgt die farbcodierte Darstellung weiterführender Informationen.

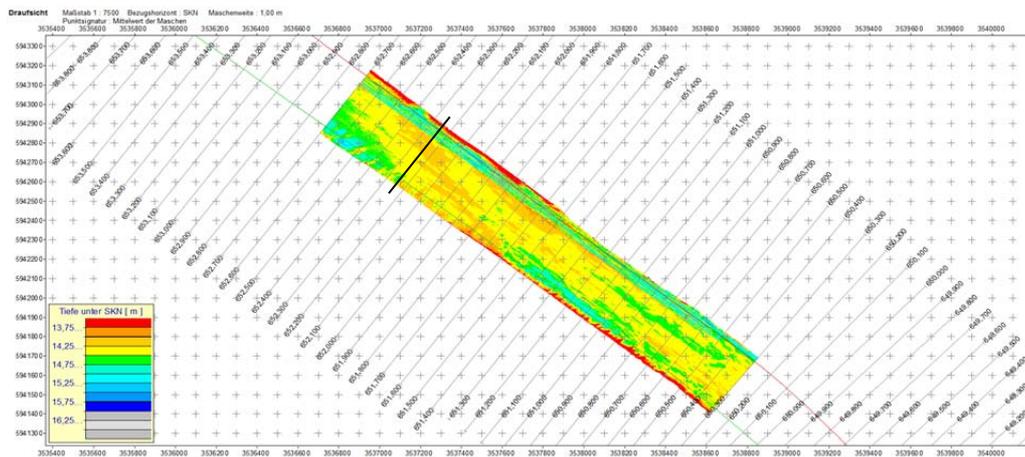


Abbildung 40: Wassertiefen im Bereich Juelsand (erfasst im Oktober 2015)

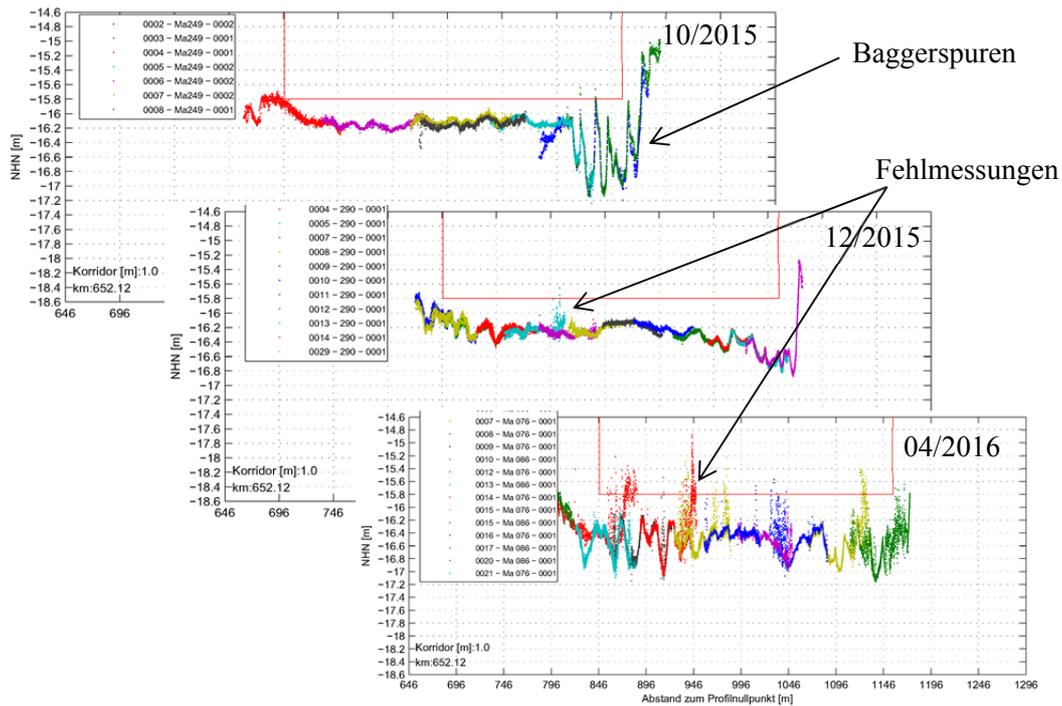


Abbildung 41: Querprofil bei km 652,12 während der drei Kampagnen

In Abbildung 41 sind reine Tiefenmesswerte dargestellt, wobei über die Farbcodierung die Messstreifen dargestellt sind. Aus der Abbildung geht hervor, dass im Oktober 2015 sowie im Dezember 2015 relativ normale bzw. zuverlässige Tiefenmessungen erfasst wurden. Im April 2016 treten gegenüber der wahrscheinlichsten Sohle sehr viele Fehlmessungen auf. Bei der Messung im Oktober 2015 fällt auf, dass sich die Baggerspuren sehr deutlich abzeichnen und trotzdem in diesem Gebiet relativ wenige Fehlmessungen vorliegen.

Werden anstatt der Streifennummern die Öffnungswinkel farbcodiert dargestellt (Abbildung 42), wird deutlich, dass die Fehlmessungen aller drei Kampagnen im Wesentlichen in den äußeren Beamwinkeln aufgetreten sind.

Vergleichbar den voran gegangenen Abbildungen sind in Abbildung 43 und Abbildung 44 die Intensity und Quality Werte dargestellt. Aus den Abbildungen geht hervor, dass die vermeintlichen Fehlmessungen im Wesentlichen auch eine schlechte Datenqualität (Quality) und eine starke Signaldämpfung (hoher negativer Intensity Wert) aufweisen. Besonders extrem wird dies im April 2016 deutlich. Aus den Intensity Werten geht weiterhin hervor, dass die Dämpfung im Zentralbereich wesentlich geringer ist.

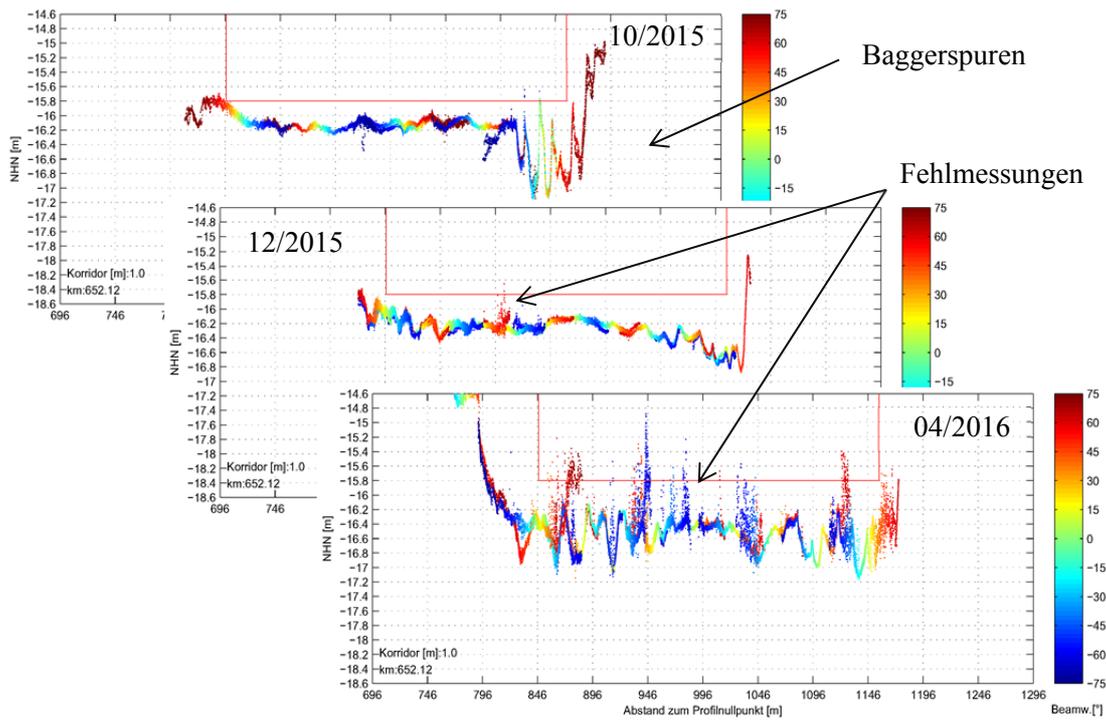


Abbildung 42: Querprofil bei km 652,12 während der drei Kampagnen mit farbcodierter Darstellung des Beamwinkels

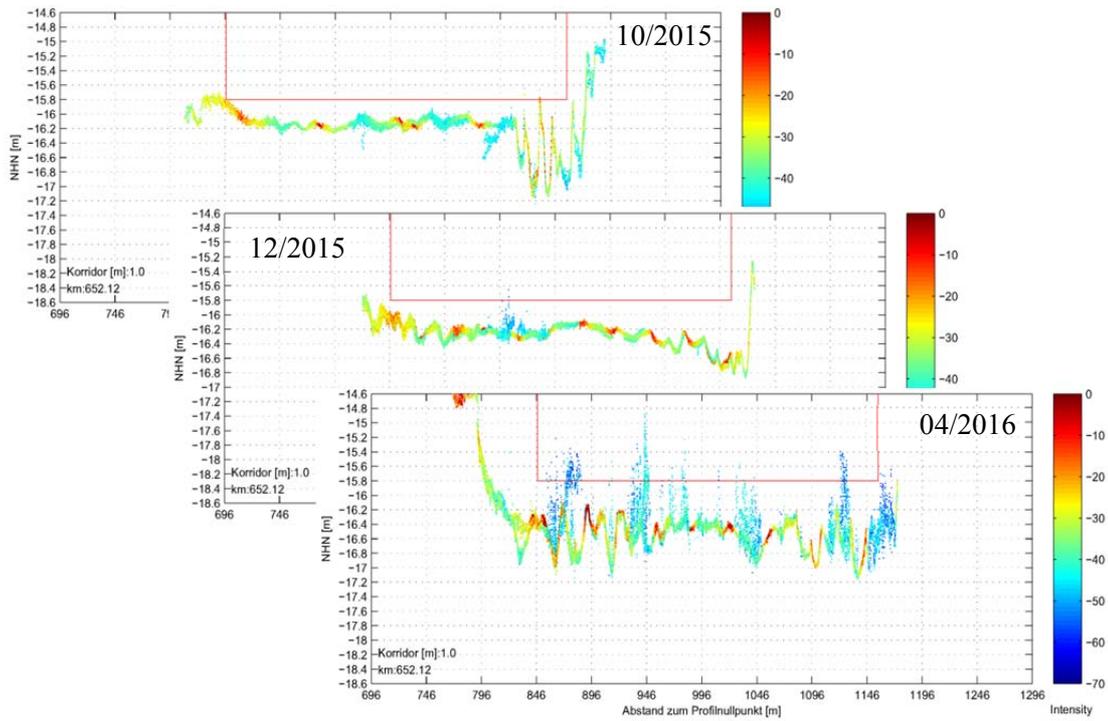


Abbildung 43: Farbcodierte Darstellung der Intensity Werte bei Querprofil km 652,12

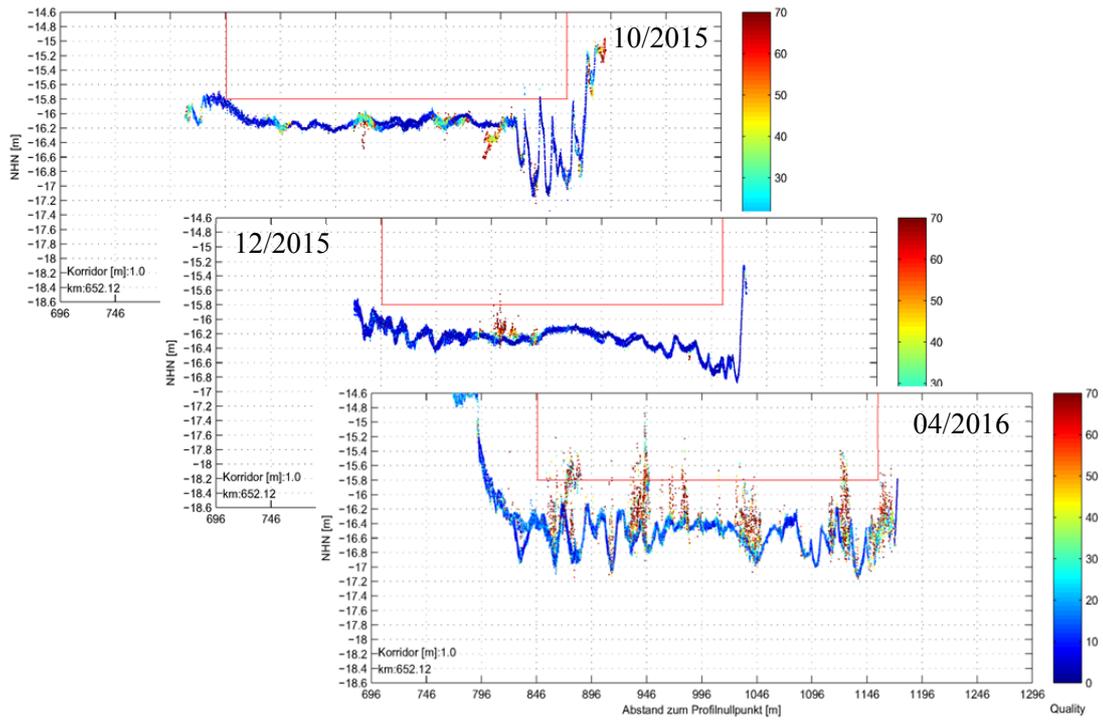


Abbildung 44: Farbcodierte Darstellung der Quality Werte im Bereich des Querprofils bei km 652,12

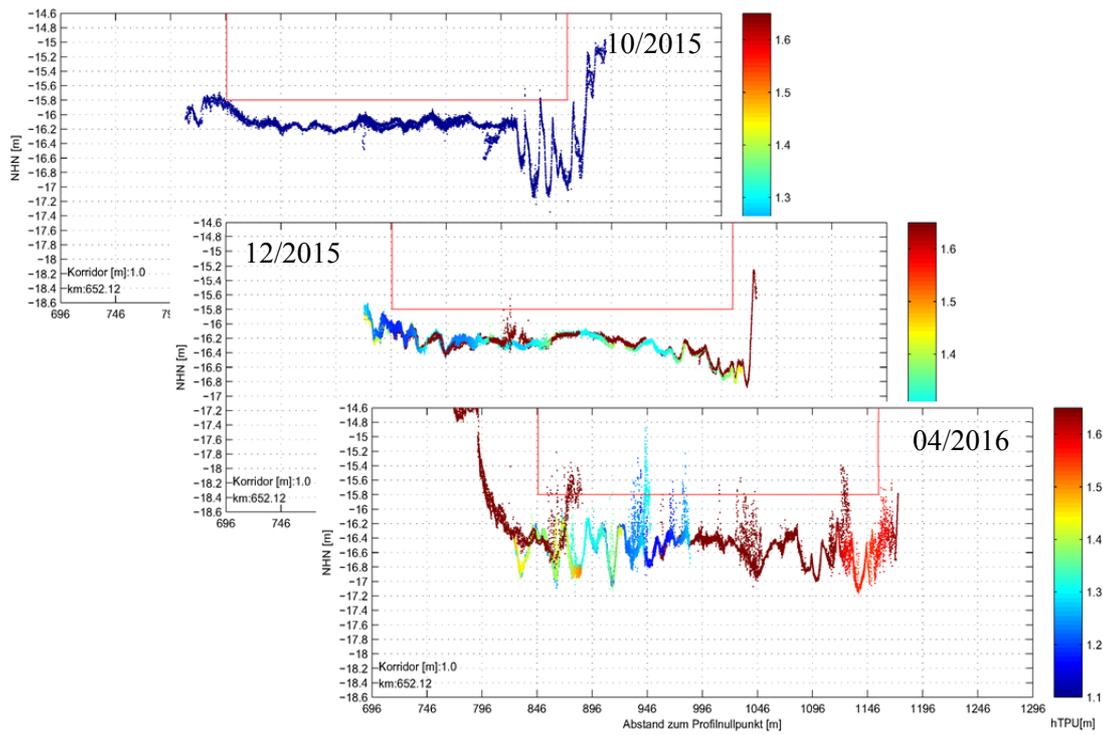


Abbildung 45: Farbcodierte Darstellung der horizontalen TPU - Werte bei km 652,12

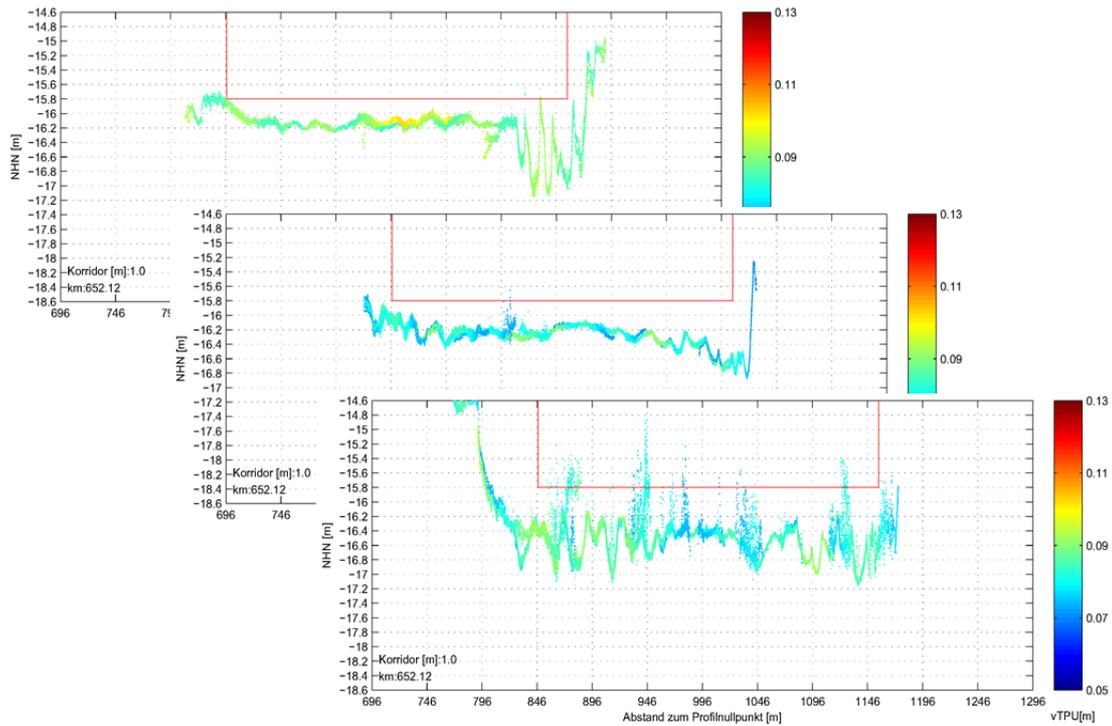


Abbildung 46: Farbcodierter Darstellung der vertikalen TPU Werte bei km 652,12

Ergänzend sind in Abbildung 45 und Abbildung 46 die horizontalen und vertikalen TPU-Werte farbcodiert dargestellt. Aus den Abbildungen geht hervor, dass im Gegensatz zu den vorangegangenen Parametern kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen den Fehlmessungen und den TPU Werten besteht. Dies ist insofern zu erwarten, als dass in die TPU-Berechnung zwar Unsicherheiten der Sensoren und die Geometrie des Messsystems einschließlich der erfassten Positionen und Orientierungswinkel einfließt, aber die aktuelle Situation am Ort der Messung (z.B. Beschaffenheit der Sohle, Dichteverationen etc.) bei der Berechnung keinen Einfluss hat.

Analog ergibt sich ein ähnlichen Verhalten im Bereich des Sedimentfangs Wedel und im Bereich des Blattes 07.

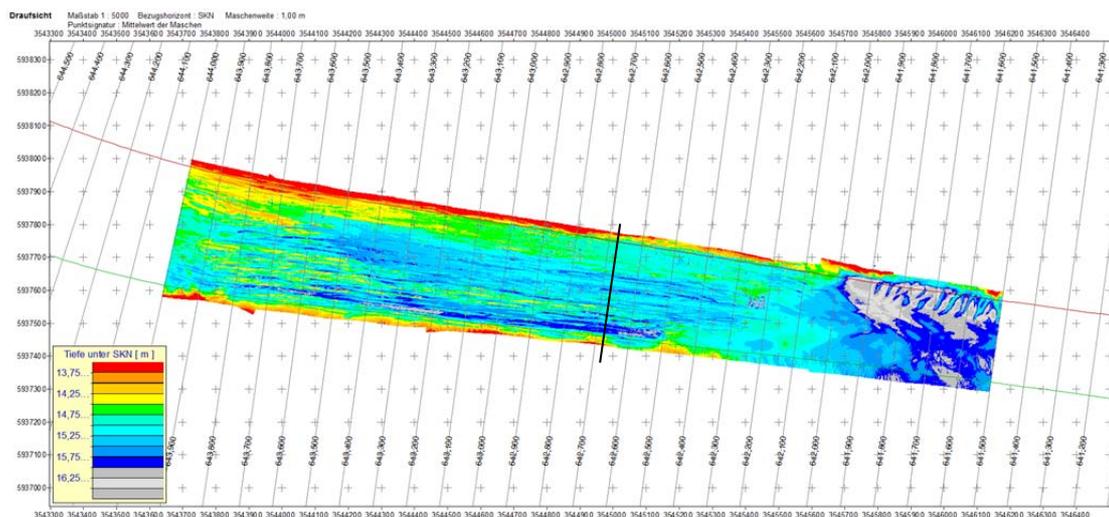


Abbildung 47: Gebiet rund um dem Sedimentfang Wedel mit Querprofil bei km 642,68

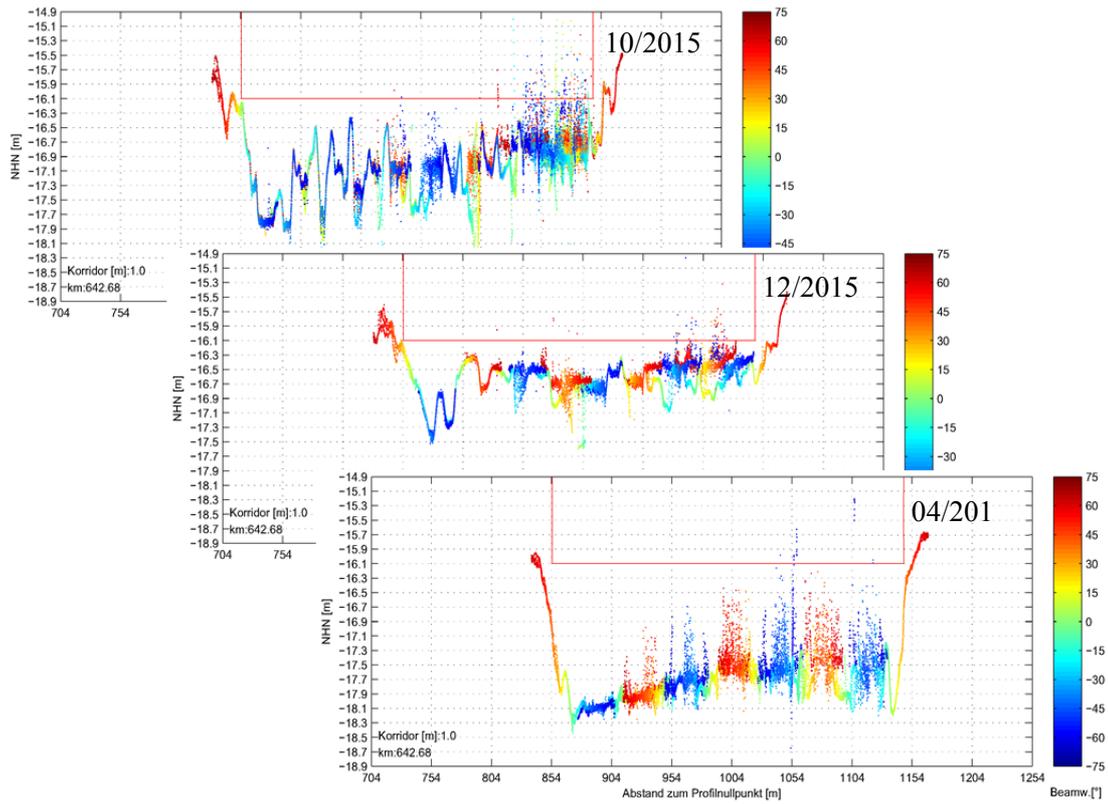


Abbildung 48: Farbcodierte Darstellung des Beamwinkels in einem Querprofil bei km 642,68

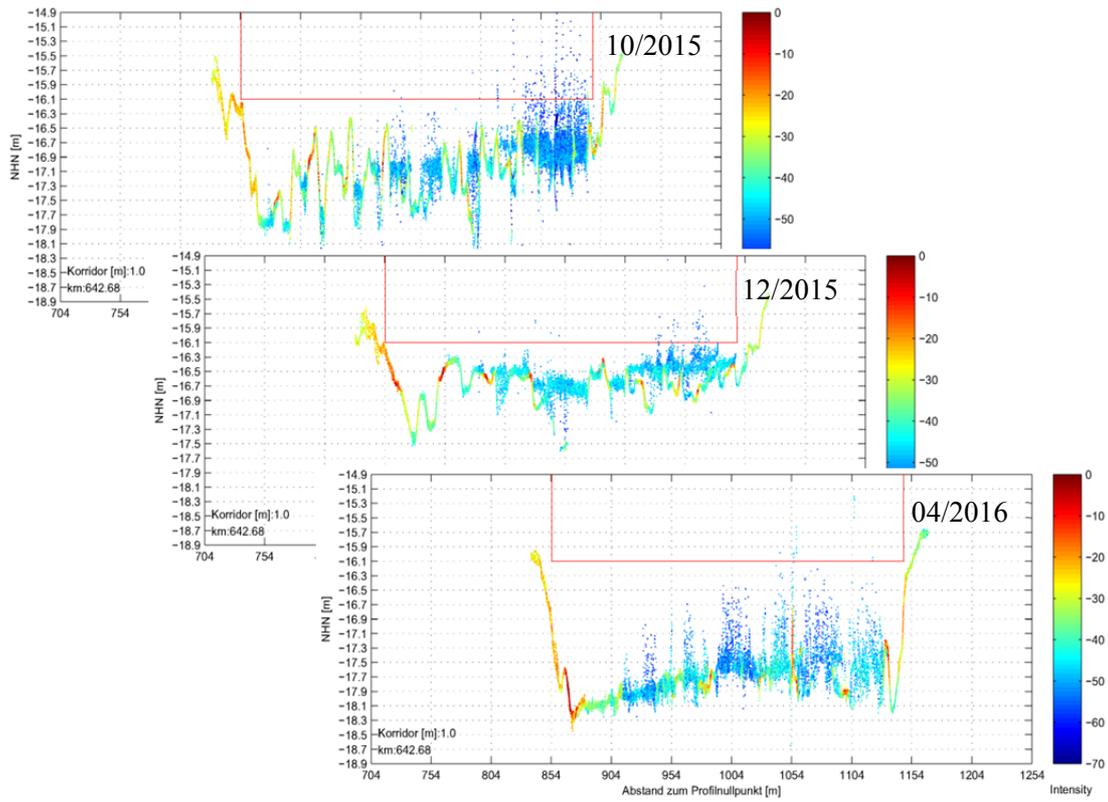


Abbildung 49: Farbcodierte Darstellung der Intensitätsinformationen bei km 642,628

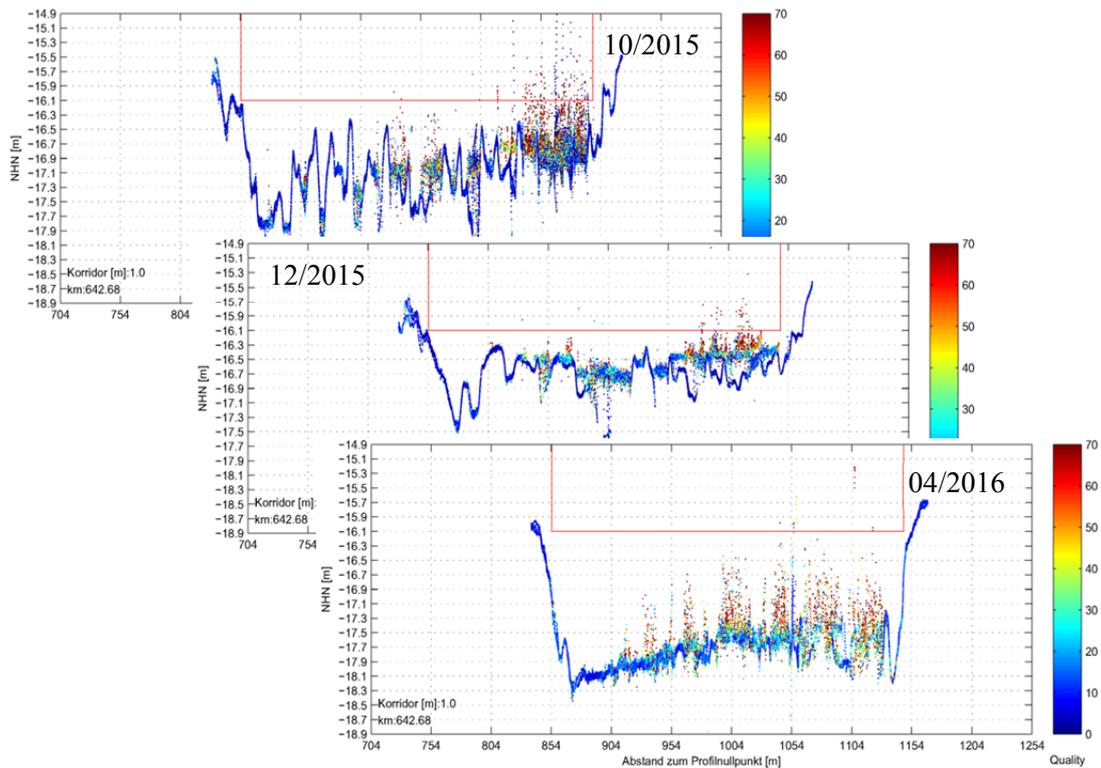


Abbildung 50: Farbcodierte Darstellung der Quality Werte bei Querprofil km 648,28

In Abbildung 48 bis Abbildung 50 sind die Ergebnisse des Querprofils bei km 648,28 im Bereich des Sedimentfangs dargestellt. Bei der Betrachtung des Beamwinkels wird deutlich, dass augenscheinlich die großen Beamwinkel (blau und rot dargestellt) zu verstärkten Unsicherheiten führen bzw. die Fehlmessungen in der Regel bei großen Beamwinkeln erfasst wurden. In Abbildung 50 sind die Quality Werte in diesem Bereich dargestellt. Auch anhand dieser Werte wird deutlich, dass Fehlmessungen in der Regel schlechte (=hohe) Quality Werte aufweisen (rötliche Farbe). Bei den Intensity Werten (Abbildung 49) wird wieder deutlich, dass mit zunehmendem Beamwinkel die Dämpfung steigt bzw. die negativen Intensity Werte größer werden. Im linken Bereich des Querprofils bzw. im südlichen Bereich des Sedimentfangs sind relativ normale Messungen vorhanden. In diesem Gebiet werden die Daten im Zentralbereich wenig gedämpft (rötliche Punkte), wohingegen in den Randbereichen größere Dämpfungen auftreten. Insbesondere die augenscheinlichen Fehlmessungen weisen eine sehr starke Dämpfung (bläulich dargestellt) auf.

Ein vergleichbares Verhalten in Bezug auf die Intensity und Quality Werte ist im Blatt07 feststellbar. Analog zu den vorangegangenen Abbildungen werden in den folgenden Abbildungen die Messwerte mit der Farbcodierung des Beamwinkels, der Intensity und Quality Werte dargestellt. In Abbildung 51 ist die Lage des Querprofils dargestellt.

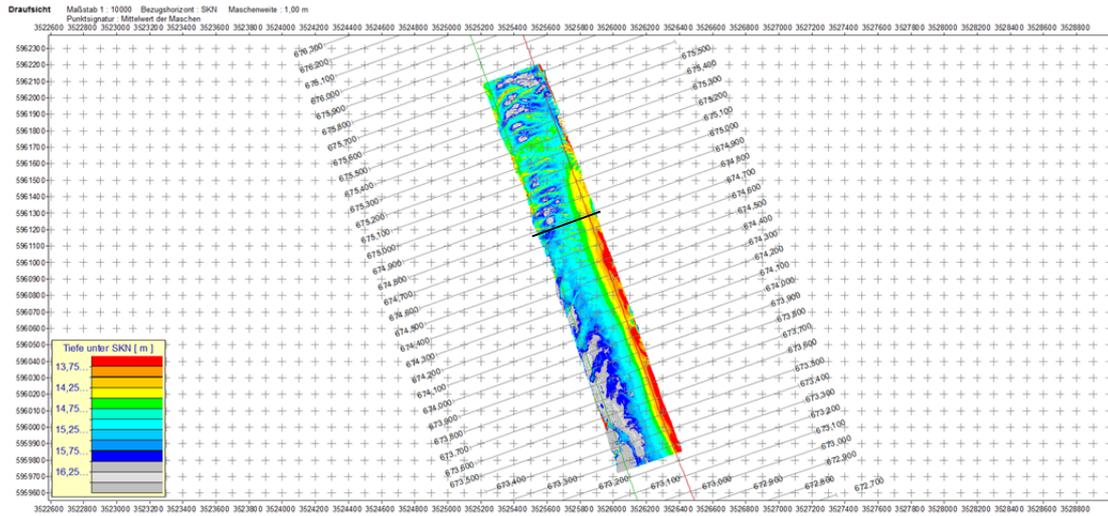


Abbildung 51: Gebiet rund um dem Sedimentfang Wedel mit Querprofil bei km 674,690

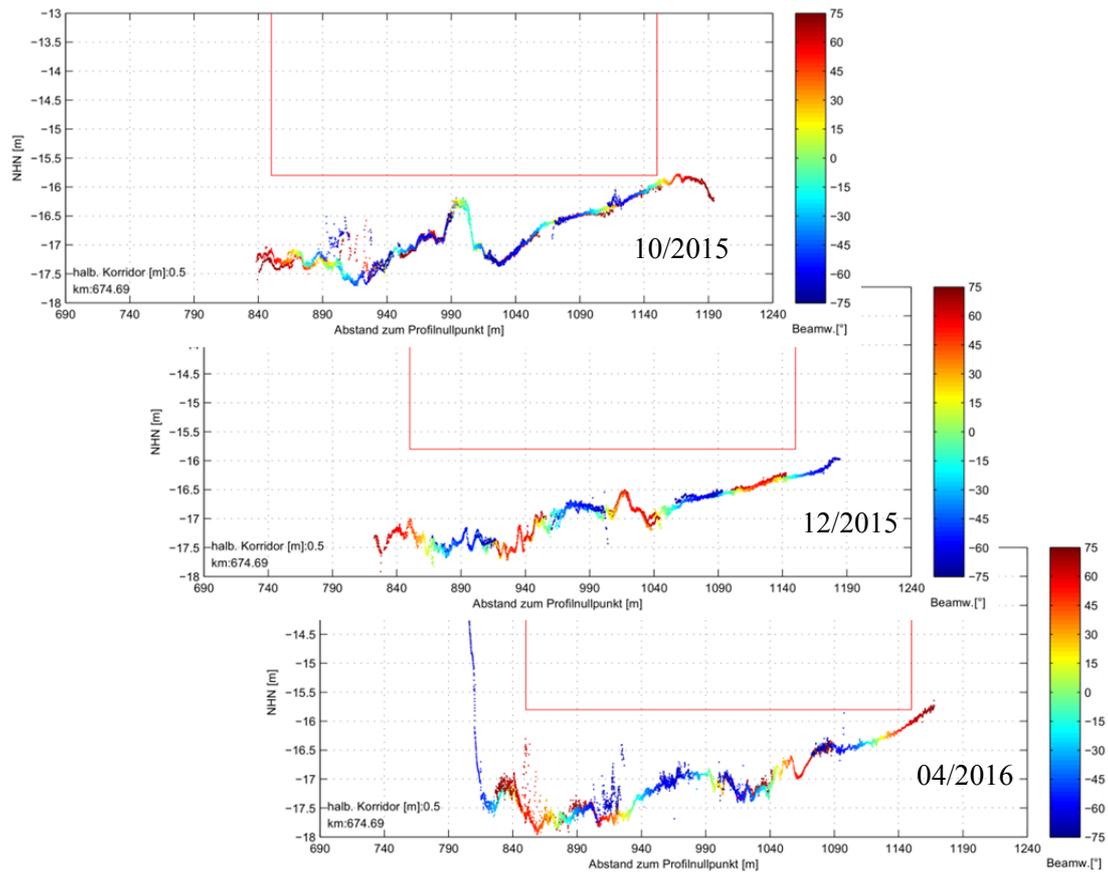


Abbildung 52: Farbcodierte Darstellung des Beamwinkels bei km 674,690

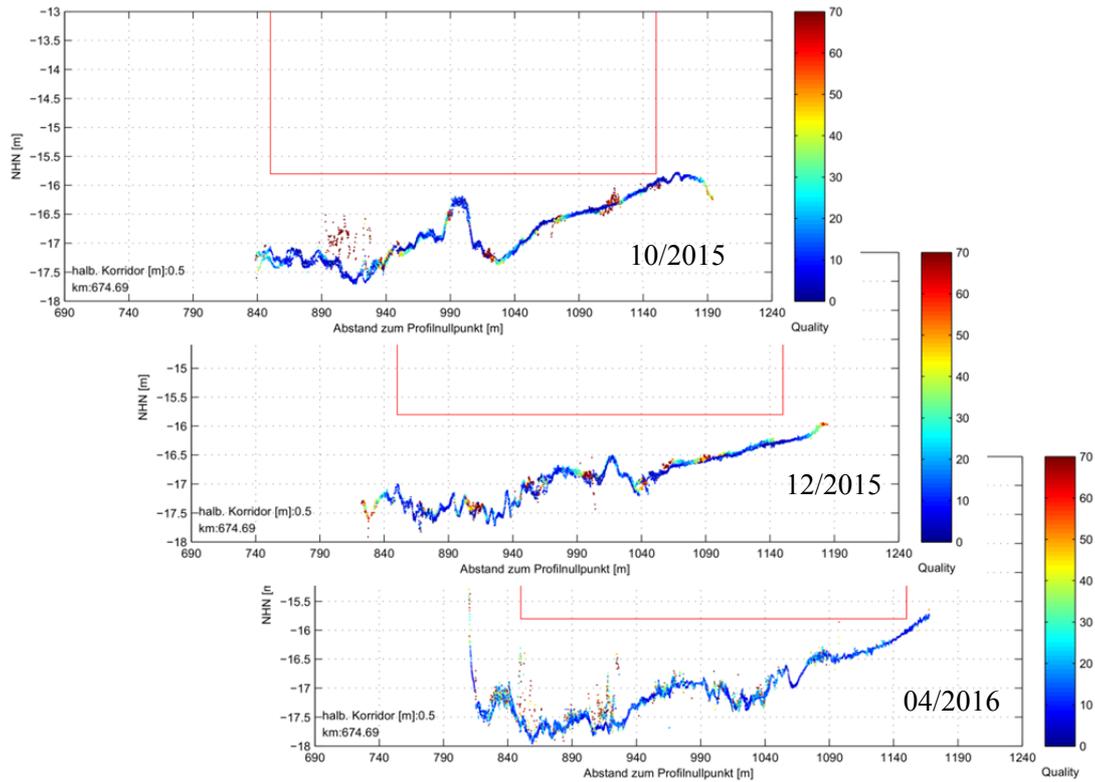


Abbildung 53: Farbcodierte Darstellung der Quality Informationen bei km 674,690

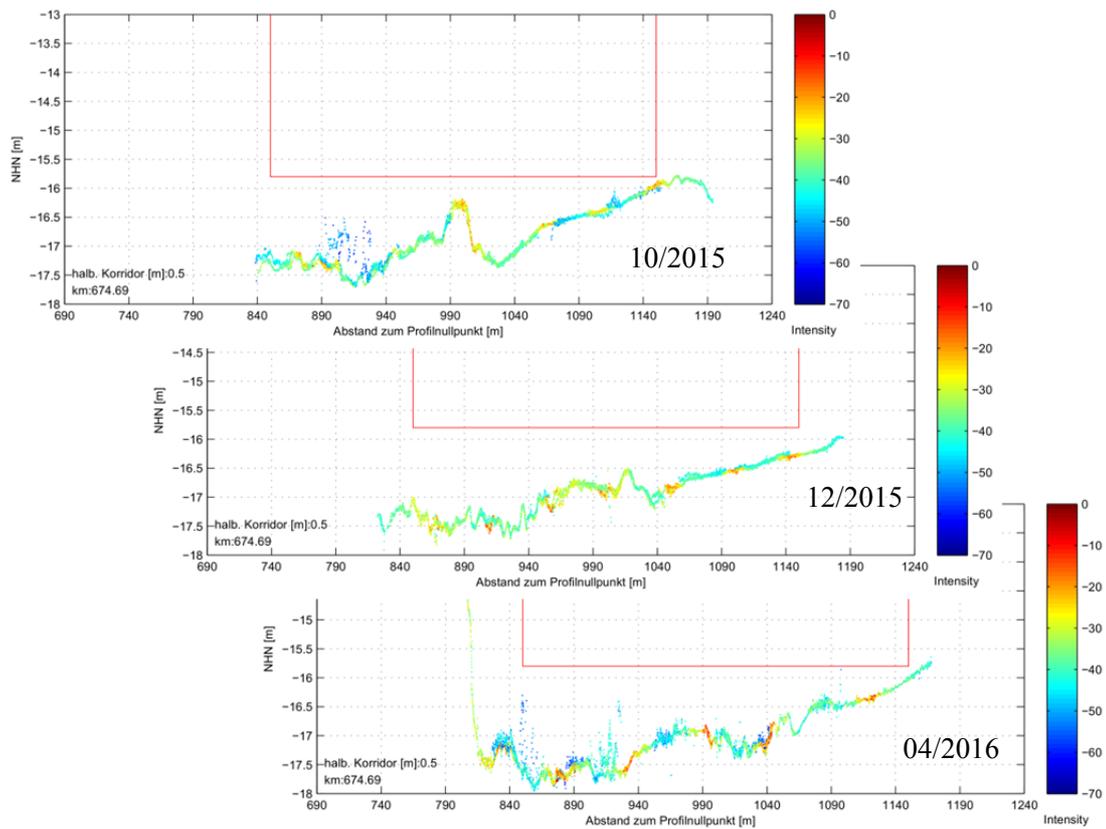


Abbildung 54: Farbcodierte Darstellung der Intensity Informationen bei km 674,690

4.1.2 Flächenhafte Darstellung der Parameter

Neben den bekannten Parametern, wie etwa der Standardabweichung der Maschen oder der Tiefendifferenz der Maschen lassen sich auch die weiterführenden Parameter flächenhaft darstellen. Exemplarisch sind in Abbildung 56 die Quality Werte flächenhaft dargestellt. Die Abbildung zeigt Mittelwerte von 1m x 1m Maschen für die Quality Werte. In Abbildung 56 sind die zugehörigen Maschendifferenzen dargestellt. Die z.T. vorhandenen großen Differenzen zwischen minimalen (=guten) und maximalen (=schlechten) Quality Wert der Messwerte zeigt, dass auch im Bereich Wedel viele gute Messwerte vorhanden sind. Aus der Abbildung ergibt sich augenscheinlich die Lage des Sedimentfangs. In diesem Bereich treten schlechte Beobachtungen bzw. Werte mit großen Quality Werten gehäuft auf und insbesondere die Differenz der Quality Werte ist sehr groß. Untermauert wird dies durch die in Abbildung 57 und Abbildung 58 dargestellten Intensitätsinformationen.

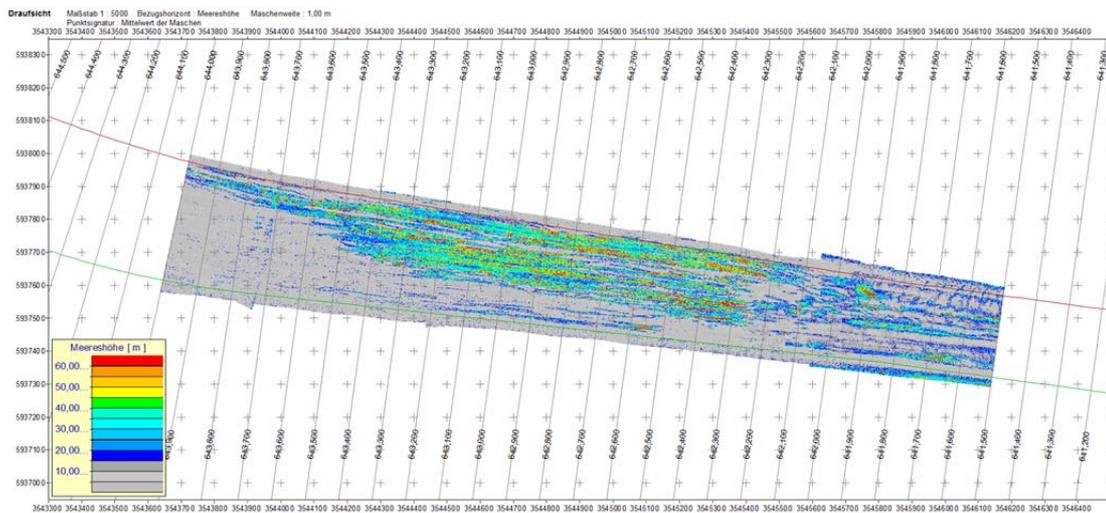


Abbildung 55: Quality-Werte als Maschenmittelwert im Bereich Wedel (Okt. 2015)

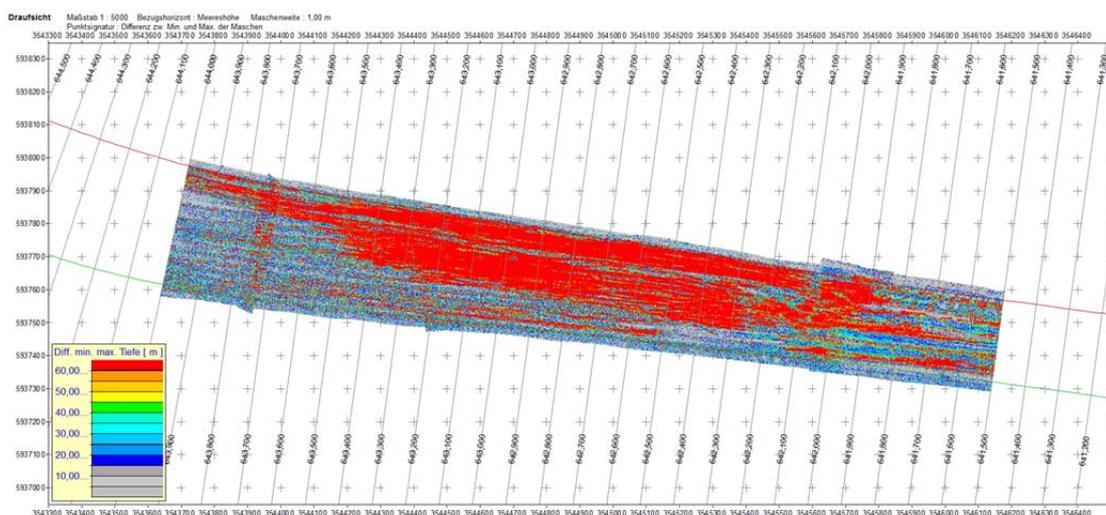


Abbildung 56: Maschendifferenz der Quality Werte im Bereich Wedel (Okt. 2015)

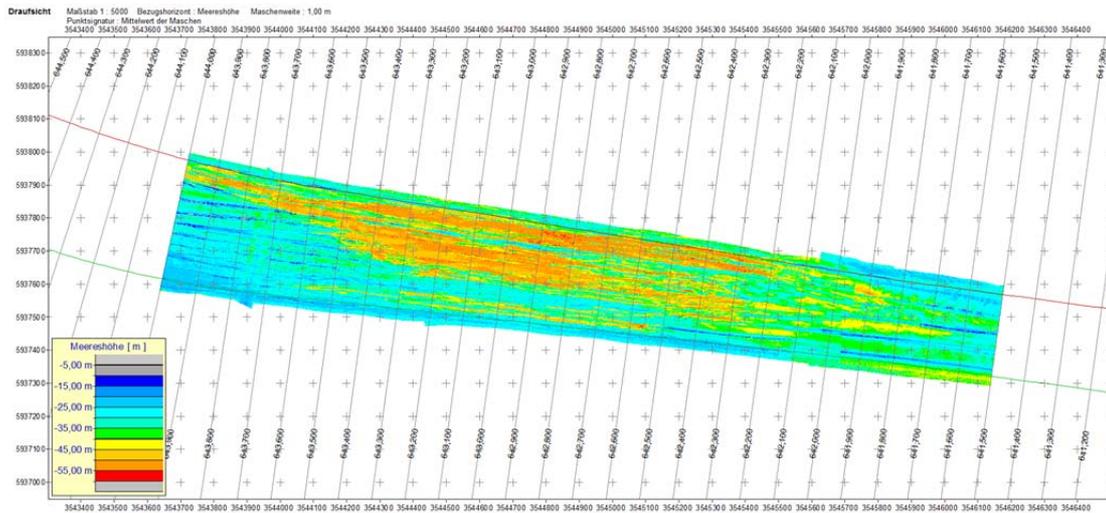


Abbildung 57: Intensity Werte als Maschenmittelwerte im Bereich Wedel (Okt. 2015)

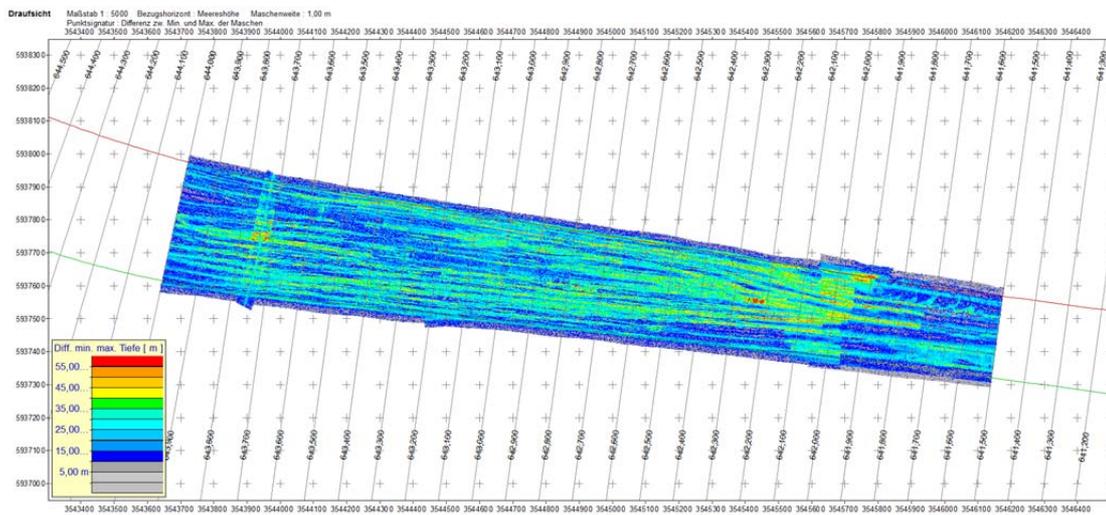


Abbildung 58: Maschendifferenzen der Intensity Werte im Bereich Wedel (Okt. 2015)

Für einen besseren Vergleich sind in Abbildung 59 bis Abbildung 61 die Quality Werte aller drei Messkampagnen im Bereich des Sedimentfangs Wedel vergleichend dargestellt. Grau und dunkelblau dargestellte Bereiche weisen gute Werte bzw. relativ geringe Qualitätswerte auf. Je heller bzw. rötlicher die Farbe wird, umso schlechter werden die Beobachtungen. Es wird deutlich, dass die Messungen im Oktober 2015 am besten waren und sich Richtung April 2016 verschlechtert haben. Insbesondere im April 2016 treten sehr viele qualitativ schlechte Beobachtungen auf bzw. der Sedimentfang als solcher zeichnet sich in den Daten gut ab. Gleiches gilt für die in Abbildung 62 bis Abbildung 64 flächenhaft dargestellten Intensity Werte.

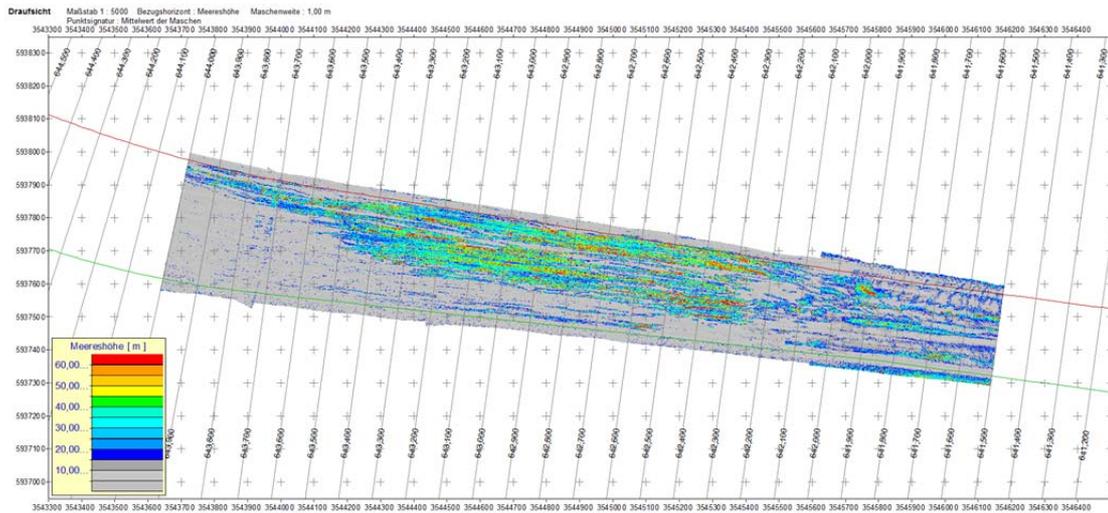


Abbildung 59: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Okt. 2015)

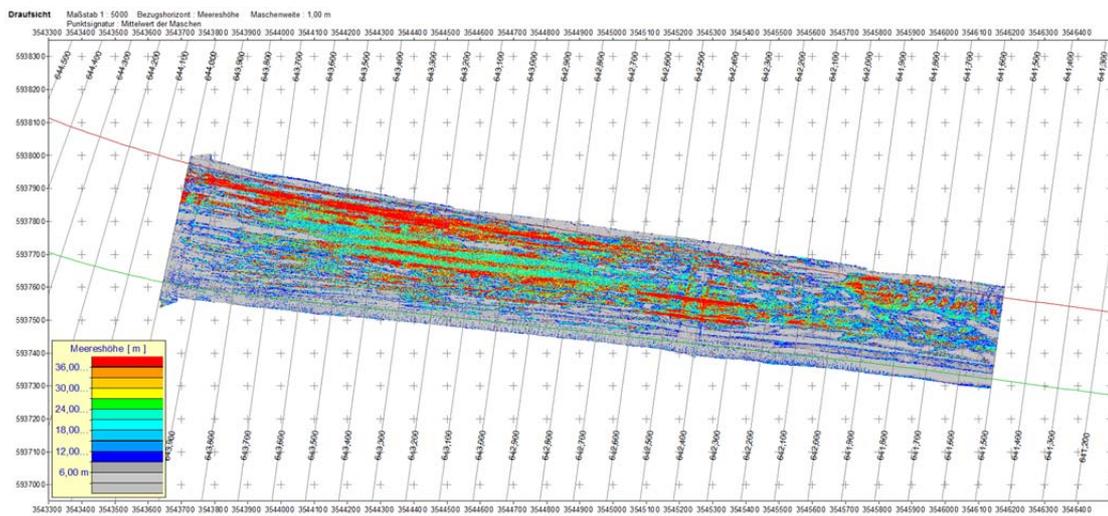


Abbildung 60: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Dez. 2015)

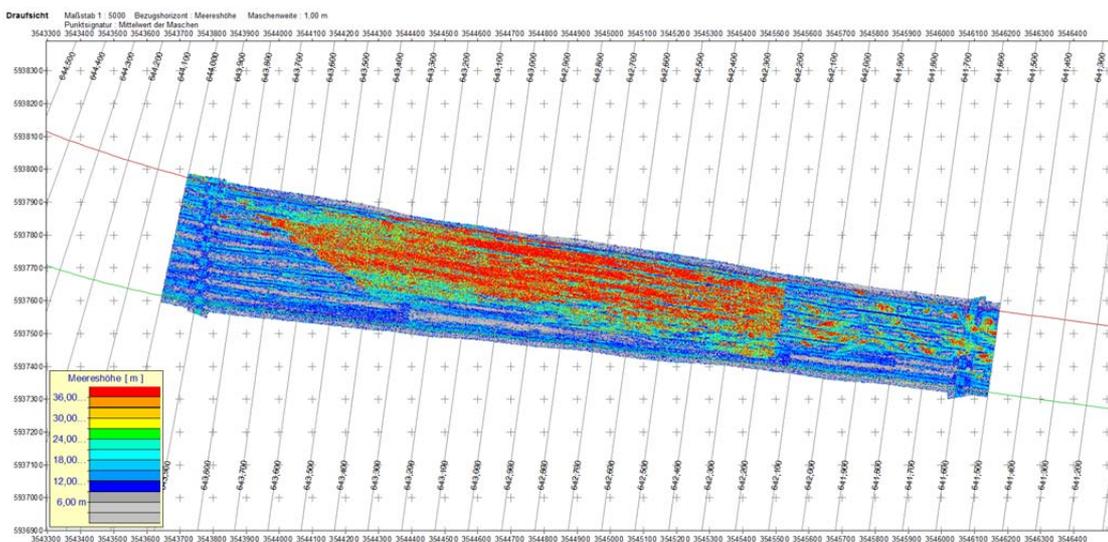


Abbildung 61: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)

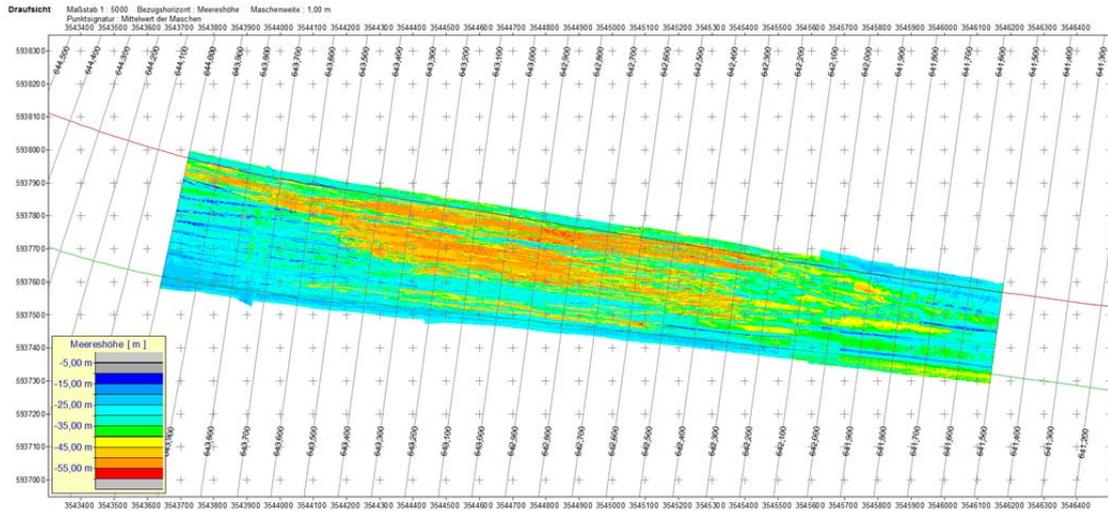


Abbildung 62: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Okt. 2015)

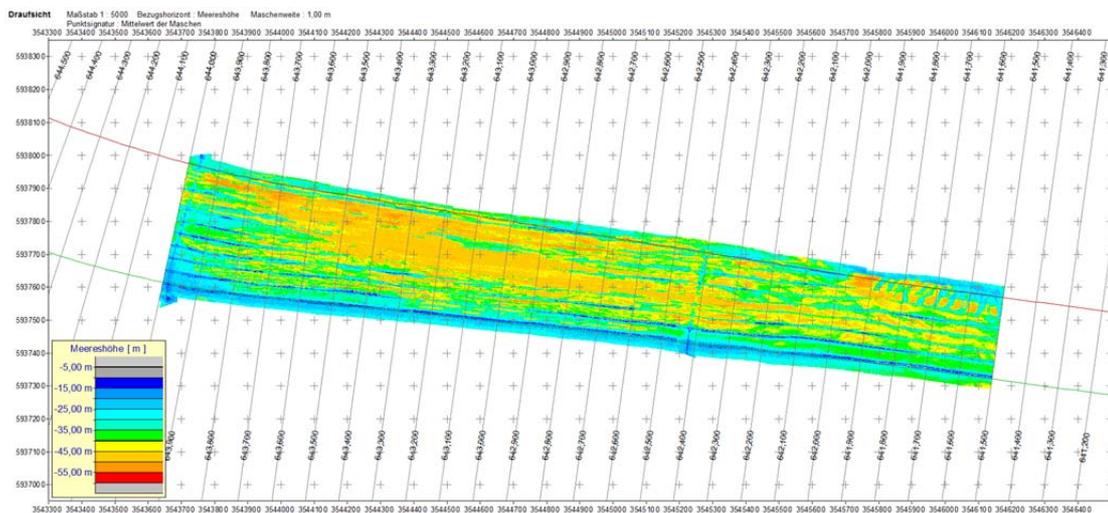


Abbildung 63: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Dez. 2015)

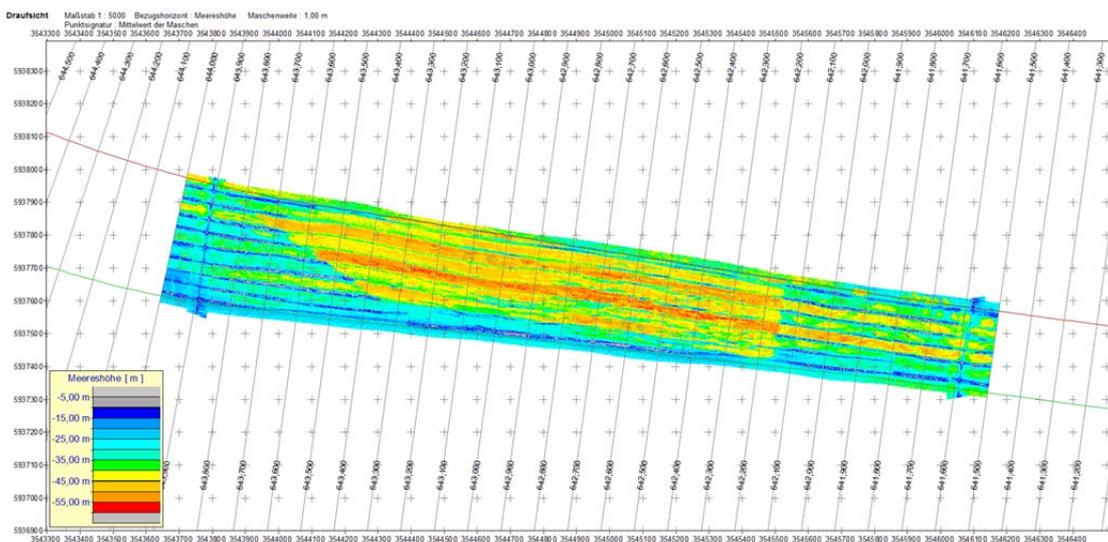


Abbildung 64: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)

Für den Bereich Juelsand lassen sich ähnliche Darstellungen ableiten. In diesem Fall ist es augenscheinlich so, dass die Quality Werte im Oktober 2015 gegenüber den Werten im Dezember 2015 in der Fläche schlechter sind, jedoch im Bereich rund um km 650,5 – links größere Flächen mit schlechten Quality Werten vorhanden sind. Die Messung im April 2016 ist wesentlich schlechter.

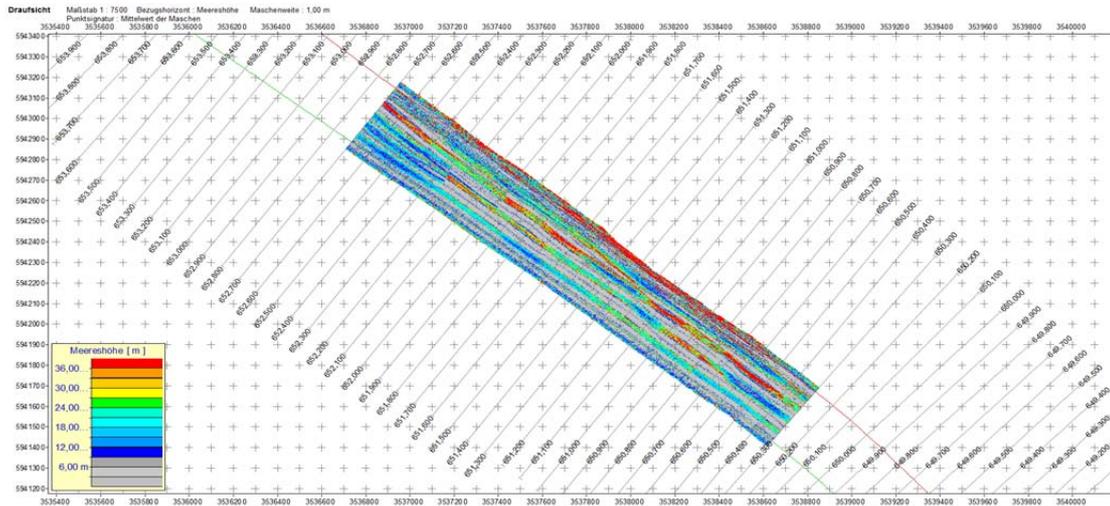


Abbildung 65: Quality Werte im Bereich Juelsand (Okt. 2015)

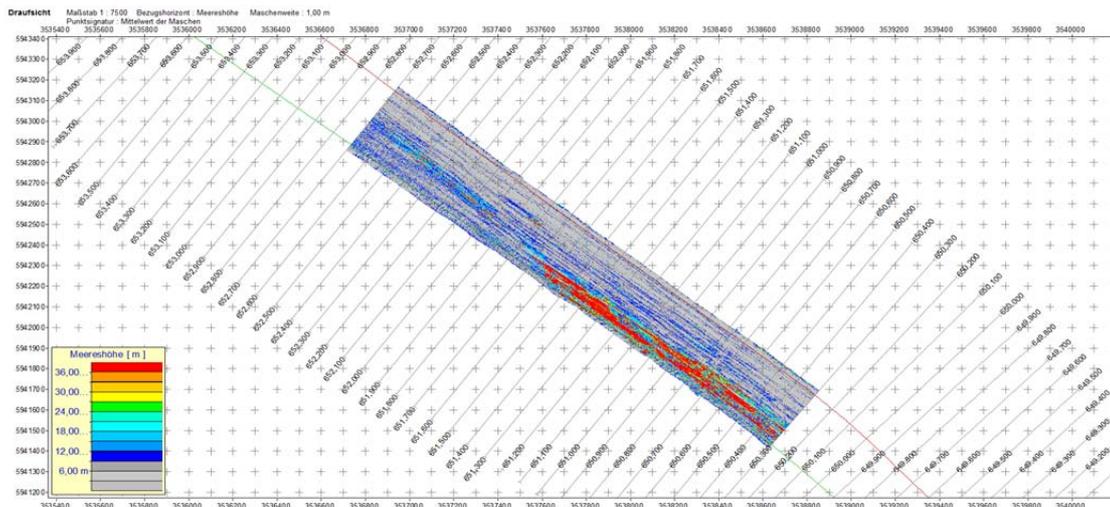


Abbildung 66: Quality Werte im Bereich Juelsand (Dez. 2015)

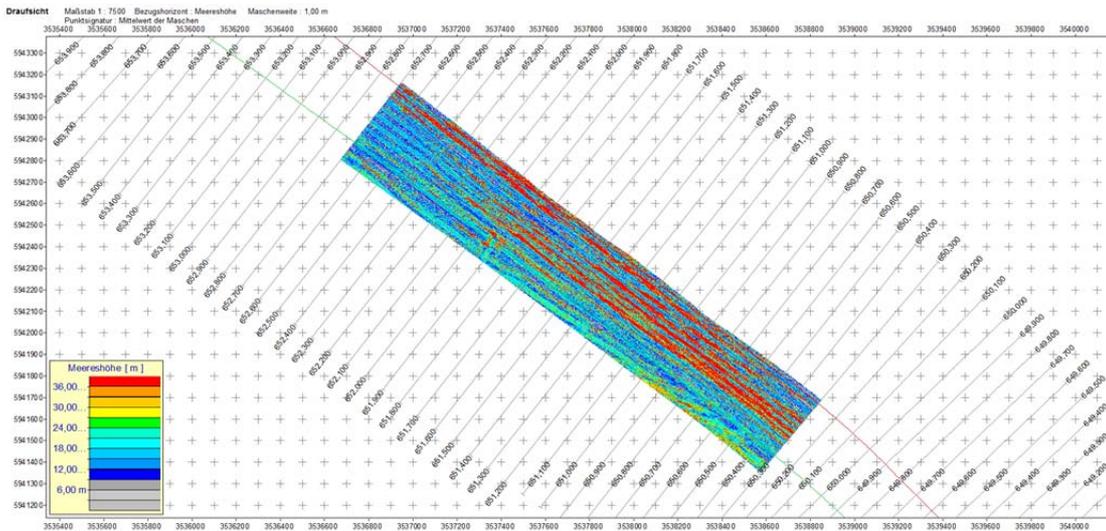


Abbildung 67: Quality Werte im Bereich Juelsand (Apr. 2016)

Bei der Betrachtung der Intensity Werte ergibt sich ein ähnliches Bild. Im Oktober 2015 dominieren Gelb- und Grüntöne (stärkere Dämpfung), wohingegen mit Ausnahme des Bereiches bei km 650,5 – links im November 2015 eher türkise Farbtöne (=geringere Dämpfung) dominieren. Im April 2016 ist ein ausgeprägtes Streifenmuster sichtbar. Messungen im Zentralbereich weisen eine weitaus geringere Dämpfung auf, als dies im Randbereich der Fall ist.

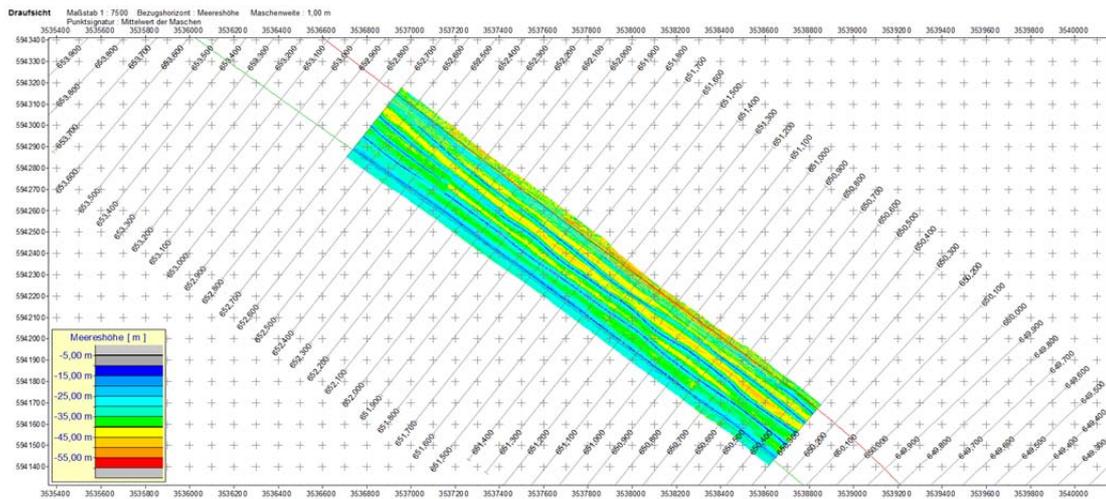


Abbildung 68: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Okt. 2015)

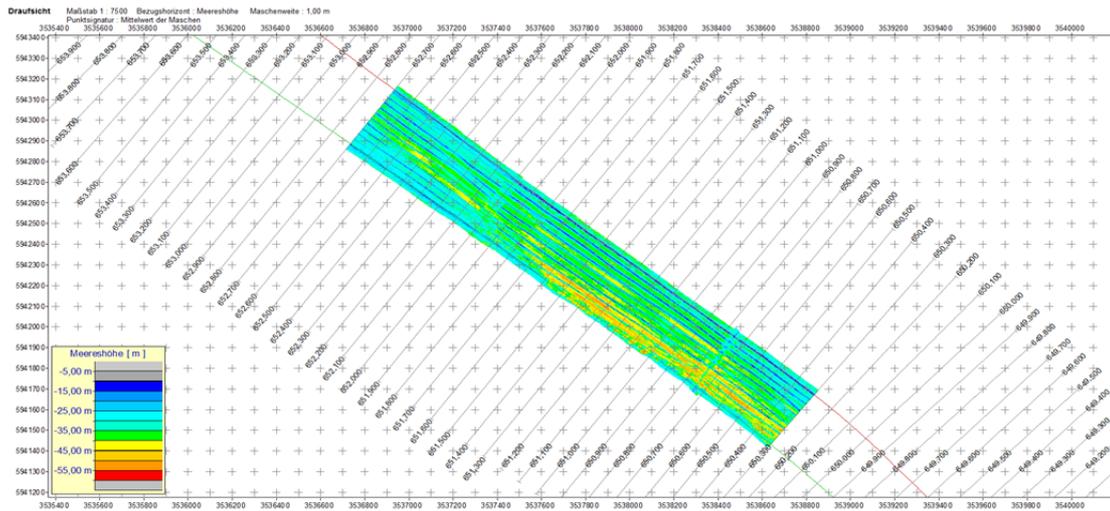


Abbildung 69: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Dez. 2015)

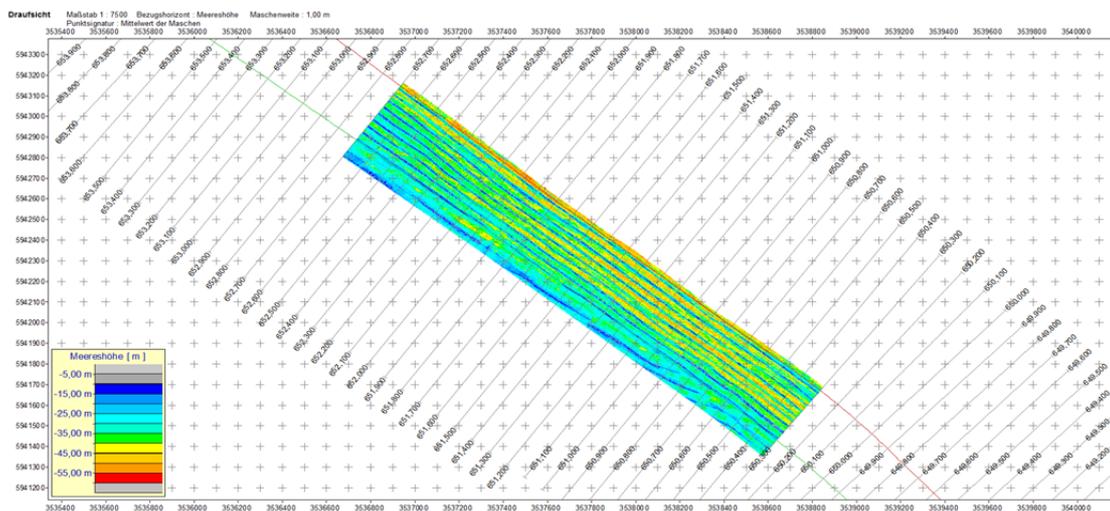


Abbildung 70: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Apr. 2016)

Im Bereich des Blattes 07 ergeben sich im Randbereich im Oktober / Dezember 2015 schlechtere Werte (Abbildung 71 und Abbildung 72). Insgesamt ist die Streuung der Quality Werte in diesen Zeitabschnitten relativ groß. Dem gegenüber sind die Quality Werte im April 2016 relativ gleichmäßig verteilt.

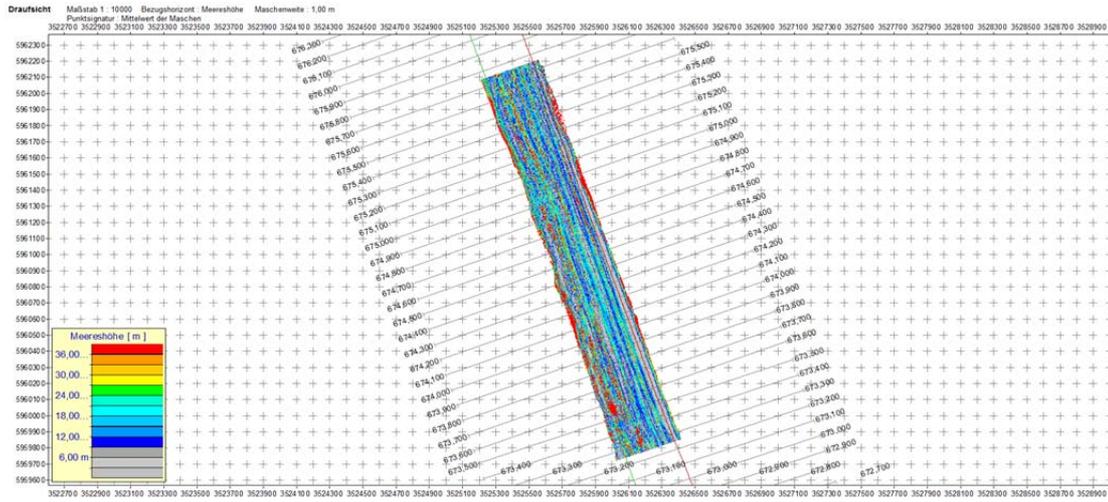


Abbildung 71: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015)

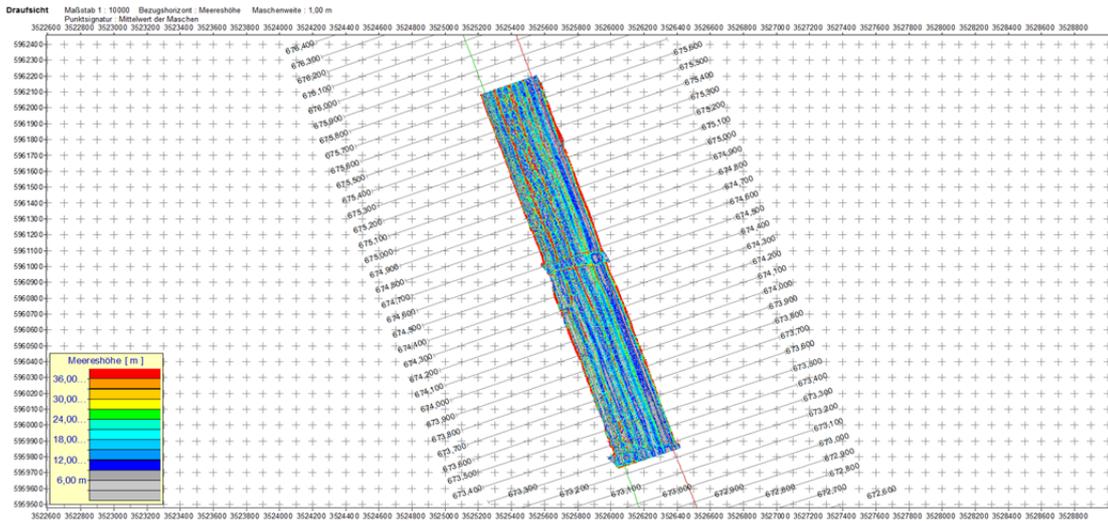


Abbildung 72: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015)

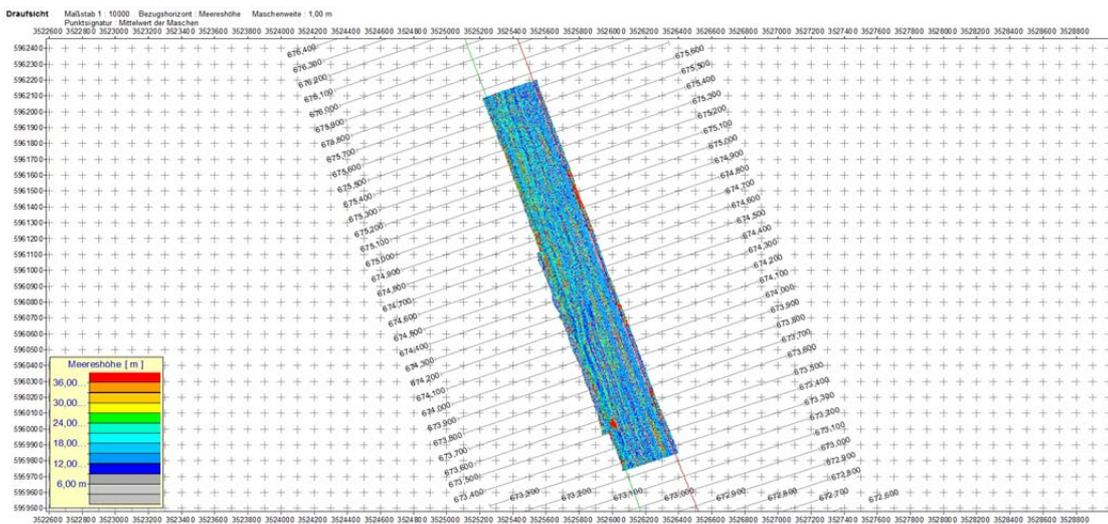


Abbildung 73: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016)

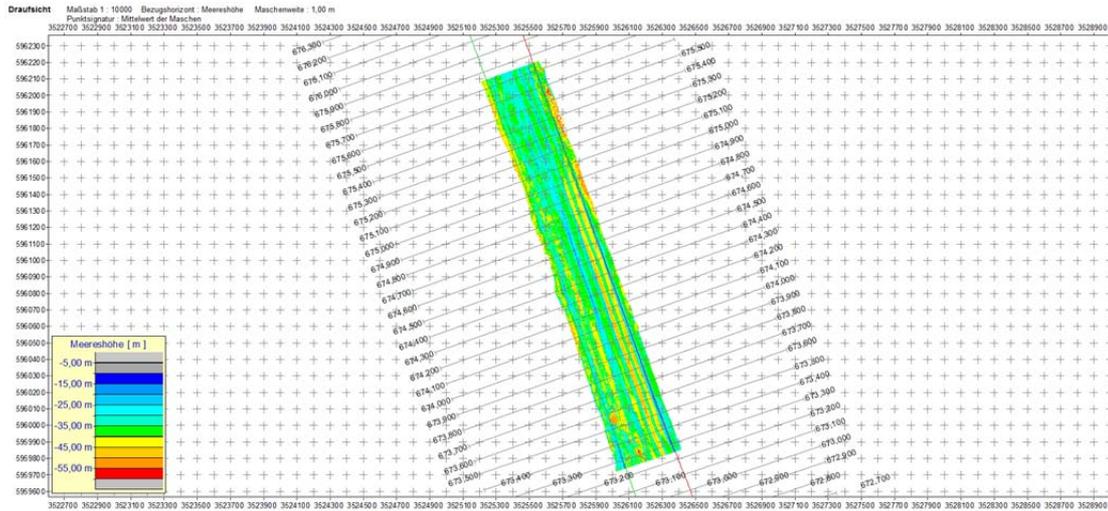


Abbildung 74: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015)

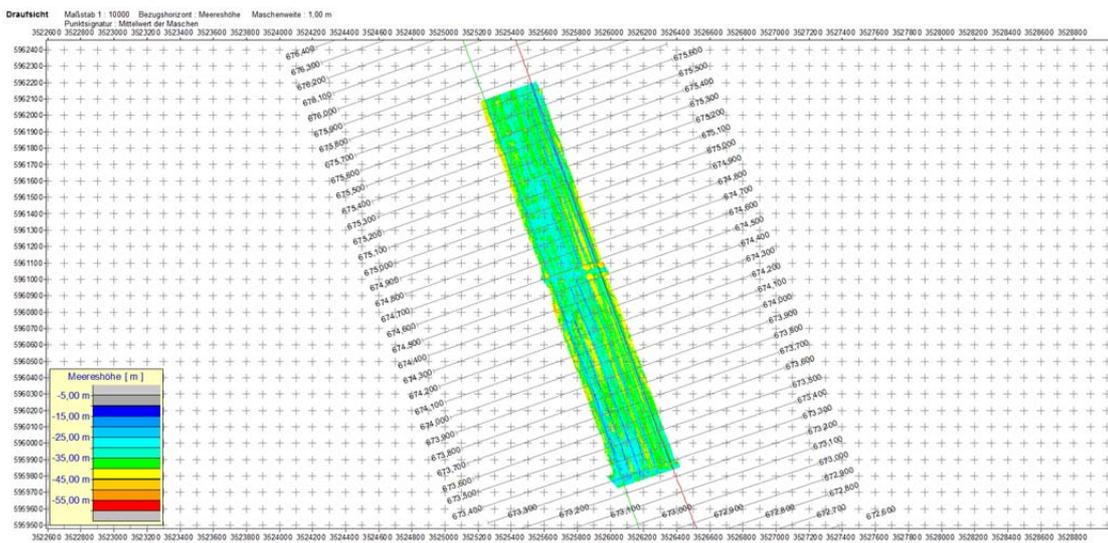


Abbildung 75: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015)

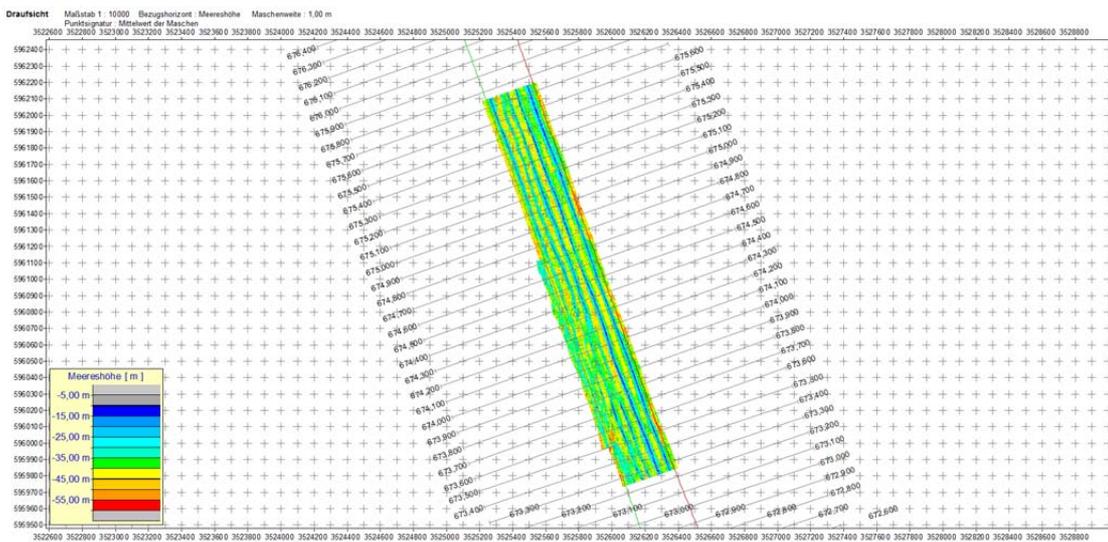


Abbildung 76: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016)

Im Gegensatz zu den Quality Werten zeigen sich im April 2016 bei den Intensity Werten ausgeprägte Streifenmuster. Die Dämpfung im April 2016 ist gegenüber Oktober / Dezember 2015 ausgiebig größer (Abbildung 76).

4.1.3 Differenzen gegenüber einer Modelloberfläche

Ausgehend von qualitativ hochwertigen Messwerten lassen sich aus den Beobachtungen Modellflächen ableiten. In diesem Fall wurden für die Modellierung nur Daten mit einem Quality Wert von ≤ 25 und einem Intensity Wert von ≥ 40 genutzt. Auf Basis der so erstellten Modelle lassen sich für jeden einzelnen Messwert die Differenzen zwischen den Modellhöhen und den realen Beobachtungen ableiten. Für jeden Peilstreifen stellt die Standardabweichung der Differenzen ein Maß für die Streuung der Messwerte dar. In Abbildung 77 und Abbildung 78 sind die Quality bzw. Intensity Werte der Differenz zur Modelloberfläche gegenübergestellt. Bei den hier dargestellten Werten handelt es sich um Messwerte aus dem Oktober 2015 im Bereich des Sedimentfangs Wedel. Bei den Messstreifen handelt es sich einmal um einen „guten“ Messstreifen (Standardabweichung der Differenzen ist sehr gering) und einen sehr verrauschten Messstreifen (Standardabweichung der Differenzen ist sehr groß). Aus der Abbildung 77 geht hervor, dass nahezu alle Differenzen innerhalb eines relativ geringen Intervalls liegen. Die überwiegende Mehrzahl aller Beobachtungen weisen einen geringen Quality Wert und einen großen Intensity Wert auf. Auch ist die Streuung eher gering. Im Gegensatz dazu ist in Abbildung 78 der Zustand bei einem sehr stark verrauschten Messstreifen dargestellt. Die Quality Werte verteilen sich über die gesamte Bandbreite der Differenzen. Bei den Intensity Werten geht aus der Grafik hervor, dass die Differenzen ab einem Intensity Wert von -40 über die gesamte Bandbreite verteilt sind. Größere (also bessere) Intensity Werte treten hingegen nur in dem Differenzbereich von $\approx \pm 0,15\text{m}$ auf.

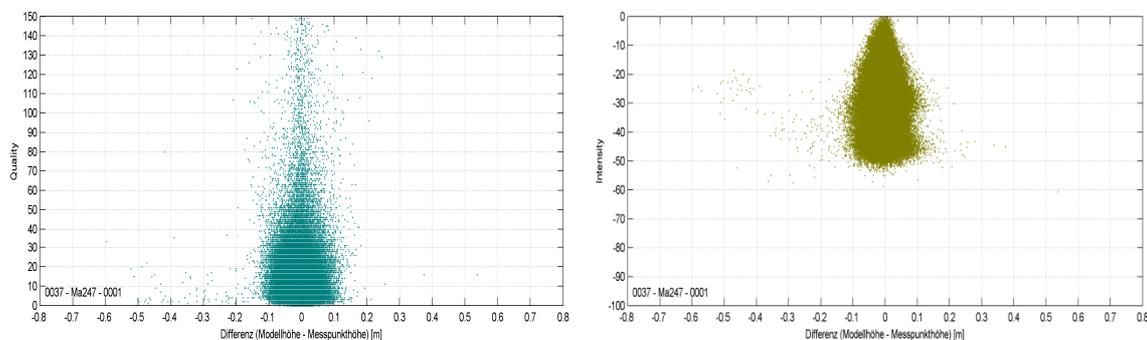


Abbildung 77: Gegenüberstellung der Differenzen gegenüber den Quality (oben) und Intensity (unten) Werten eines problemlosen Peilstreifens (Oktober 2015, Sedimentfang Wedel)

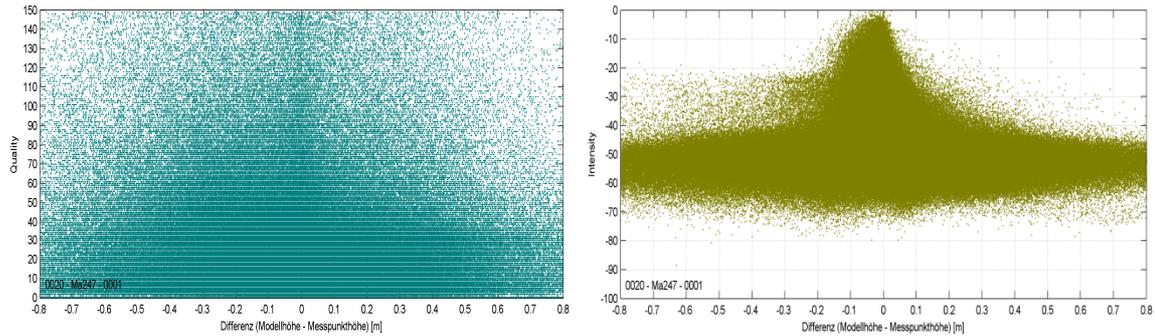


Abbildung 78: Darstellung analog Abbildung 77, nur Nutzung eines verrauschten Messstreifens (Oktober 2015, Sedimentfang Wedel)

Ein vergleichbares Bild zeigt sich im Bereich Juelsand. Vergleichbar den bisherigen Abbildungen sind in Abbildung 79 und Abbildung 80 jeweils die Differenzen den Quality und Intensity Werten gegenübergestellt. Analog der Abbildung 77 treten in dem „guten“ Peilstreifen wenig größere Differenzen auf. Bei dem Streifen mit der größten Standardabweichung im Bereich Juelsand (Abbildung 80) zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Differenzen von den Intensity Werten. Es zeigt sich, dass Messungen mit Intensity Werten <-40 über die ganze Bandbreite der Differenzen verteilt sind, wohingegen weniger stark gedämpfte Messwerte um $\pm 0,2\text{m}$ von der Modellfläche abweichen.

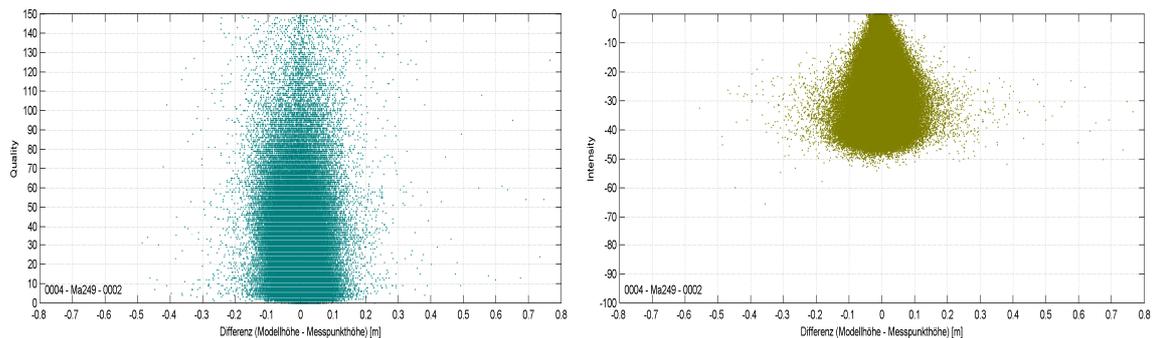


Abbildung 79: Vergleichbar Abbildung 77, problemloser Peilstreifen im Bereich Juelsand (Oktober 2015)

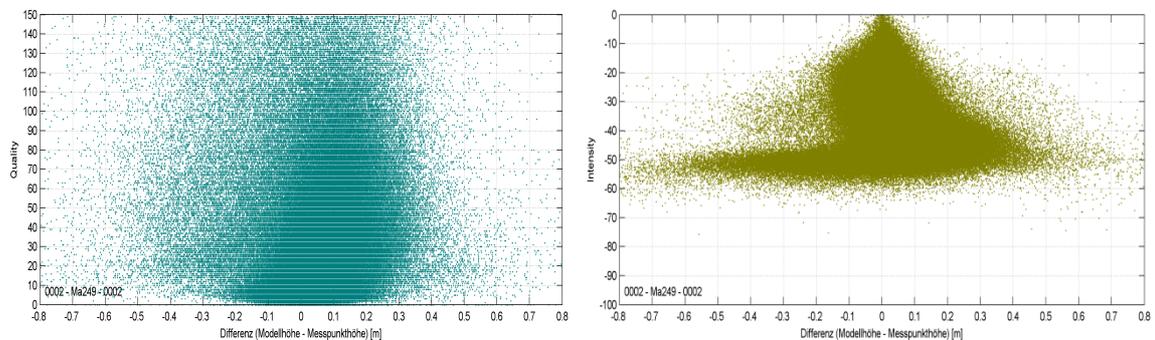


Abbildung 80: Analog Abbildung 79, stark verrauschter Messstreifen im Bereich Juelsand (Oktober 2015)

Vergleichbare Situationen sind in allen Gebieten und in allen Kampagnen vorhanden. Exemplarisch sind Abbildung 81 und Abbildung 82 noch zwei Messstreifen der Kampagne 2016 im Bereich Juelsand dargestellt. Bei dem guten Messstreifen ergibt sich ein ähnliches Bild gegenüber den zuvor beschriebenen Messstreifen. Innerhalb des Messstreifens mit der größten Standardabweichung der Differenzen zeigt sich eine Abhängigkeit der Differenzen von den Intensity Werten. Große Differenzen treten nur in Bereichen mit einer starken Signaldämpfung auf. Gegenüber den anderen Werten zeigt sich aber hier, dass auch weniger stark gedämpfte Messwerte sehr große Differenzen zur Modellfläche aufweisen können. Im Gegensatz zu den vorherigen Grafiken ist in diesem Fall keine eindeutige Abhängigkeit der Differenzen von den Quality Werten ersichtlich. Auch bei vermeintlich guten Quality Werten treten größere Abweichungen der Messwerte zur Modellfläche auf. Im Anhang sind für Vergleichbare Abbildungen für alle Peilstreifen / Kampagnen dargestellt.

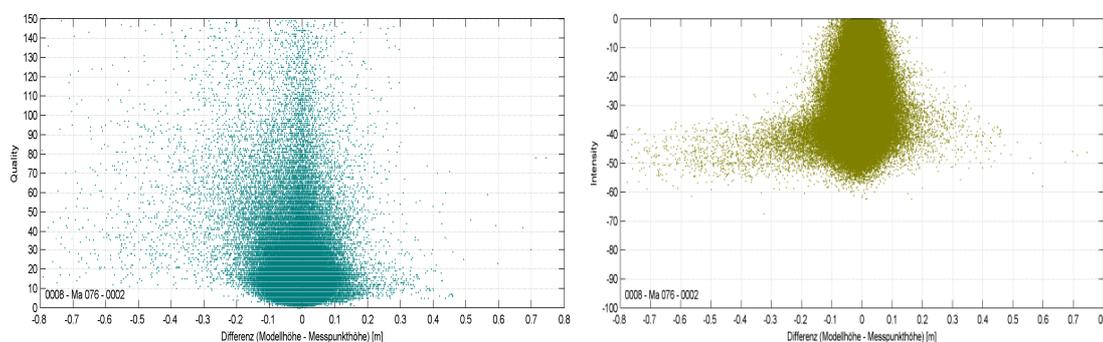


Abbildung 81: Vergleichbar Abbildung 77, problemloser Peilstreifen im Bereich Juelsand (April 2016)

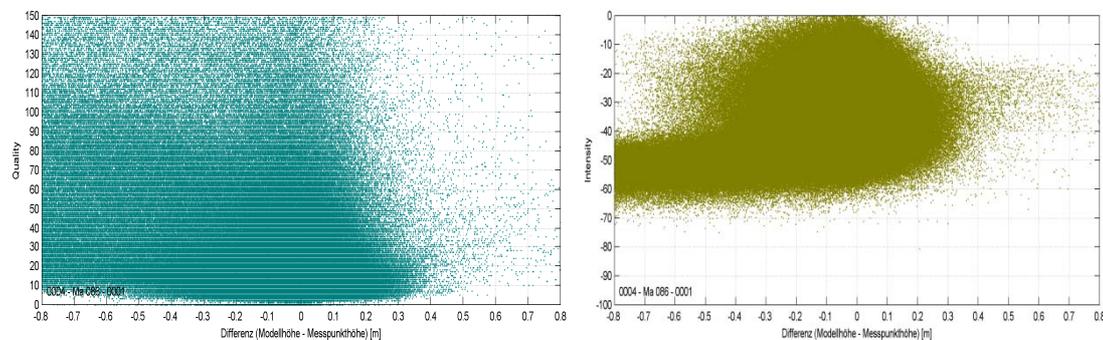


Abbildung 82: : Analog Abbildung 79, stark verrauschter Messstreifen im Bereich Juelsand (April 2016)

4.1.4 Fazit

Sowohl aus den Profilansichten, als auch aus den flächenhaften Darstellungen geht hervor, dass die augenscheinlich schlechte Messwerte bzw. stark streuende Messwerte über schlechte Quality Werte bzw. sehr starke Dämpfungen verfügen.

Es ist weiterhin so, dass innerhalb kleinräumiger Bereiche sowohl qualitativ hochwertige Messwerte als auch schlechtere Messwerte vorhanden sein können. Eine Betrachtung der Maschendifferenzen der Quality und Intensity Werte zeigt, dass die Differenz innerhalb der Maschen sehr groß und damit sowohl hochwertige (gute) und schlechte Werte vorhanden sind. Die genauen Ursachen der Variationen sind nicht bekannt. Es steht an dieser Stelle nur fest, dass Differenzen vorhanden sind und diese bei starken Signaldämpfungen und schlechten Quality Werten im Allgemeinen auch größer sind.

In einem nächsten Schritt ist daher zu analysieren, wie die statistische Verteilung der Messungen ist bzw. welchen prozentualen Anteil Beobachtungen mit schlechten Quality und Intensity Werten ausmachen.

4.2 Häufigkeitsverteilungen und Messpunktdichte

Im Folgenden wird in den drei ausgewählten Bereichen näher analysiert, wieviel Messungen mit welchen weiterführenden Merkmalen vorhanden sind. Es sollen damit die Auswirkungen entsprechender Filterungen auf die Messwertanzahl sowie die mittlere Punktdichte dargestellt werden.

In Tabelle 5 ist die Häufigkeitsverteilung der Quality Werte für die drei Bereiche in den drei Kampagnen näher dargestellt. Aus der Tabelle geht hervor, dass zu allen Zeiten und in allen Bereichen nahezu 90% aller Beobachtungen einen Quality Wert von <50 aufwiesen. Ebenfalls in allen Bereichen weisen etwa >75% aller Beobachtungen einen Quality Wert von <25 aus. Anders ausgedrückt würde sich die Anzahl der Beobachtungen um 10% bzw. 25% reduzieren, wenn nur die Beobachtungen näher berücksichtigt werden, deren Quality Wert kleiner als 50 bzw. 25 ist (vgl. Absatz 2.4). Ergänzend zu der Tabelle sind in Abbildung 83 die Häufigkeitsverteilungen dargestellt.

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Quality Werte in den betrachteten Bereichen

| | Anzahl von Beobachtungen innerhalb bestimmter Intervalle (Quality) [%] | | | | | | | | |
|---------|--|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|------|
| | Okt 15 | | | Dez 15 | | | Apr 16 | | |
| | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 |
| 0 .. 10 | 65,5 | 56,4 | 54,4 | 56,0 | 73,5 | 48,1 | 29,7 | 21,6 | 29,9 |
| 0 .. 20 | 80,3 | 74,2 | 74,4 | 73,7 | 89,0 | 71,1 | 73,4 | 69,4 | 79,5 |
| 0 .. 25 | 83,9 | 79,3 | 79,6 | 78,9 | 91,3 | 77,5 | 79,7 | 77,2 | 85,6 |
| 0 .. 30 | 86,7 | 83,2 | 83,5 | 82,9 | 92,8 | 82,4 | 84,0 | 81,6 | 89,0 |
| 0 .. 50 | 93,0 | 92,2 | 92,0 | 91,3 | 95,7 | 93,0 | 92,2 | 89,6 | 94,8 |

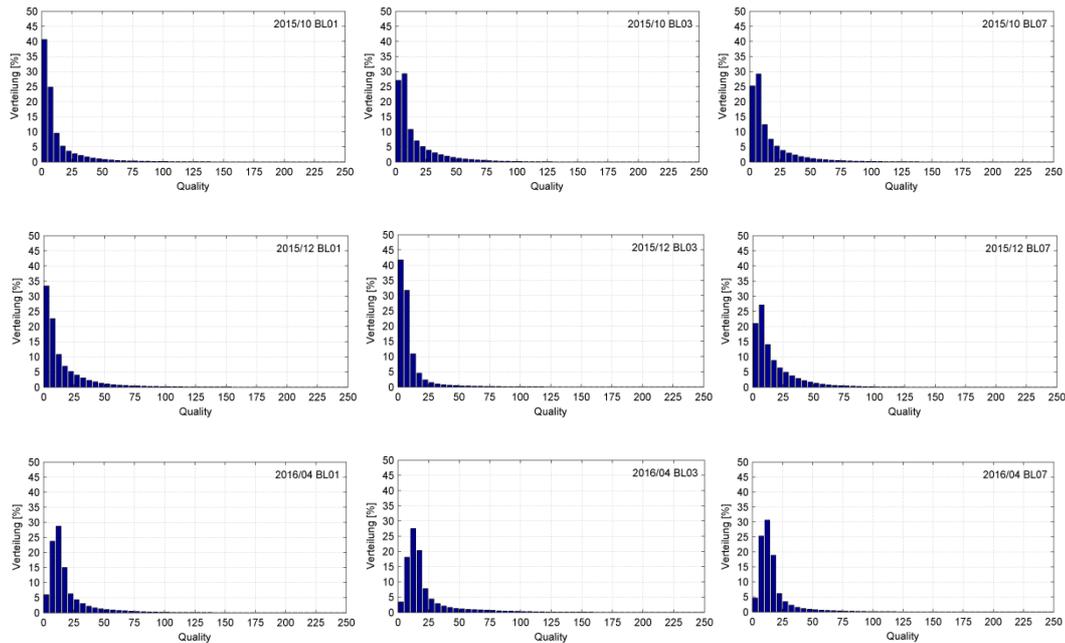


Abbildung 83: Histogramm der Quality Werte der drei Kampagnen

Bei einer Betrachtung der Histogramme über alle Messungen fällt auf, dass im Bereich des Sedimentfangs Wedel innerhalb der Messungen im Oktober bzw. Dezember 2015 relativ viele gute, qualitativ hochwertige (geringer Quality Faktor) Beobachtungen vorhanden sind (Mehrzahl zwischen 0 und 5). Ausnahme hierbei sind die Messungen im April 2016, bei welchen weniger gute Beobachtungen vorhanden sind bzw. mehr Beobachtungen Quality Informationen zwischen 5 und 20 aufweisen.

In Tabelle 6 und Abbildung 84 sind die Verteilungen der Intensity Werte dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass nahezu alle Messungen Intensity Werte von <-60 aufweisen. Insgesamt scheinen die Histogramme der Intensity Werte die Unterschiede zwischen den Kampagnen aber nicht so deutlich wieder zu spiegeln als die Quality Informationen

Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der Intensity Werte in den betrachteten Bereichen

| | Anzahl von Beobachtungen innerhalb bestimmter Intervalle (Intensity) [%] | | | | | | | | |
|----------|--|----------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|-------|
| | Okt 15 | | | Dez 15 | | | Apr 16 | | |
| | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 |
| 0 .. -10 | 1,3 | 1,5 | 0,6 | 1,7 | 2,0 | 0,6 | 4,6 | 4,5 | 2,2 |
| 0 .. -20 | 8,1 | 8,4 | 5,9 | 8,3 | 12,6 | 7,1 | 13,3 | 16,2 | 10,3 |
| 0 .. -40 | 59,0 | 70,1 | 68,8 | 49,3 | 77,0 | 76,6 | 60,0 | 71,4 | 57,5 |
| 0 .. -60 | 99,1 | 100,0 | 99,9 | 99,8 | 99,9 | 100,0 | 99,4 | 99,7 | 99,2 |
| 0 .. -80 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

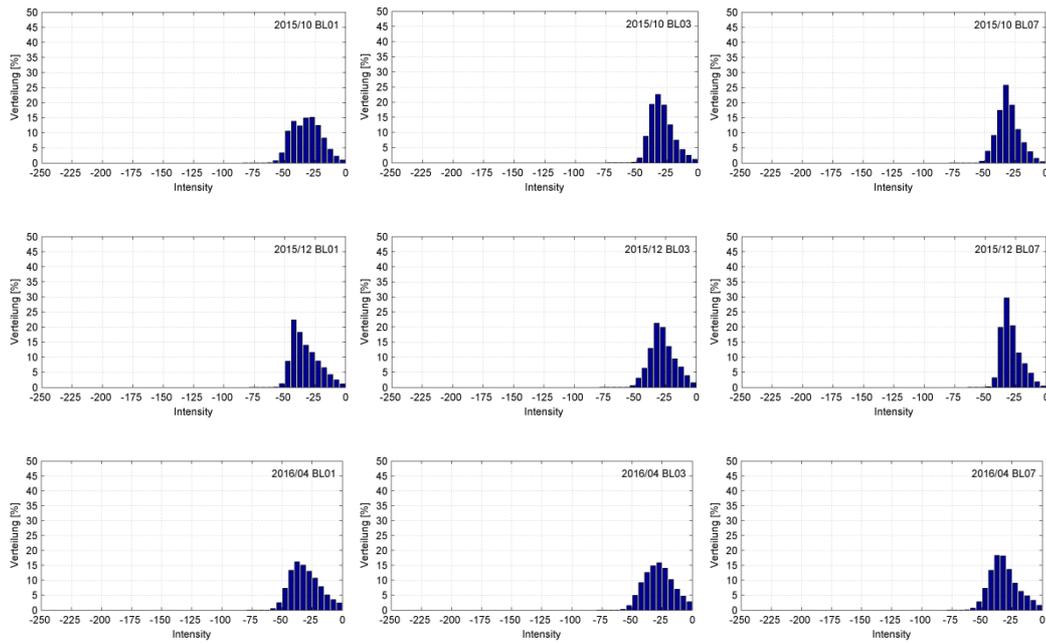


Abbildung 84: Histogramm der Intensity Werte der drei Kampagnen

Neben den Quality und Intensity Werten ist in diesem Zusammenhang auch eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Messpunktverteilung und Beamwinkel interessant. In Tabelle 7 ist der Zusammenhang zwischen dem Öffnungswinkel und der Beobachtungsanzahl dargestellt. Aus der Tabelle ergibt sich, dass zwischen 16% und 25% der Messungen einen Beamwinkel von $\pm 15^\circ$ aufweisen. Dies resultiert daher, dass bei größeren Tiefen ein entsprechender Überlappungsbereich beider Schwinger am Boden vorhanden ist. Dementsprechend sind in diesem Bereich wesentlich mehr Messungen vorhanden.

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der Beobachtungen in Relation zu dem Beamwinkel

| | Anzahl von Beobachtungen innerhalb bestimmter Beamwinkel [%] | | | | | | | | |
|----------|--|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|------|
| | Okt 15 | | | Dez 15 | | | Apr 16 | | |
| | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 |
| 0 .. 15 | 26,6 | 16,5 | 17,9 | 24,6 | 24,6 | 16,7 | 24,5 | 22,9 | 18,6 |
| 15 .. 30 | 17,4 | 9,9 | 10,7 | 16,1 | 16,2 | 10,9 | 16,9 | 15,4 | 12,4 |
| 30 .. 45 | 21,4 | 13,2 | 14,1 | 22,5 | 22,4 | 15,5 | 22,8 | 21,1 | 17,3 |
| 45 .. 60 | 29,9 | 22,8 | 23,8 | 36,2 | 36,0 | 29,5 | 34,9 | 32,9 | 30,4 |
| 60 .. 75 | 4,7 | 37,6 | 33,4 | 0,6 | 0,8 | 27,4 | 0,9 | 7,8 | 21,4 |

Aus der Tabelle gehen weiterhin die Einschränkungen des Beamwinkels während der Messungen hervor. Während der Messung im Oktober 2015 wurde im Bereich Sedimentfang Wedel der Öffnungswinkel auf 60° reduziert. Im Bereich Juelsand erfolgte diese Einschränkung nicht. Die Messungen mit dem Peilschiff Wedel zeigen, dass der Beamwinkel in den Bereichen Juelsand und Wedel auf 60° eingeschränkt wurde. In dem Fenster zwischen 60° und 75° liegen in diesen Bereichen kaum Beobachtungen vor. Demgegenüber weisen im Dezember 2015 bzw. April 2016 etwa 22%-27% einen Beamwinkel zwischen 60° und 75° aus. Die Einschränkung des Beamwinkels auf 60° reduziert damit die Beobachtungsanzahl um etwa diese Beträge.

Werden bestimmte Filterkombinationen aus Beamwinkel, Quality und Intensity angewendet,

ergeben sich die in Tabelle 8 dargestellten prozentualen Anteile der Beobachtungen. In dieser Tabelle wird beschrieben, wieviel % alle vorhanden Messwerte innerhalb der definierten Schranken in Bezug auf Beamwinkel, Quality und Intensity liegen.

Sollen beispielsweise nur die Werte genutzt werden, deren Quality Wert 20 nicht übersteigt und einen Intensity Wert von ≥ -40 aufweisen, ergibt sich eine Messwertanzahl von 56,6% im Bereich Sedimentfang Wedel im Oktober 2015. Praktisch bedeutet dies, dass im Oktober 2015 56,6% aller Beobachtungen diese Filterkriterien erfüllt haben. Die Messung im Dezember 2015 beinhaltet mehr gute Beobachtungen bzw. unter Anwendung der gleichen Filterschranken würden im Dezember in den Bereichen Juelsand und Blatt 07 etwa 74,7% bzw. 62% der Beobachtungen erhalten bleiben. Ergänzend sind in Tabelle 9 die mittleren Punktdichten über den gesamten Bereich dargestellt. Dabei ist aber zu beachten, dass die tatsächliche Punktdichte von Ort zu Ort sehr stark schwanken kann. So ist es möglich, dass in einzelnen Bereichen tatsächlich nur sehr wenige Messungen den Anforderungen genügen und so Datenlücken entstehen, wohingegen in anderen Bereichen weitaus mehr Messungen den Anforderungen genügen.

In den Daten bzw. den vorangegangenen Abbildungen hat sich gezeigt, dass prinzipiell eine Korrelation zwischen den Quality Werten und den Intensity Werten besteht. Bei einer großen Signaldämpfung weisen die Quality Werte in der Regel auch schlechte Werte auf und umgekehrt. Kommen nur Filter auf Basis von einem Parameter zum Einsatz, sollten sich dennoch vergleichbare Werte wie in Tabelle 8 ergeben. Die Erfahrung zeigt aber, dass eine Kombination aus beiden Filtern am zielführendsten ist.

Tabelle 8: Datenreduktion aufgrund von Filteransätzen als prozentualer Anteil aller Messungen der jeweiligen Kampagne

| Anzahl von Beobachtungen unter Berücksichtigung bestimmter Filterschranken | | | | | | | | |
|---|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|------|
| Okt 15 | | | Dez 15 | | | Apr 16 | | |
| Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 |
| Quality ≤ 20 - Intensity ≥ -40 - Beamwinkel $\leq 65^\circ$ | | | | | | | | |
| 56,1 | 57,5 | 55,8 | 47,9 | 74,7 | 62,0 | 54,0 | 56,4 | 50,4 |
| Quality ≤ 20 - Intensity ≥ -40 | | | | | | | | |
| 56,6 | 62,9 | 59,0 | 47,9 | 74,7 | 62,4 | 54,0 | 58,5 | 51,5 |
| Quality ≤ 20 - Intensity ≥ -50 | | | | | | | | |
| 74,0 | 73,9 | 73,2 | 71,1 | 88,5 | 71,1 | 70,3 | 68,3 | 74,2 |
| Quality ≤ 25 - Intensity ≥ -50 | | | | | | | | |
| 76,6 | 79,0 | 78,1 | 75,5 | 90,7 | 77,4 | 75,5 | 75,6 | 79,2 |
| Quality ≤ 25 - Intensity ≥ -60 | | | | | | | | |
| 83,3 | 79,3 | 79,6 | 78,8 | 91,3 | 77,5 | 79,6 | 77,2 | 85,3 |
| Quality ≤ 30 - Intensity ≥ -60 | | | | | | | | |
| 86,1 | 83,2 | 83,5 | 82,8 | 92,8 | 82,4 | 83,8 | 81,5 | 88,6 |
| Quality ≤ 40 - Intensity ≥ -60 | | | | | | | | |
| 89,9 | 88,7 | 88,7 | 88,1 | 94,6 | 89,1 | 89,0 | 86,5 | 92,3 |
| Quality ≤ 50 - Intensity ≥ -60 | | | | | | | | |
| 92,3 | 92,2 | 92,0 | 91,2 | 95,7 | 93,0 | 91,9 | 89,4 | 94,3 |

Tabelle 9: Punktdichte und Reduktion bei unterschiedlichen Filteransätzen

| | Punktdichte [Pkt./m ²] | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|
| | Okt 15 | | | Dez 15 | | | Apr 16 | | |
| | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 | Wedel | Juelsand | BL07 |
| Fläche [m²] | 889492 | 900530 | 930732 | 889565 | 853860 | 928265 | 843581 | 1020917 | 883544 |
| ohne Filter | 48,3 | 13,0 | 19,5 | 24,1 | 27,9 | 16,6 | 31,5 | 34,4 | 18,5 |
| Q≤20; l_z≥40; BW≤65° | 27,1 | 7,5 | 10,9 | 11,6 | 20,9 | 10,3 | 17,0 | 19,4 | 9,3 |
| Q≤20; l_z≥40 | 27,3 | 8,2 | 11,5 | 11,6 | 20,9 | 10,4 | 17,0 | 20,1 | 9,5 |
| Q≤20; l_z≥50 | 35,7 | 9,6 | 14,3 | 17,2 | 24,7 | 11,8 | 22,1 | 23,5 | 13,8 |
| Q≤20; l_z≥50 | 37,0 | 10,3 | 15,2 | 18,2 | 25,4 | 12,9 | 23,7 | 26,0 | 14,7 |
| Q≤25; l_z≥60 | 40,2 | 10,3 | 15,5 | 19,0 | 25,5 | 12,9 | 25,0 | 26,5 | 15,8 |
| Q≤30; l_z≥60 | 41,6 | 10,8 | 16,3 | 20,0 | 25,9 | 13,7 | 26,4 | 28,0 | 16,4 |
| Q≤40; l_z≥60 | 43,4 | 11,5 | 17,3 | 21,3 | 26,4 | 14,8 | 28,0 | 29,7 | 17,1 |
| Q≤50; l_z≥60 | 44,6 | 12,0 | 18,0 | 22,0 | 26,7 | 15,5 | 28,9 | 30,7 | 17,5 |

4.3 Zusammenhang zwischen Beamwinkel, Quality und Intensity Werten

Im Folgenden wird dargestellt, inwiefern Zusammenhänge zwischen den Beamwinkeln und den Intensity- und Quality Werten bestehen. Bedingt durch das schräg auftreffende Signal ist damit zu rechnen, dass die Messwerte im äußeren Bereich bzw. bei hohen Beamwinkeln prinzipiell schlechter als Messwerte im Zentralbereich der Schwinger sind. Exemplarisch sind in Abbildung 85 und Abbildung 86 die Intensity bzw. Quality Werte eines Peilstreifens (0005-Ma253-0002, Blatt 07, Oktober 2015) dem Beamwinkel gegenüber gestellt. Bei dem Peilstreifen handelt es sich um einen typischen Streifen in einem hydroakustisch unproblematischen Gebiet. Anhand beider Abbildungen wird der Zusammenhang deutlich. Im Bereich der äußeren Beamwinkel treten stärkere Signaldämpfungen auf, als dies im Zentralbereich der Fall ist. Der Übergang vom Zentralbereich in den Bereich der äußeren Beamwinkel erfolgt dabei mehr oder weniger gleichförmig bzw. die Intensität wird gleichmäßig kleiner.

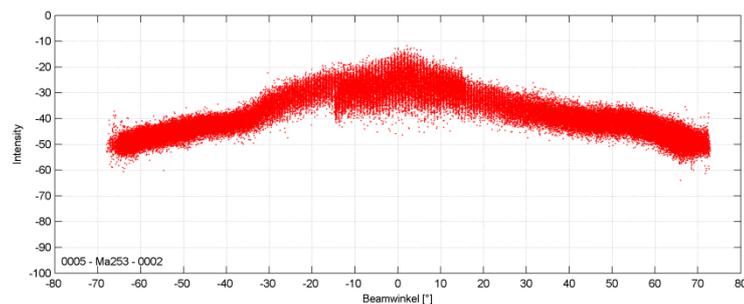


Abbildung 85: Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Intensity Werten (Okt. 2015)

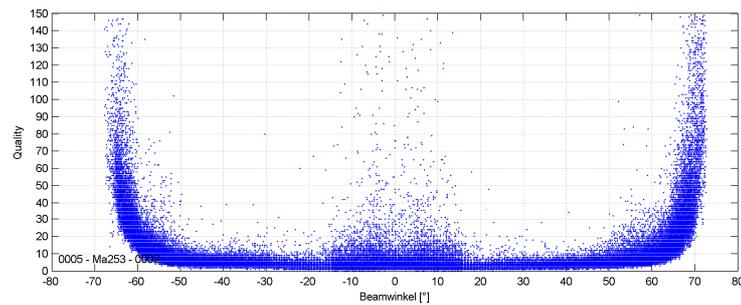


Abbildung 86: Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Quality - Werten (Okt. 2015)

Bedingt durch die Überlappung der Fächer der beiden Schwingerköpfe im Zentralbereich ergeben sich im Zentralbereich wesentlich mehr Beobachtungen. Im Fall der Dual Head Systeme sind die Transducer schräg eingebaut. Infolgedessen zeigt die Normale der Transduceroberfläche nicht senkrecht nach unten, sondern ist um den Einbauwinkel verkippt. Relativ zur Normalen der Transduceroberfläche bzw. zum Koordinatensystem der Schwinger werden Beobachtungen im Zentralbereich des Messschiffes unter einem großen Beamwinkel erfasst. Infolgedessen weisen diese Daten schlechtere Quality Werte auf. Da das Signal bzw. der Schallimpuls unterhalb des Schiffes normalerweise senkrecht auf die Oberfläche trifft, ist die Signaldämpfung (Intensity) gegenüber den Randbereichen geringer.

Im Folgenden wurden für die drei ausgewählten Bereiche jeweils der am wenigsten und am meisten verrauschte Messstreifen näher betrachtet. Eine Übersicht aller Messstreifen ist im Anhang gegeben.

4.3.1 Sedimentfang Wedel

Im Bereich des Sedimentfangs Wedel ergibt sich prinzipiell ein ähnliches Bild. Je nach Qualität des Peilstreifens ergibt sich ein klarer Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Intensity- und Quality Wert. In Abbildung 87 sind für zwei Peilstreifen die Zusammenhänge grafisch dargestellt. Im linken Bereich ist der augenscheinlich „beste“ Peilstreifen mit wenigen Problemen dargestellt, wohingegen im rechten Bereich der Abbildung ein Peilstreifen mit vielen schlechten Beobachtungen dargestellt ist. Ähnlich verhält es sich mit den Quality Werten (Abbildung 88). Sofern der Peilstreifen überwiegend gute Messungen enthält, ist ein Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Quality Wert deutlich aus den Beobachtungen ableitbar. Im Fall eines schlechten Peilstreifens (rechter Bereich der Abbildung) ist dies nicht mehr möglich. In Abbildung 87 und Abbildung 88 wurden die jeweils gleichen Peilstreifen dargestellt.

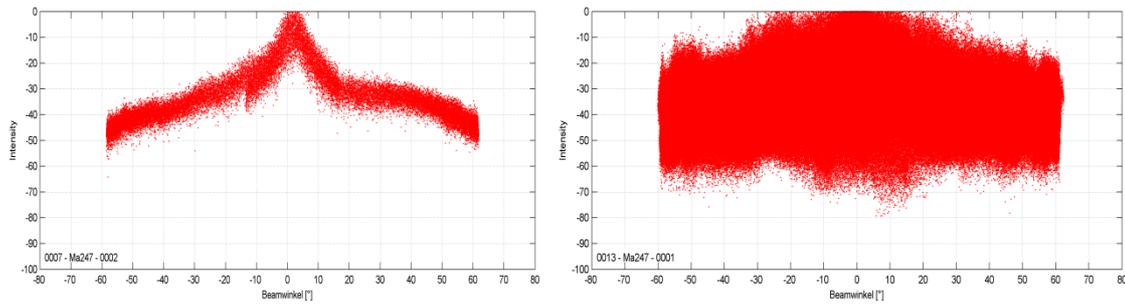


Abbildung 87: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Okt. 2015 (Links ein wenig problematischer und rechts ein Peilstreifen mit großen Variationen)

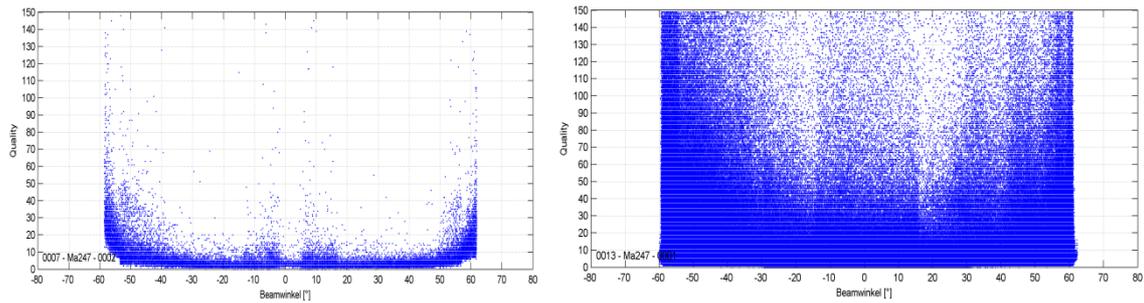


Abbildung 88: Zusammenhang zwischen Quality Werten und Beamwinkel im Okt. 2015 (gleiche Peilstreifen wie in Abbildung 87)

Vergleichbare Abbildungen lassen sich auch während der Kampagnen im Dezember 2015 und April 2016 darstellen (vgl. Abbildung 89 und Abbildung 90). Auch in diesen Kampagnen gab es Messstreifen mit wenig schlechten Beobachtungen (vgl. linke Bereiche der Abbildungen) und mit vielen schlechten Messungen (rechte Bereiche der Abbildungen).

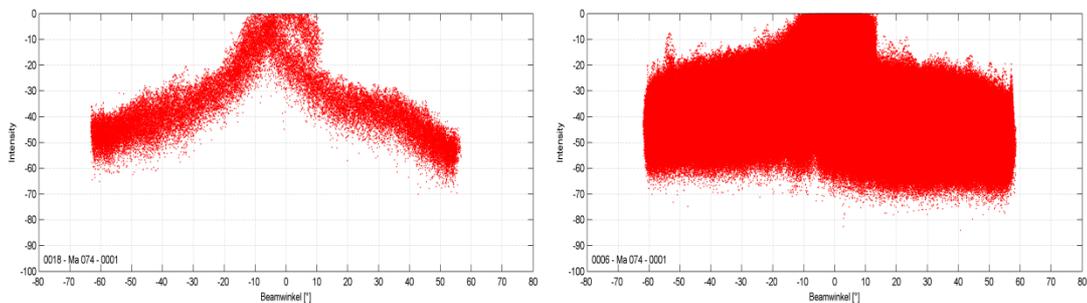


Abbildung 89: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Apr. 2016

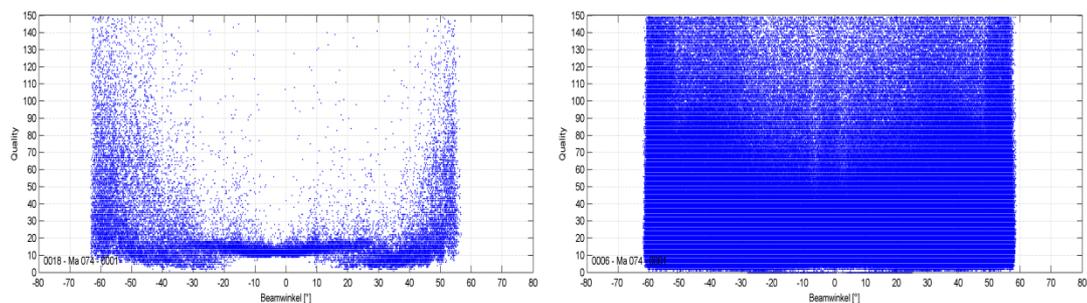


Abbildung 90: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Apr. 2016

4.3.2 Juelsand

Analog zu der Auswertung im Bereich Wedel sind auch im Bereich Juelsand gute und schlechte Beobachtungen vorhanden. In Abbildung 91 sind zwei Peilstreifen aus der Kampagne Oktober 2015 dargestellt. Die Daten vom April 2016 sind exemplarisch für zwei Peilstreifen in Abbildung 92 dargestellt. Auch in dieser Abbildung lassen sich Zusammenhänge zwischen der Qualität der Messwerte und den Beamwinkeln ableiten.

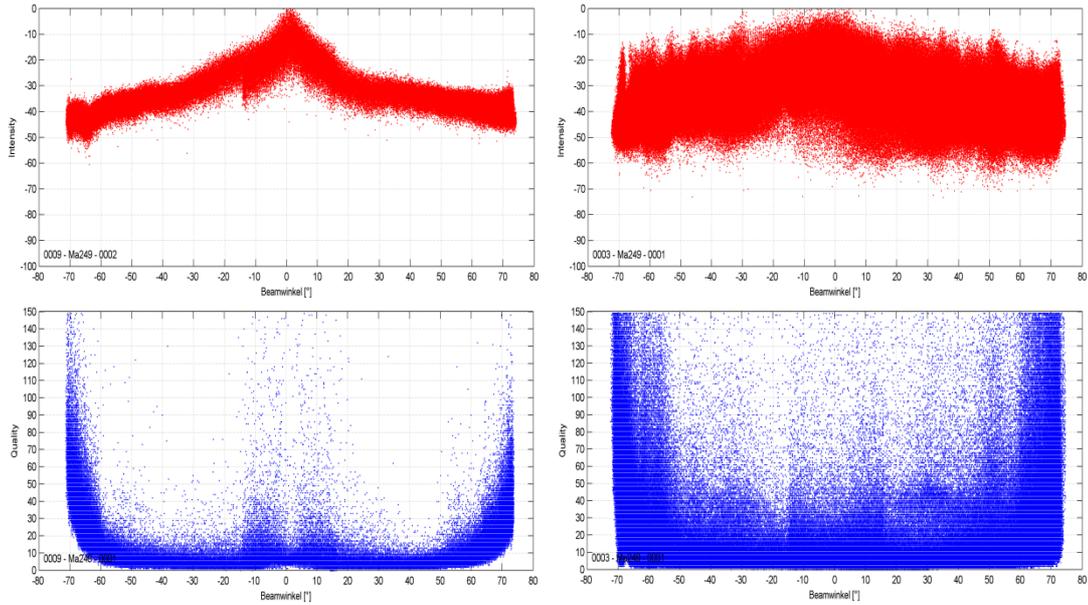


Abbildung 91: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Juelsand (Okt. 2015)

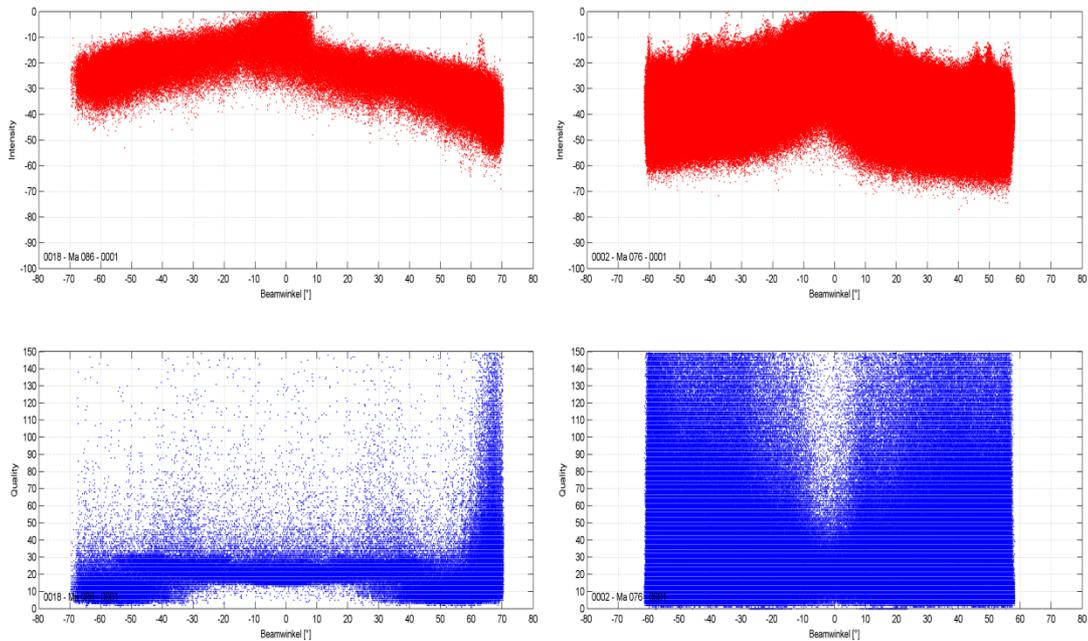


Abbildung 92: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Juelsand (Apr. 2016)

Tendenziell sind die Messungen der äußeren Beamwinkel fehleranfälliger als die Messungen im

Nadir des Schiffes. Bei der Betrachtung des linken Bereichs der Abbildung 92 fällt auf, dass die Verteilung asymmetrisch ist. Im Bereich der positiven Beamwinkel treten gegenüber den negativen Beamwinkeln mehr schlechte Beobachtungen auf. Dies ist damit zu begründen, dass während der Messfahrt in einem Randbereich des Peilstreifens schlechte Bodenbedingungen vorgeherrscht haben, als dies im anderen Bereich der Fall war.

4.3.3 Bereich Blatt 07

Im Bereich Blatt 07 lassen sich die Ergebnisse der Bereiche Wedel und Juelsand bestätigen. Abbildung 93 zeigt den besten und schlechtesten Peilstreifen der Kampagne Oktober 2015. In Abbildung 94 sind vergleichbare Ergebnisse der Kampagne April 2016 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass im April 2016 auch im Blatt 07 Peilstreifen mit relativ schlechten Bedingungen vorhanden erfasst wurden.

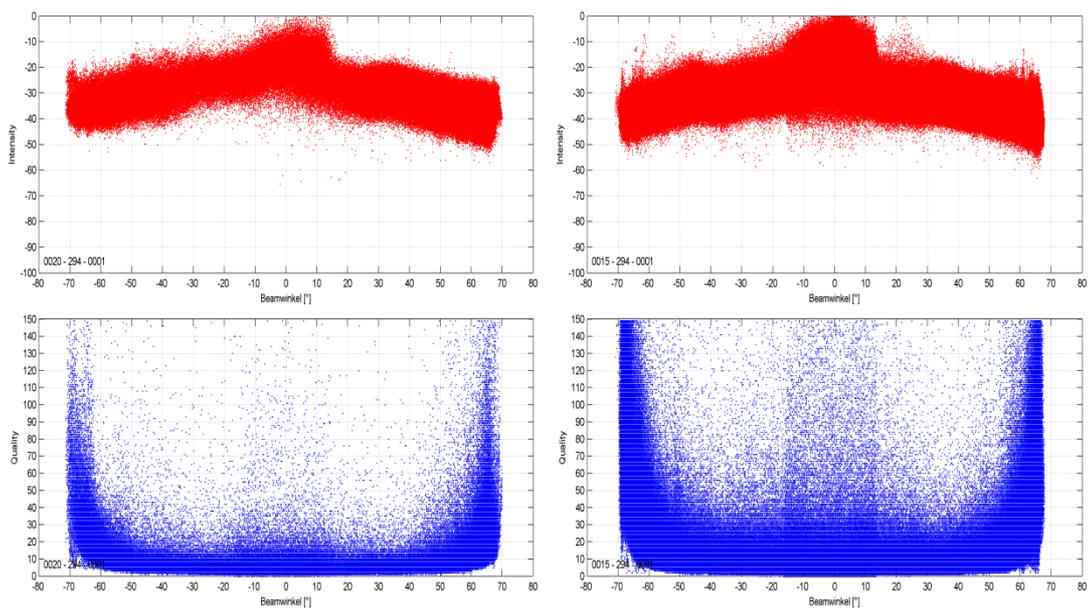
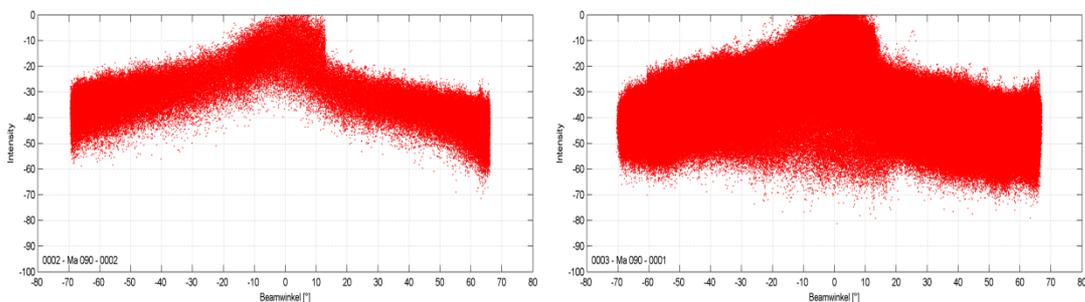


Abbildung 93: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015)



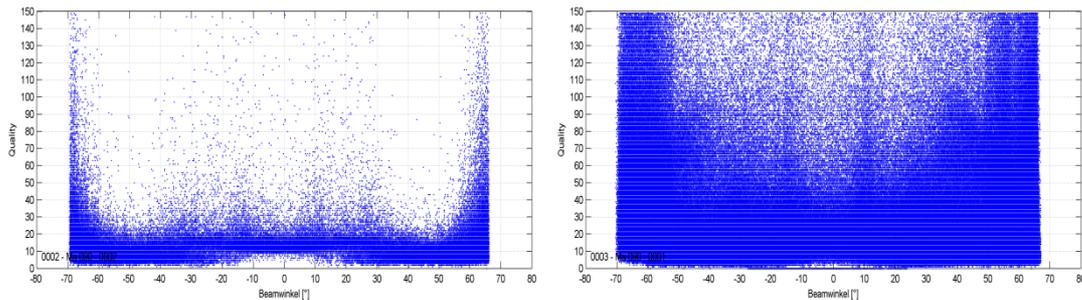


Abbildung 94: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016)

4.3.4 Fazit

In allen Bereichen und allen Kampagnen hat sich gezeigt, dass es Peilstreifen mit guten und Peilstreifen mit schlechten Beobachtungen gibt. Es ist ein Zusammenhang zwischen dem Beamwinkel und den Intensitäts- und Qualitätsinformationen ableitbar. Im Normalfall sind die Quality Werte über einen Großteil der Beamwinkel mehr oder weniger gleichmäßig verteilt. Nur den äußersten Randbereichen steigen die Werte schnell an. Die Dämpfung nimmt mit dem Beamwinkel zu, wobei der Anstieg gleichmäßiger ist. Es hat sich aber auch gezeigt, dass eine Filterung auf Basis der Beamwinkel nicht immer zielführend ist. Auch bei großen Beamwinkeln können gute Beobachtungen erfasst werden, die bei einer Beamwinkel Filterung eliminiert werden würden. Für einen Filteransatz eignen sich Quality und Intensity Werte wesentlich besser.

4.4 Filterung auf Basis von Quality und Intensity Werten

Wesentliches Ziel der Lösungsstrategie ist es, schlechte Beobachtungen vor Ort zu erkennen und so eine Nachmessung noch während der Messkampagne zu ermöglichen. Unter Nutzung der Quality und Intensity Werte können Filterungen durchgeführt werden. An Bord des Messschiffs erfolgen entsprechende Filterungen in Echtzeit und die Ergebnisse werden der Besatzung angezeigt. Die Besatzung ist so in der Lage, Gebiete mit schlechten Werten bzw. Schlechten Bedingungen vor Ort zu erkennen und noch während der Messkampagne entsprechende Bereiche erneut unter einem anderen Beamwinkel zu erfassen.

Im Folgenden werden verschiedene Schranken gesetzt und die gefilterten Daten näher analysiert. Dies beinhaltet insbesondere eine Analyse der Maschendifferenzen und der verbleibenden Punktdichte.

4.4.1 Bereich Sedimentfang Wedel

In Abbildung 95 sind die Beobachtungsanzahl sowie die Tiefendifferenzen der Maschen ohne weitere Filterungen dargestellt (Oktober 2015). Werden nur Beobachtungen genutzt, deren Quality Wert ≤ 20 , deren Intensity Wert ≥ -40 und der Beamwinkel $\leq 65^\circ$ sind, ergeben sich die in Abbildung 96 dargestellten Punktverteilungen und Tiefendifferenzen. Die Messungen im Bereich Wedel wurden mit einem max. Beamwinkel von 60° ausgeführt. Insofern spielt die Filterung nach Beamwinkeln an dieser Stelle keine Rolle. Wird der max. zulässige Quality Wert auf 25 und der minimale Intensity Wert auf -50 erhöht, ergeben sich die in Abbildung 97 dargestellten Punktverteilungen und Tiefendifferenzverteilungen. Analog sind in Abbildung 98 Punktverteilung und Tiefendifferenz bei einer Filterschranke von Quality ≤ 30 und Intensity ≥ -50 ergeben. Aus den

Beobachtungen geht hervor, dass im Bereich des Sedimentfangs bei dem ersten Filteransatz ($Q \leq 20$; $I \geq 40$) große Lücken vorhanden sind bzw. in größeren Bereichen kaum Beobachtungen verbleiben. Bei dem mittleren Filteransatz werden die Datenlücken geschlossen, jedoch erhöhen sich die Maschendifferenzen, was auf eine größere Streuung bzw. Fehlmessungen hindeutet. Der letzte Filteransatz bringt augenscheinlich keine Verbesserung.

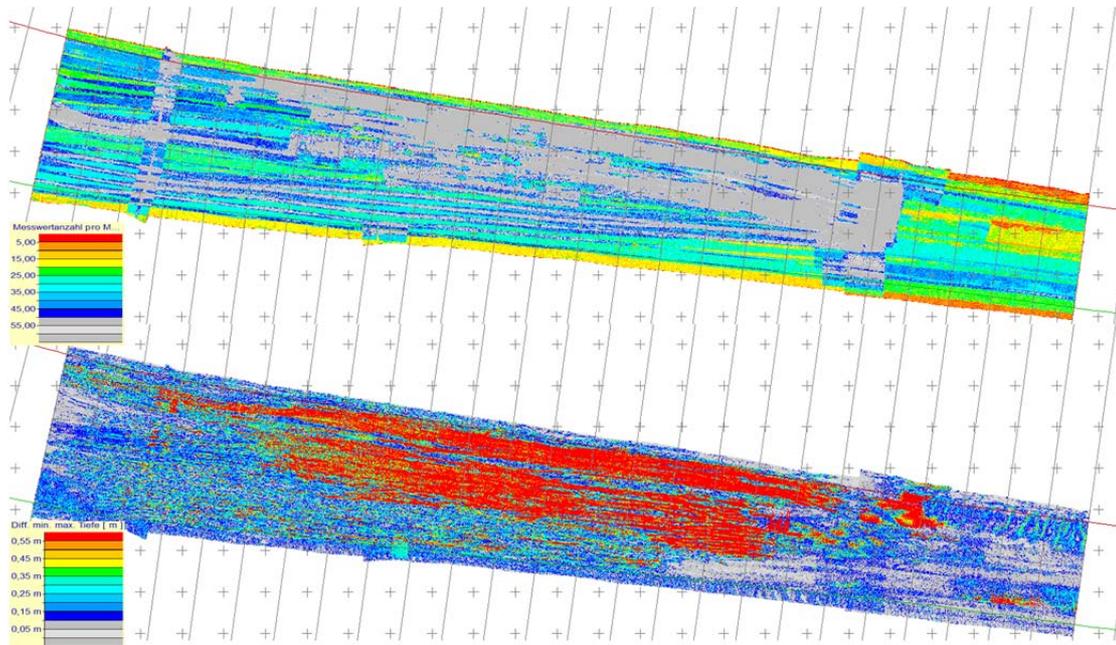


Abbildung 95: Beobachtungsanzahl und Maschendifferenz im Oktober 2015

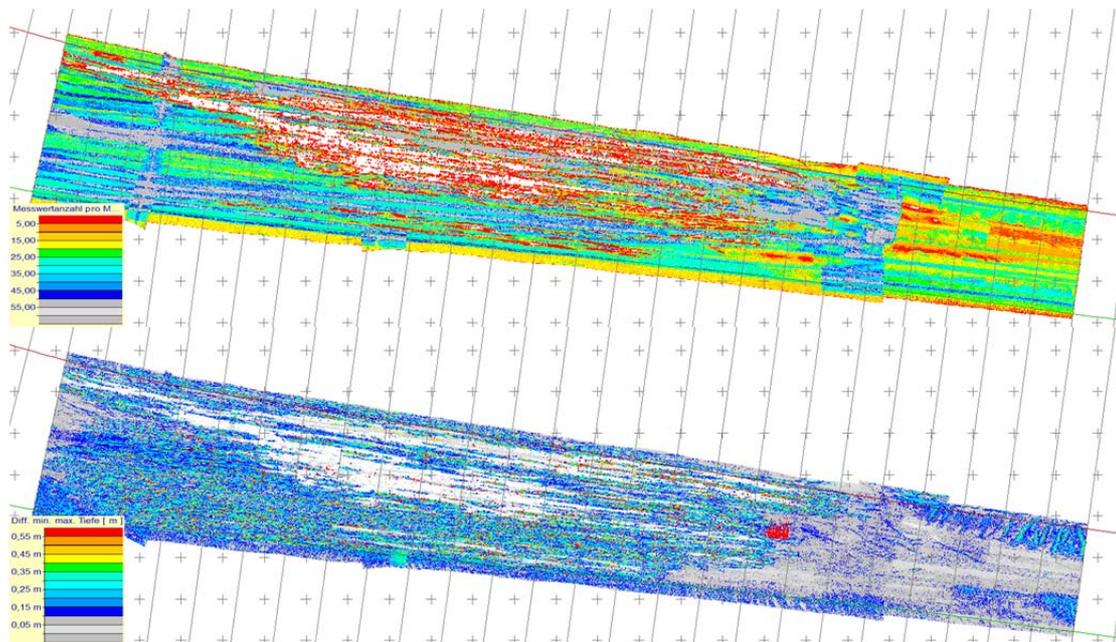


Abbildung 96: Analog Abbildung 95 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ 40

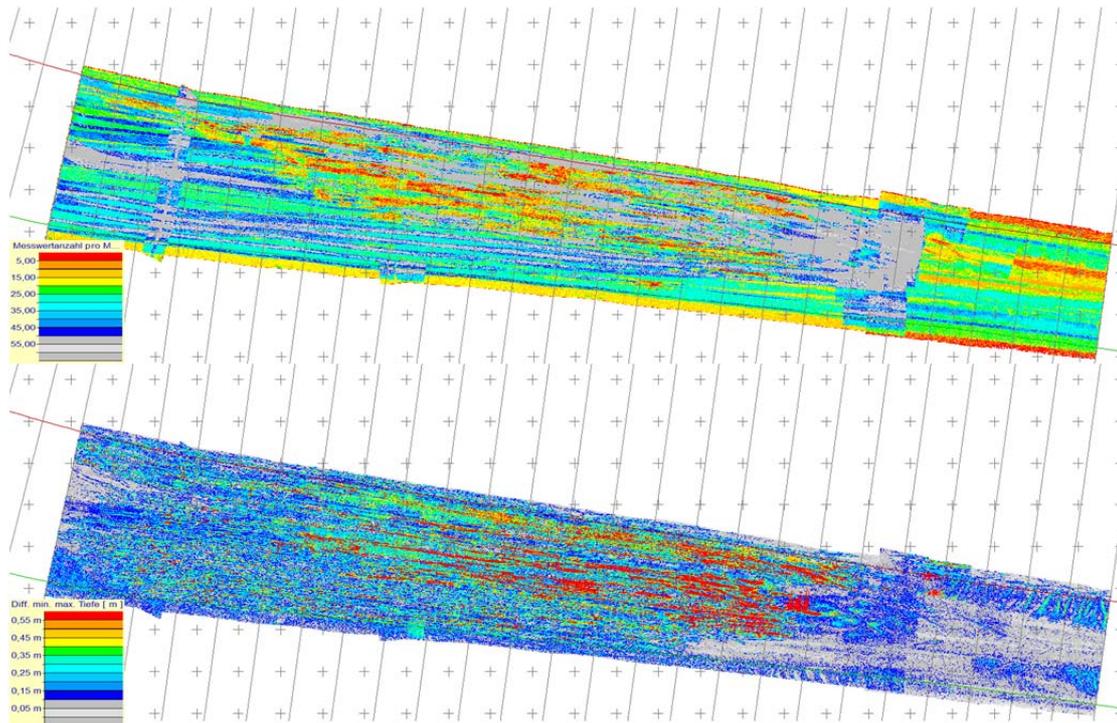


Abbildung 97: Analog Abbildung 95 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ 50

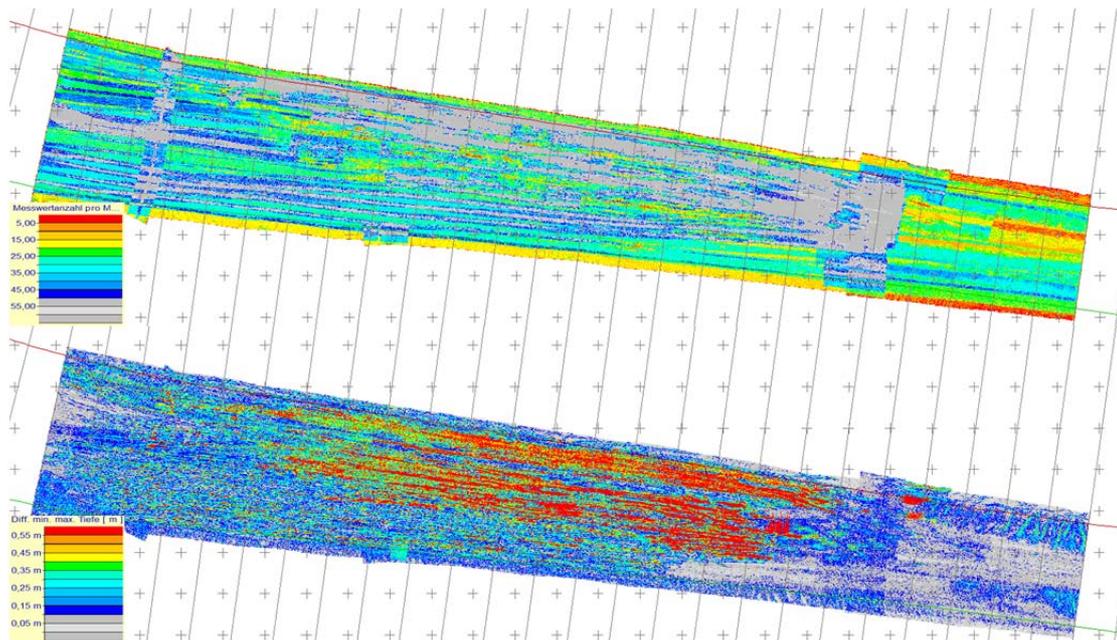


Abbildung 98: Analog Abbildung 95 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ 60

Ein vergleichbares Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Peildaten aus der Messung im Dezember 2015. In Abbildung 99 sind Punktverteilung und Tiefendifferenzen ohne weiterführende Filterungen dargestellt. Werden die Filterschranken angewendet ergeben sich die Abbildung 100 ($Q \leq 20$, $I \geq 40$), Abbildung 101 ($Q \leq 25$, $I \geq 50$) und Abbildung 102 ($Q \leq 30$, $I \geq 60$).

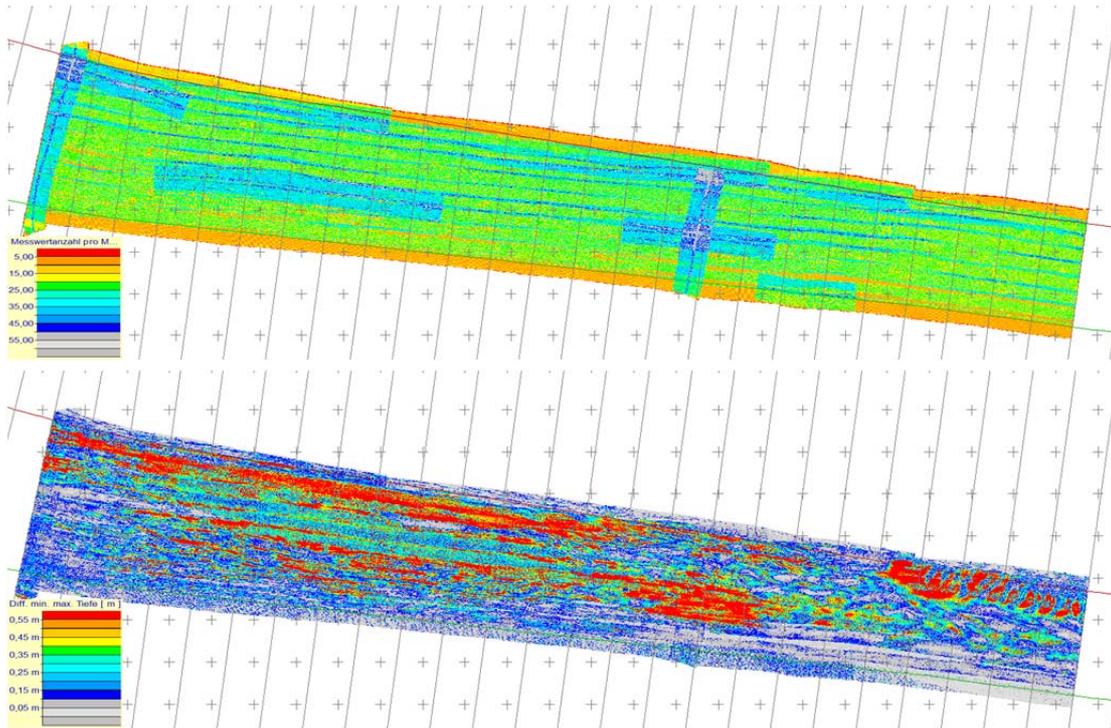


Abbildung 99: Punktverteilung und Tiefendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel (Dez. 2015)

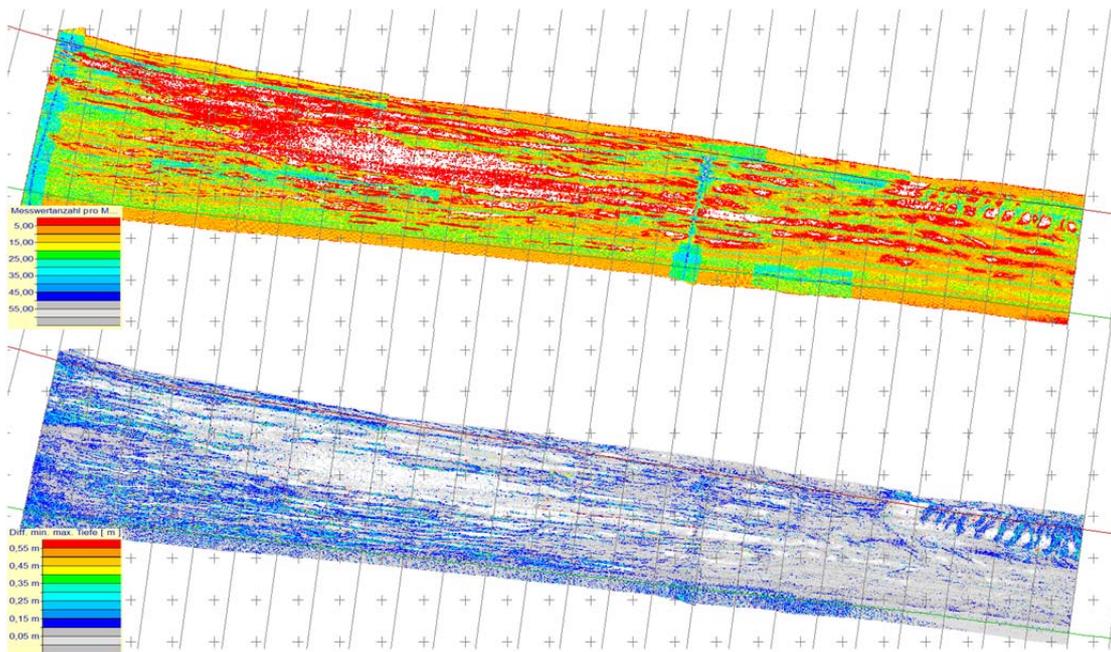


Abbildung 100: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ 40

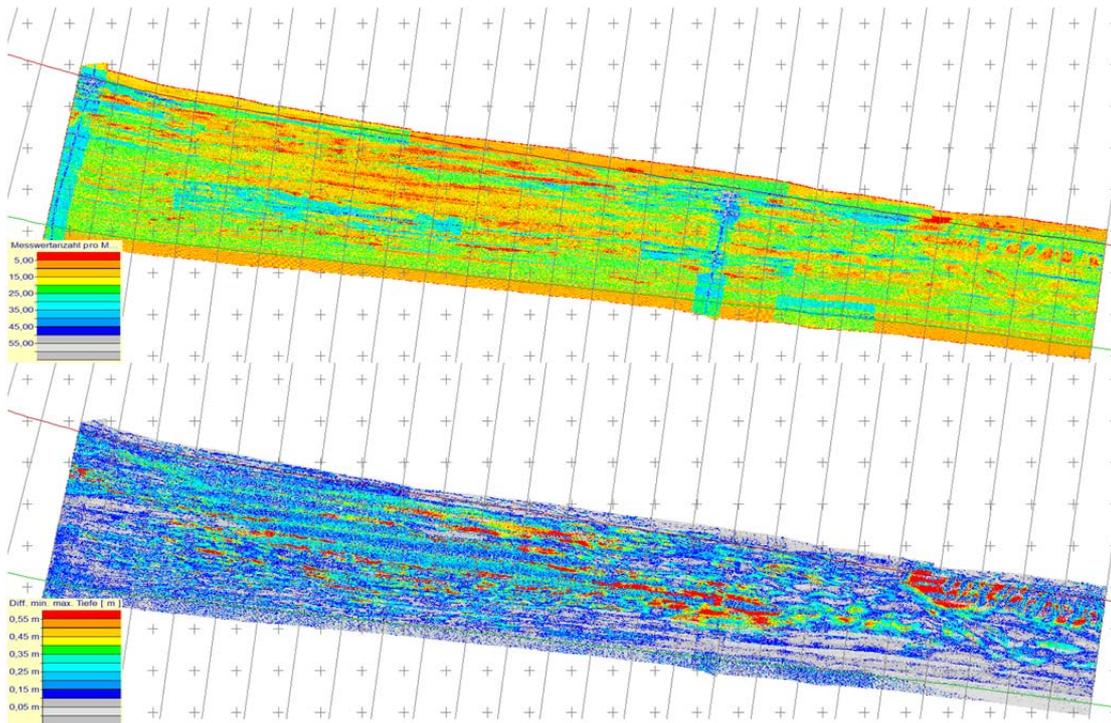


Abbildung 101: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ 50

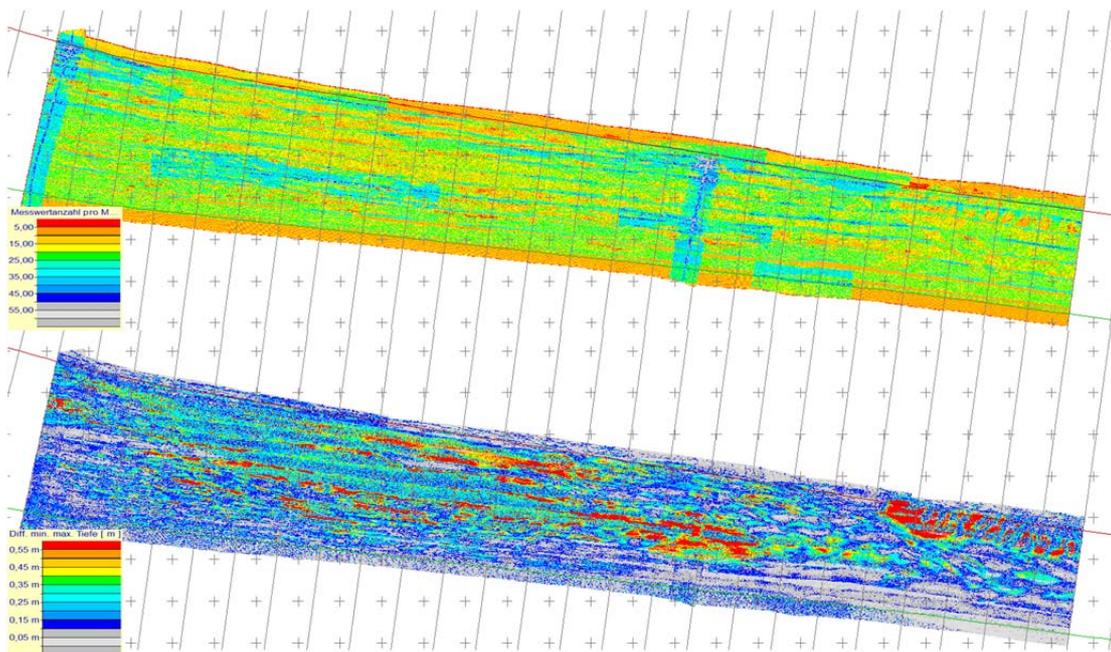


Abbildung 102: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ 60

Während der dritten Messkampagne im April 2016 treten wesentlich mehr schlechte Messungen auf. Analog der vorangegangenen Abbildungen sind in Abbildung 103 die Daten ohne weitere Filterungen dargestellt. In der Abbildung 104 werden relativ strengen Filteransätze angewendet ($Q \leq 20$ $I \geq 40$). Aus der Abbildung geht hervor, dass unter Anwendung dieser Filterschranken relativ viele Messungen eliminiert werden. Die Punktverteilung wird rot, was eine sehr geringe Punktdichte symbolisiert. Die verbleibenden Punkte weisen eine relativ geringe Maschendifferenz auf. Eine Ursache für die geringen Maschendifferenzen können an dieser Stelle auch die wenigen

Messwerte sein. Es verbleiben sehr wenige Messwerte, die dann aber relativ gut zusammen passen.

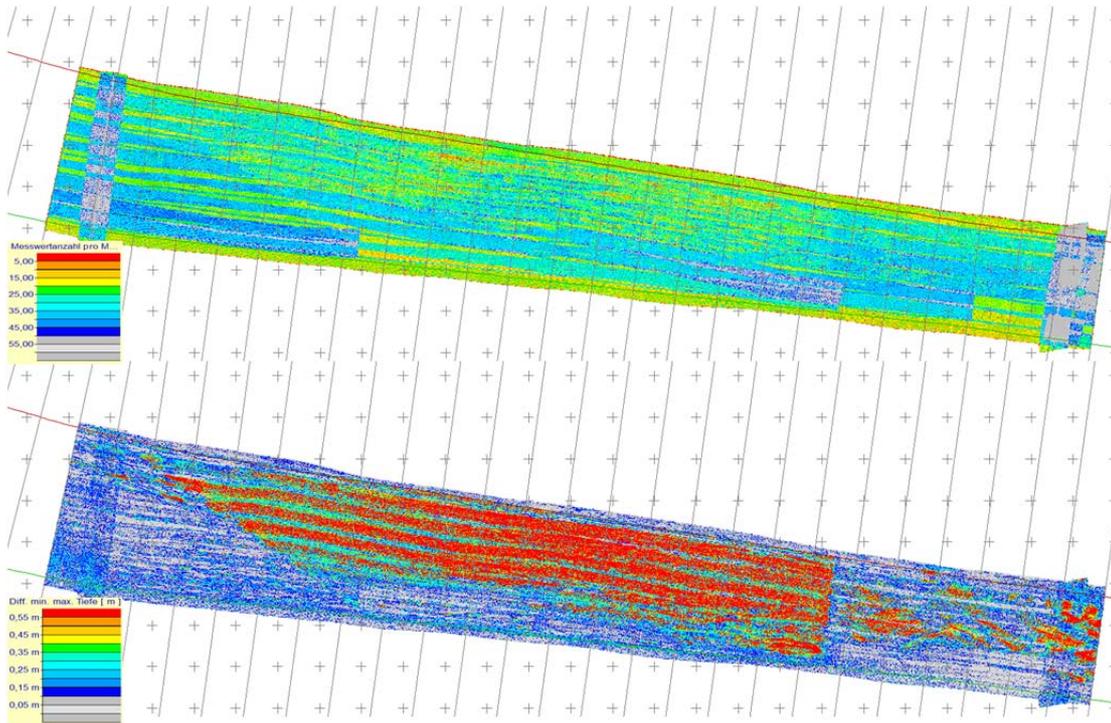


Abbildung 103: Punktverteilung und Tiefendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)

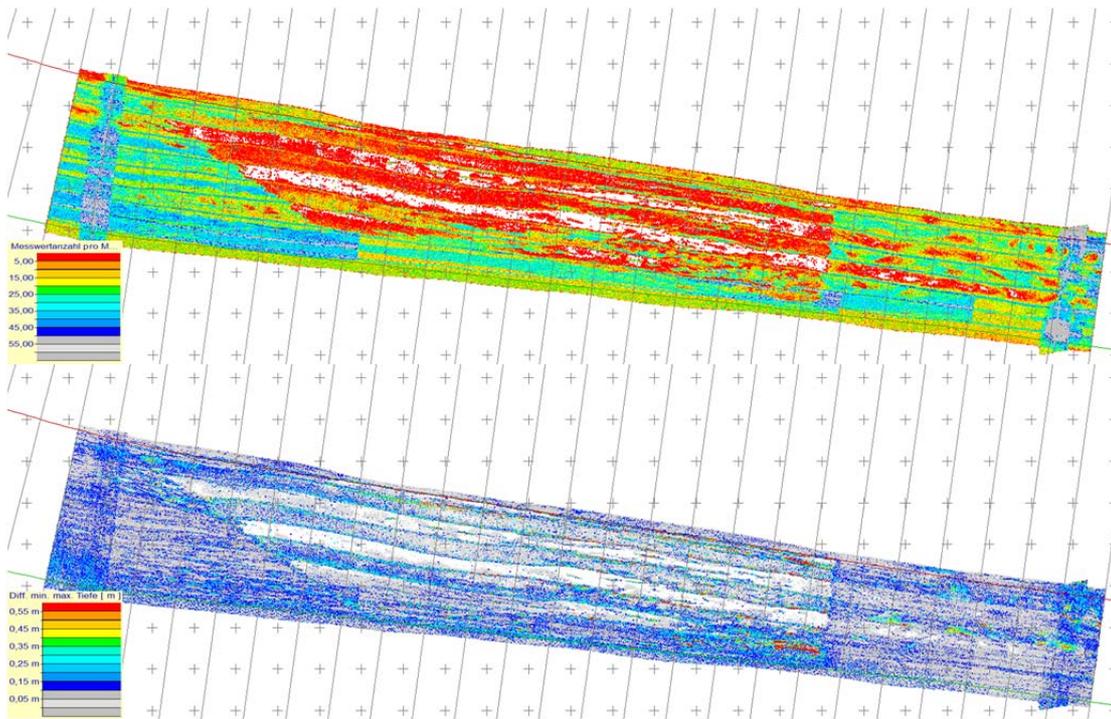


Abbildung 104: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ 40

Die Ergebnisse der Anhebung der Filterschranken in Abbildung 105 und Abbildung 106 zeigt auf, dass die Messpunktdichte damit erhöht werden kann, aber die Tiefendifferenzen und damit die Streuung der Beobachtungen innerhalb der Maschen reduziert werden kann.

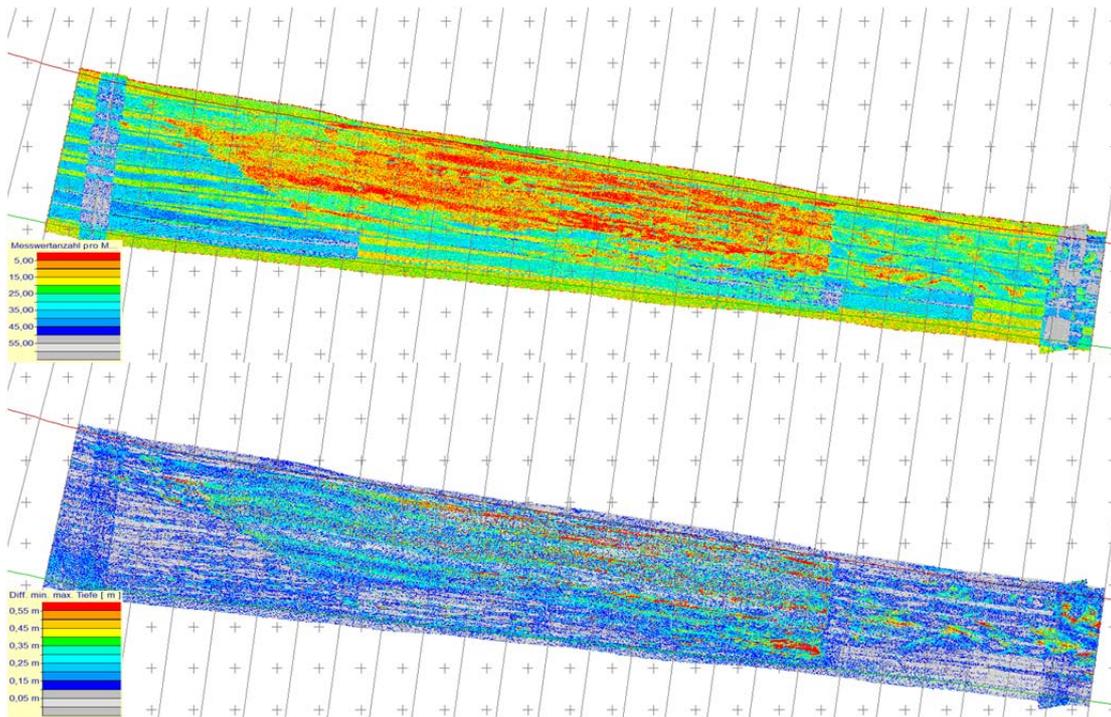


Abbildung 105: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ 50

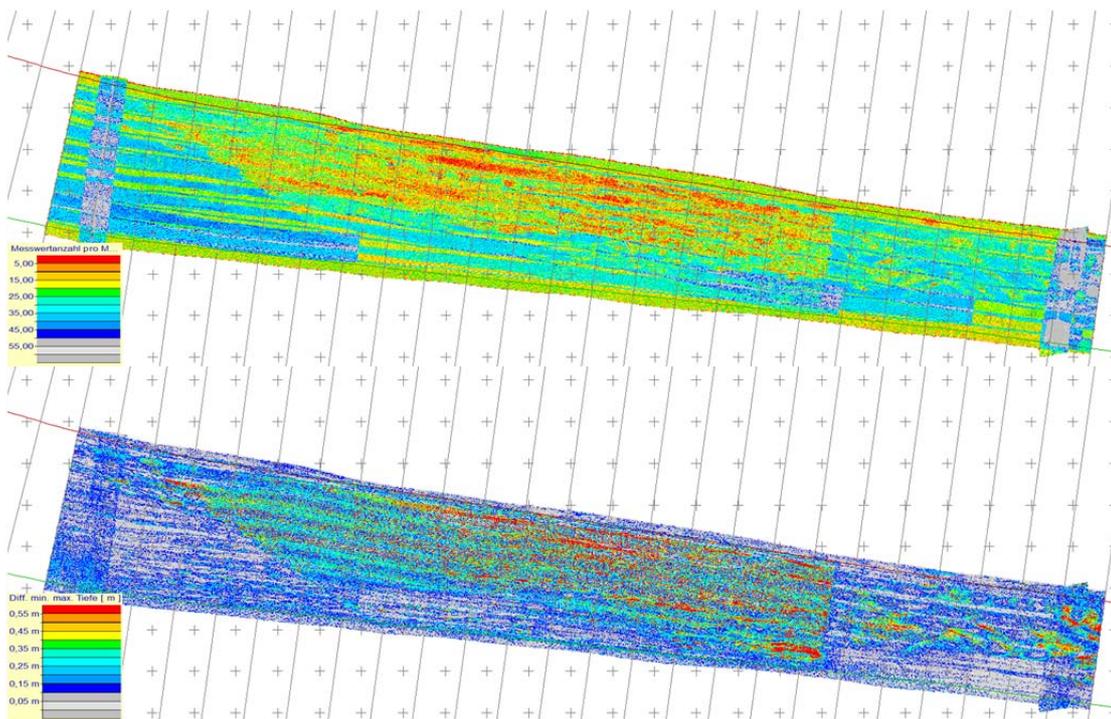


Abbildung 106: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ 60

Erfolgt eine Betrachtung ausgewählter Querprofile wird die Wirkung der Filterung verdeutlicht. In Abbildung 107 sind für das Querprofil bei km 642,68 alle Messpunkte des Oktober 2015 ohne weitere Filterungen dargestellt. Die hohe Streuung der Beobachtungen insbesondere im rechten Teil des Querprofils wird deutlich.

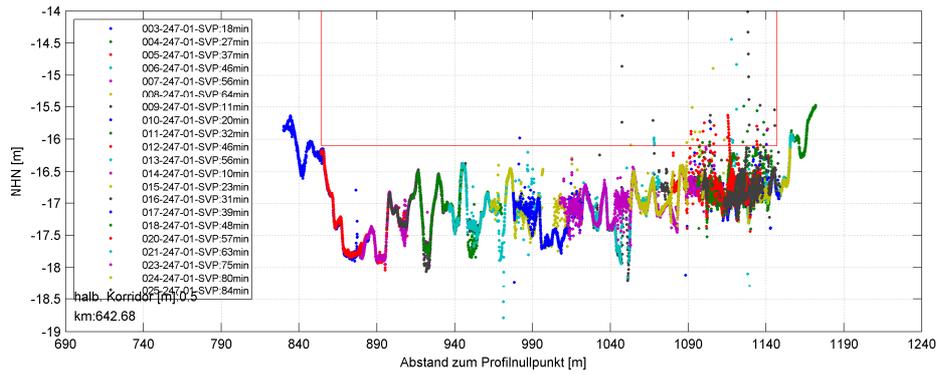


Abbildung 107: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Okt. 2015)

Erfolgt die Querprofilardarstellung gefilterter Messdaten innerhalb des gleichen Querprofils ergeben sich die folgenden Abbildungen. Es wird deutlich, dass augenscheinlich nahezu alle Fehlmessungen innerhalb der Abbildung 108 ($Q \leq 20$; $I \geq -40$) eliminiert wurden, gleichzeitig aber große Datenlücken innerhalb der Messung aufgetreten sind. Mit einer Öffnung der Filterschranken werden die Beobachtungen mehr, allerdings bedeutet dies auch eine Zunahme der augenscheinlich fehlerhaften Messungen (Abbildung 109 - Abbildung 110)

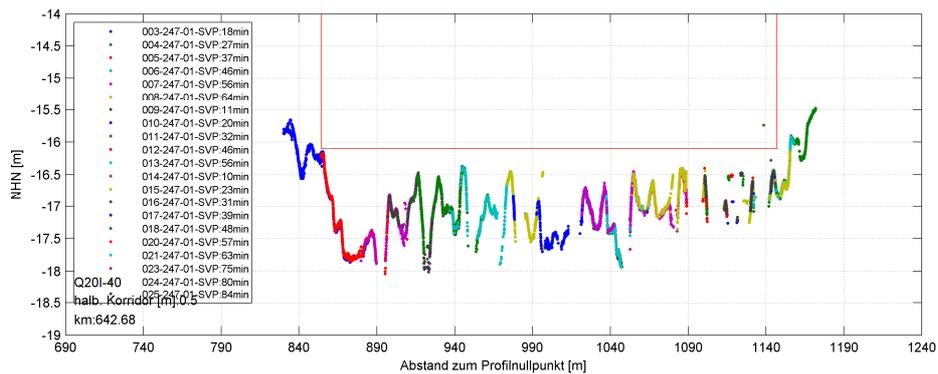


Abbildung 108: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40

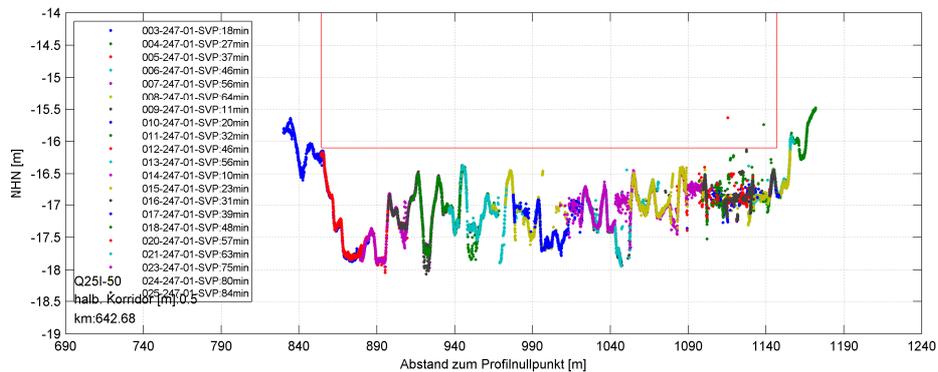


Abbildung 109: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50

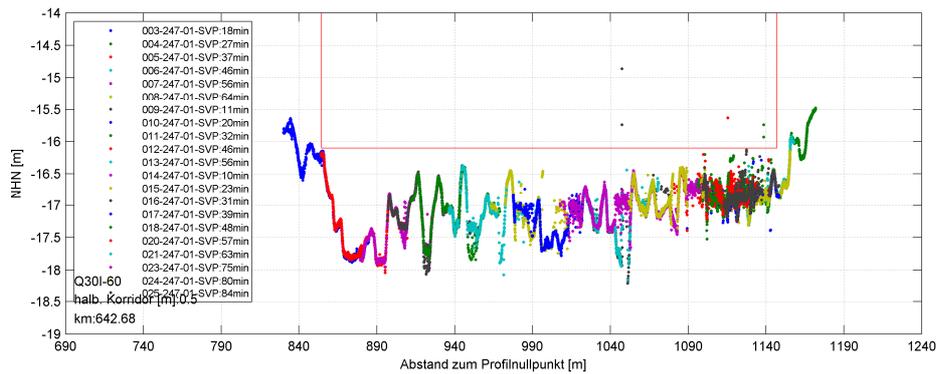


Abbildung 110: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality \leq 30, Intensity \geq 60

Bei einer Betrachtung der folgenden Messung im Dezember 2015 ergeben sich an der gleichen Stelle die folgenden Abbildungen. In Abbildung 111 wird deutlich, dass insbesondere im rechten Bereich des Querprofils viele scheinbare Fehlmessungen vorhanden sind. Auch wird deutlich, dass sich in diesen Bereichen scheinbar zwei Horizonte abbilden. Deutlicher wird dies in Abbildung 113 und Abbildung 114. Betrachtet man die erste Filterung mit relativ strengen Filterkriterien (Abbildung 112), ergeben sich relativ große Datenlücken. Gleichzeitig ist in dieser Abbildung aber zu erkennen, dass die vermeintlichen zwei Horizonte aufgelöst wurden bzw. nur die tatsächliche Sohle dargestellt wird.

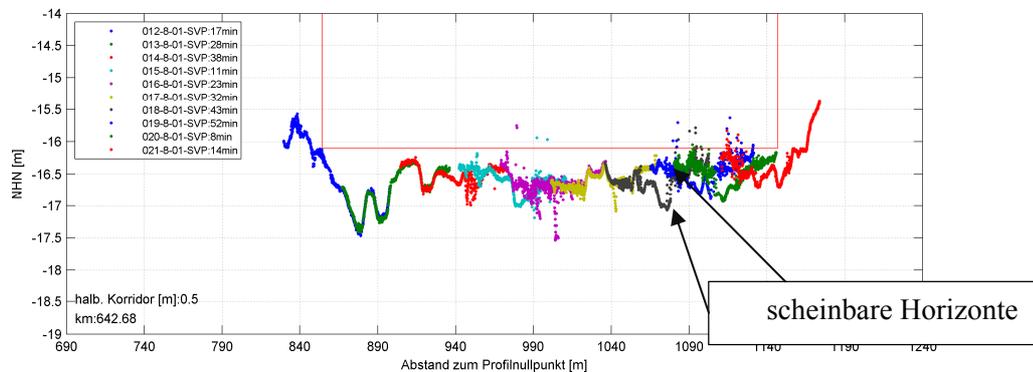


Abbildung 111: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Dez. 2015)

Durch eine strenge Filterung kann der zweite Horizont eliminiert werden. Werden die Filterkriterien gelockert, verbleiben die Messungen des zweiten Horizontes in den Daten. Praktisch bedeutet dies, dass scheinbare zweite Horizont auf Basis von relativ schwachen Messwerten bzw. auf Basis stark gedämpfter Messwerte entstanden sind. Dies korrespondiert mit dem Beamwinkel an dieser Stelle. Die Beobachtungen des zweiten, höheren Horizonts sind unter einem relativ großen Beamwinkel aufgenommen worden. Durch eine strenge Filterung kann der zweite Horizont eliminiert werden (Vergleich Abbildung 112 vs. Abbildung 113).

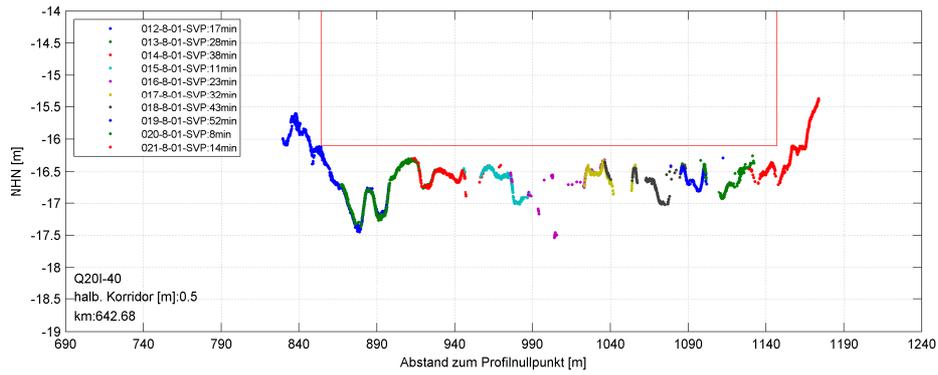


Abbildung 112: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality \leq 20, Intensity \geq -40

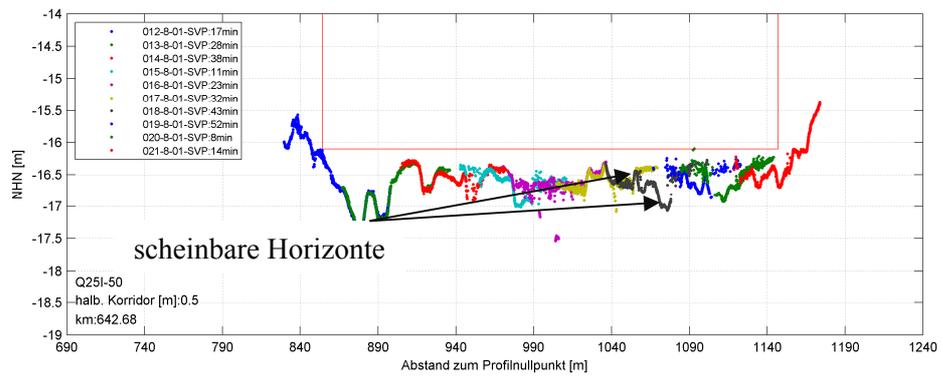


Abbildung 113: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality \leq 25, Intensity \geq -50

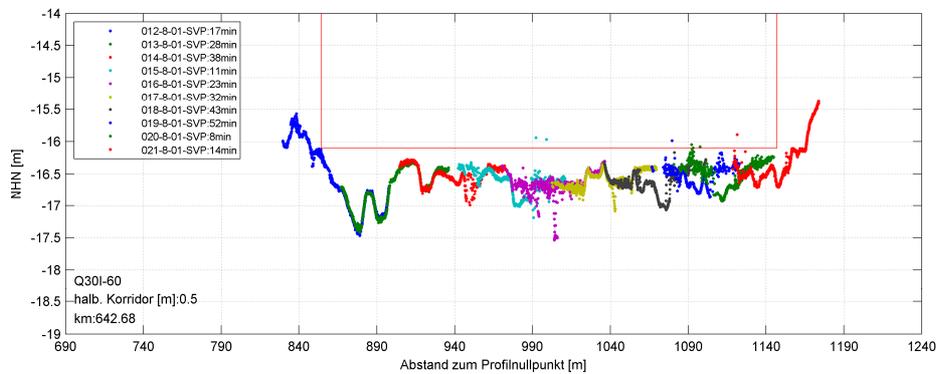


Abbildung 114: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality \leq 30, Intensity \geq -60

Die letzte betrachtete Aufnahme dieses Gebietes stammt aus dem April 2016. Das Querprofil unter Berücksichtigung aller Daten bei Elbe km 642,680 ist in Abbildung 115 dargestellt. Aus der Querprofilansicht geht hervor, dass dieser Bereich sehr stark verrauscht ist bzw. in diesem Gebiet offensichtlich sehr viele Fehlmessungen auftreten.

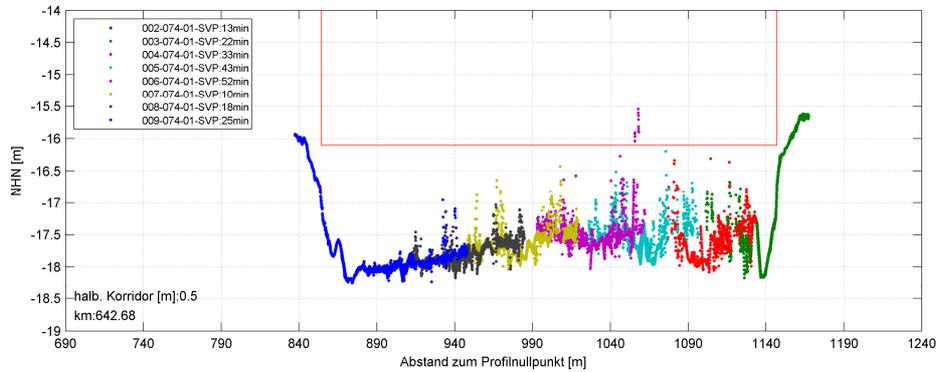


Abbildung 115: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Apr. 2016)

Werden die gefilterten Daten in Abbildung 116 näher betrachtet, ist festzustellen, dass durch die Filterung die Anzahl der Messungen sehr stark reduziert wurde. Insbesondere im rechten Bereich des Querprofils ist es nicht mehr möglich, eine Sohle zu detektieren.

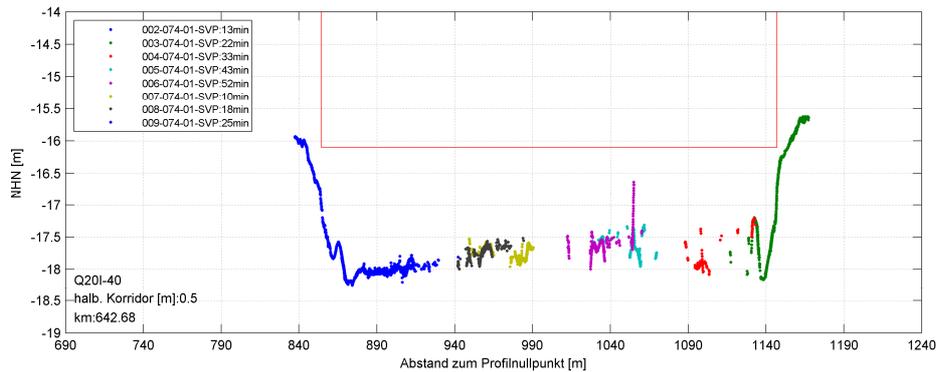


Abbildung 116: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 20 , Intensity ≥ 40

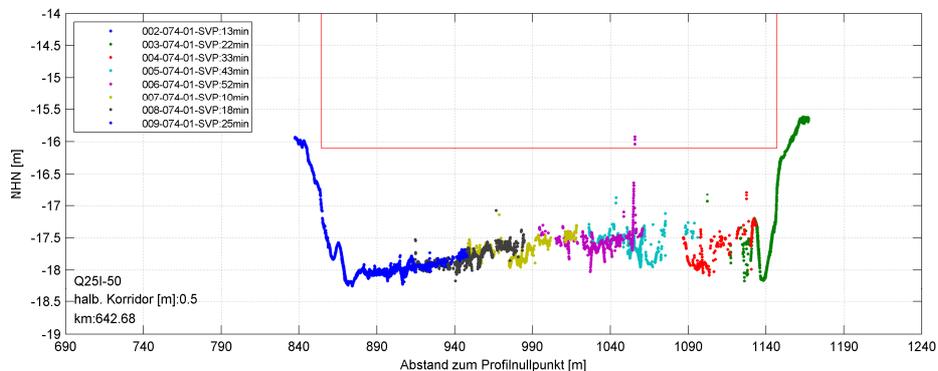


Abbildung 117: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 25 , Intensity ≥ 50

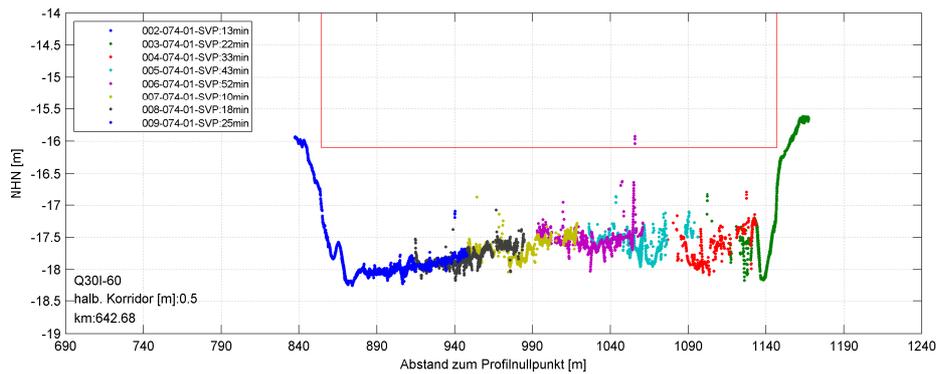


Abbildung 118: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 30, Intensity ≥ -60

Werden die Filtergrenzen angehoben Abbildung 117 und Abbildung 118 kommen weitere Messwerte hinzu, ohne dass sich im rechten Bereich eine eindeutige Sohle abzeichnen würde. Zwar wird das Tiefenband der Beobachtungen insbesondere im rechten Bereich kleiner bzw. die Tiefendifferenz der Maschen wird geringer, jedoch kann an dieser Stelle keine Sohle sicher detektiert werden.

4.4.2 Bereich Juelsand

Analog der Auswertungen im Bereich des Sedimentfang Wedel sind in Abbildung 119 die Punktdichteverteilung sowie die Maschendifferenzen der ungefilterten Daten der Kampagne Oktober 2015 dargestellt. Ergänzend sind in Abbildung 120, Abbildung 121 und Abbildung 122 die gleichen Daten unter Anwendung unterschiedlicher Filtergrenzen dargestellt. Optisch geht aus der Abbildung 120 (Quality ≤ 20; Intensity ≥ -40) hervor, dass die Maschendifferenzen wesentlich kleiner sind, gleichzeitig aber auch die Anzahl der Beobachtungen stark reduziert wurde. Mit zunehmender Anhebung der Filterschranken steigen die Maschendifferenzen und die Punktzahl erwartungsgemäß an.

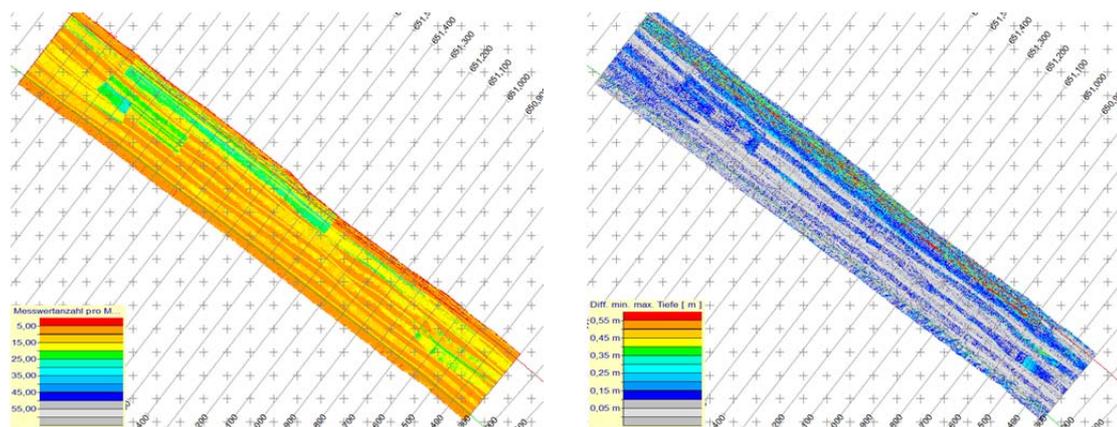


Abbildung 119: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Okt. 2015)

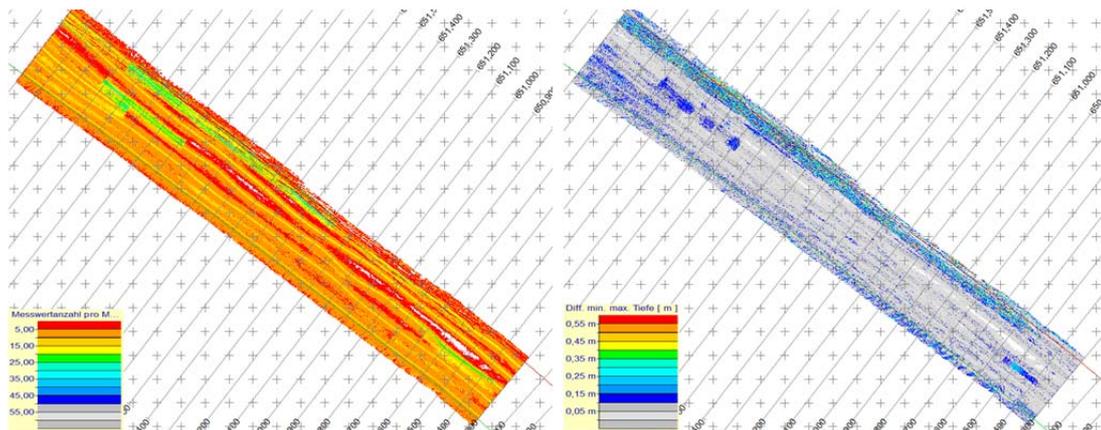


Abbildung 120: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

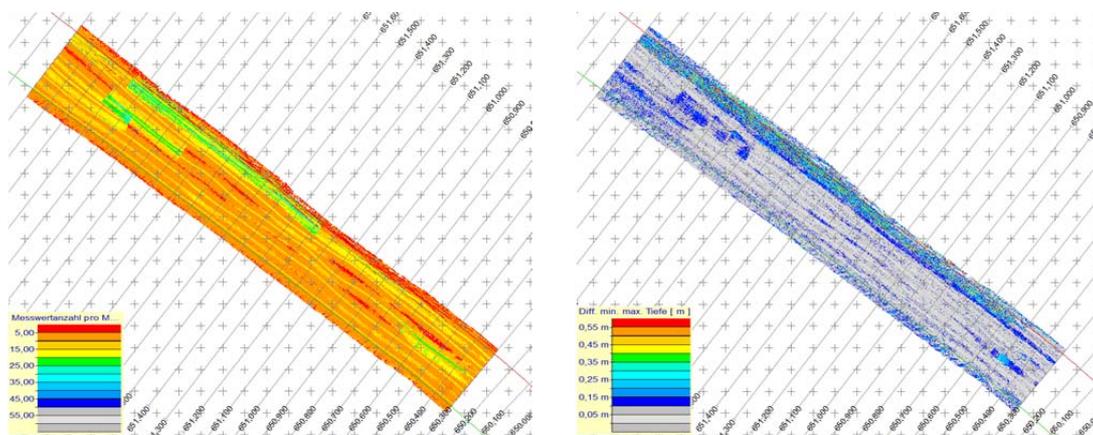


Abbildung 121: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

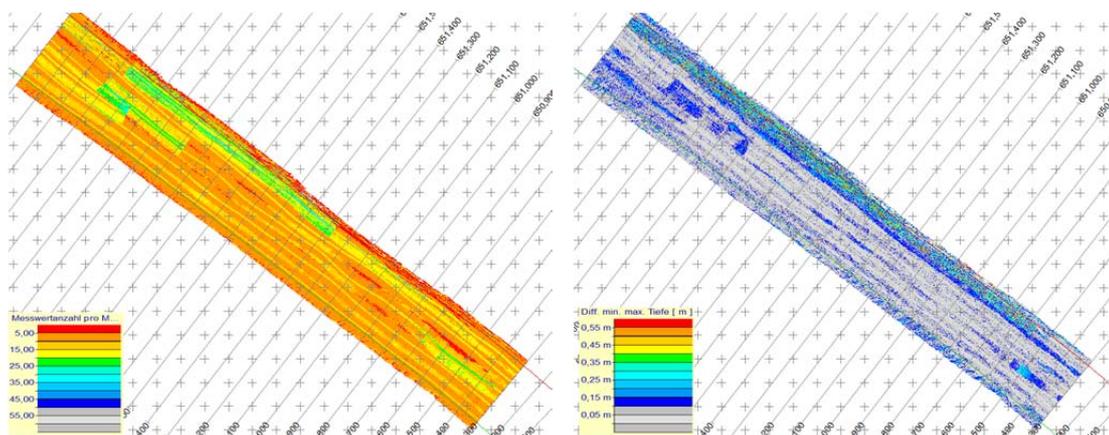


Abbildung 122: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

Die Maschendifferenzen der zweiten Kampagne im Dezember 2015 zeigen insbesondere im linken Bereich bei km 650,3 – 651,5 große Maschendifferenzen (Abbildung 123). Erfolgt analog der bisherigen Vorgehensweise eine Filterung nach Quality und Intensity ergeben sich die Abbildung 124, Abbildung 125 und Abbildung 126. Die strengsten Filteralgorithmen werden in Abbildung 124 angewendet. Der Filtereffekt ist insbesondere bei der Betrachtung der Maschendifferenzen sehr deutlich. Die in Abbildung 123 rot dargestellten Bereiche sind in Abbildung 124 verschwunden. Praktisch bedeutet dies, dass die Messpunkte in Bezug auf die Höhe dicht zusammen liegen bzw.

keine große Streuung innerhalb der Maschen auftritt. Mit zunehmender Öffnung der Filtergrenzen werden erwartungsgemäß mehr schlechte Messungen zugelassen und die Maschendifferenzen steigen wieder an.

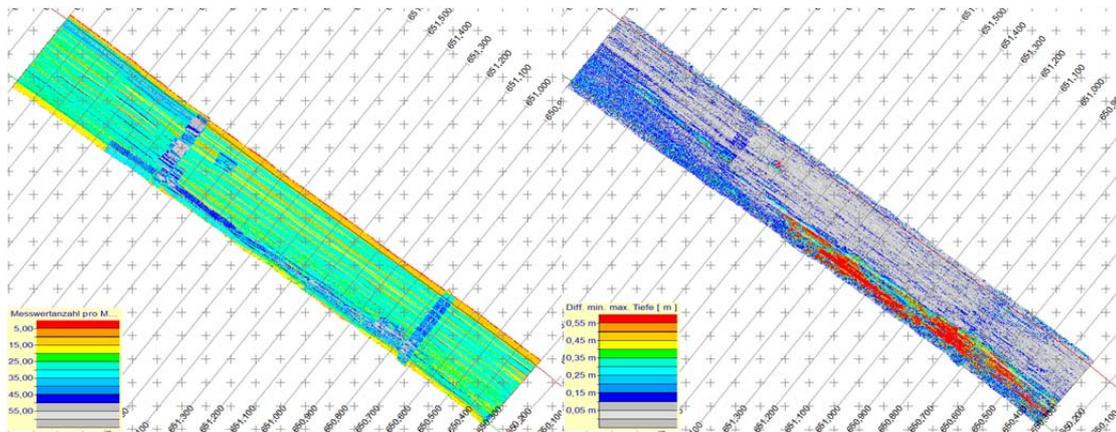


Abbildung 123: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Dez. 2015)

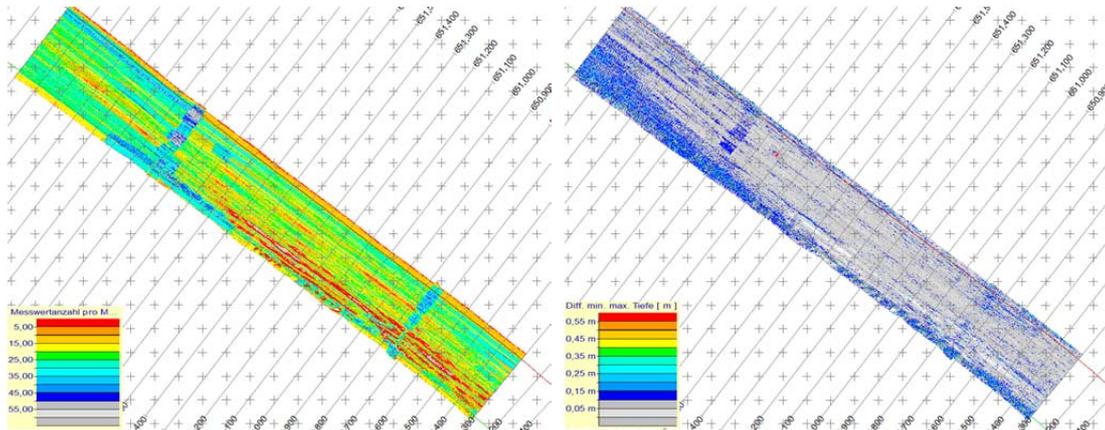


Abbildung 124: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz $Quality \leq 20, Intensity \geq 40$

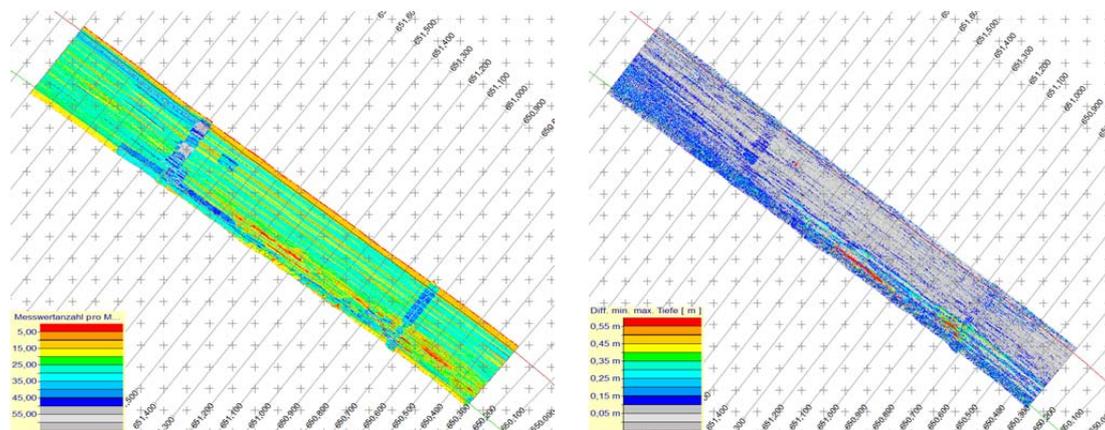


Abbildung 125: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25, Intensity \geq 50$

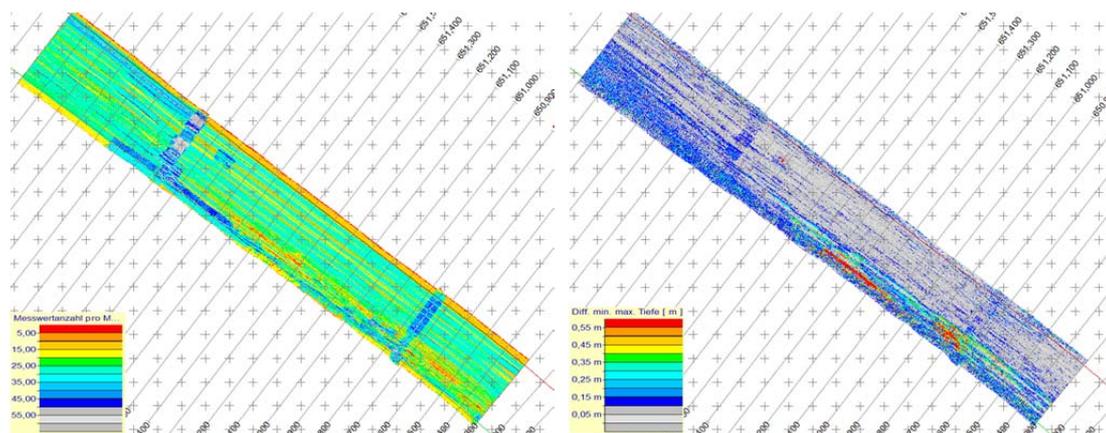


Abbildung 126: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

Im Gegensatz zu den Kampagnen im Oktober 2015 sowie im Dezember 2015 traten während der Kampagne im April 2014 vermehrt Fehlmessungen auf. Punktdichteverteilung und Maschendifferenzen sind in Abbildung 127 dargestellt.

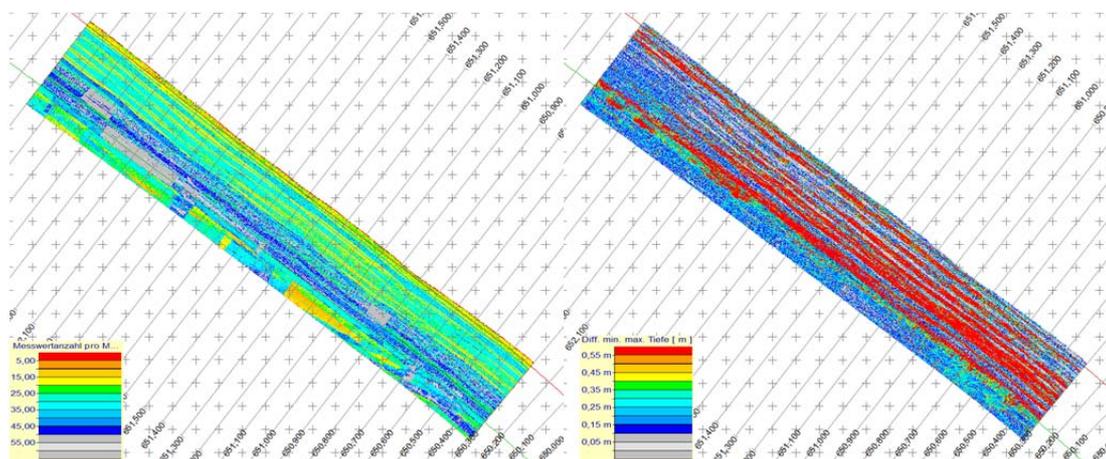


Abbildung 127: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Apr. 2016)

Der Effekt der Filterung wird in Abbildung 128, Abbildung 129 und Abbildung 130 deutlich. Zwar ist die Anzahl der Messpunkte unter Anwendung der strengen Filterkriterien (Abbildung 128) geringer, jedoch zeigt sich auch eine signifikante Reduktion der Maschendifferenzen. Praktisch bedeutet dies, dass die verbliebenen Messungen in Bezug auf die Höhe wesentlich dichter zusammen liegen. Analog der vorangegangenen Auswertungen steigt auch hier die Messwertanzahl sowie die potenziellen Fehlmessungen mit Erhöhung der Filterschranken an (Abbildung 129 und Abbildung 130).

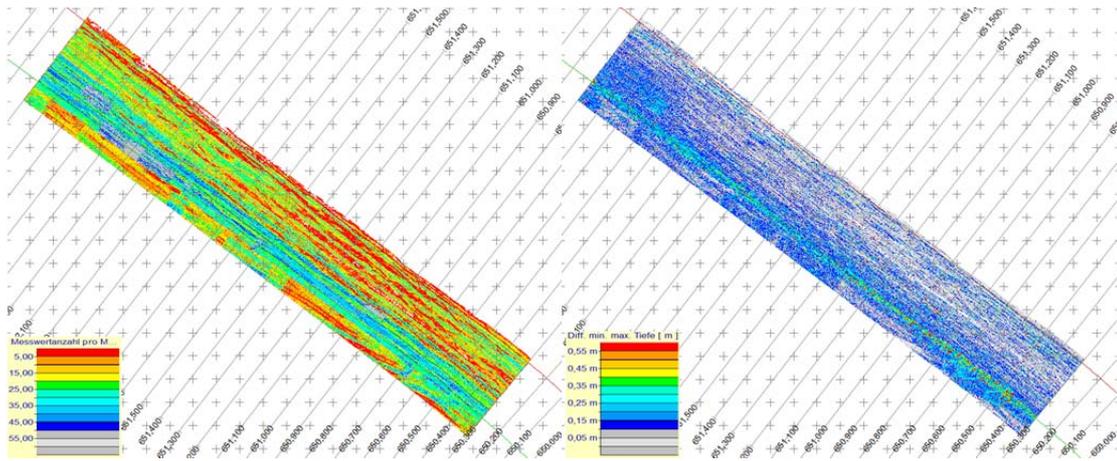


Abbildung 128: Analog Abbildung 127 nur mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

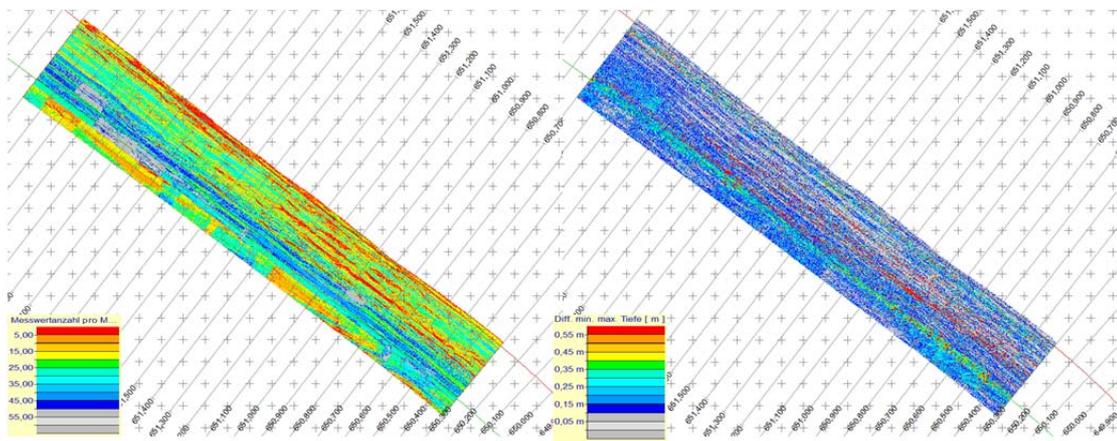


Abbildung 129: Analog Abbildung 127 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

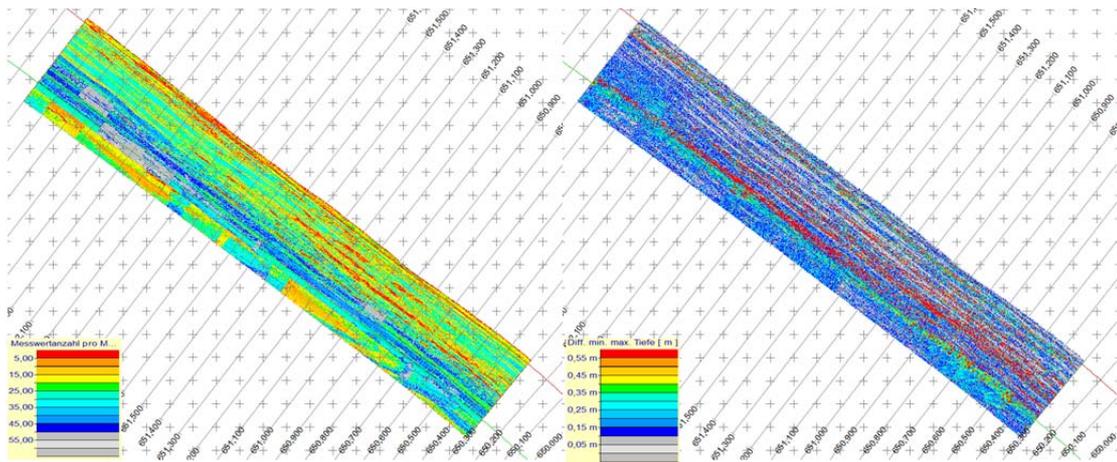


Abbildung 130: Analog Abbildung 127 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

Durch die Darstellung von Querprofilen wird die Filterwirkung verdeutlicht. In Abbildung 131 ist ein Querprofil bei Elbe km 650,91 dargestellt. Analog zur Abbildung 113 sind im rechten Bereich der Baggerspuren auch scheinbar zwei Horizonte sichtbar. Werden die Filterkriterien angewendet (Abbildung 132 bis Abbildung 134) verbleiben die Messungen nicht mehr im Querprofil.

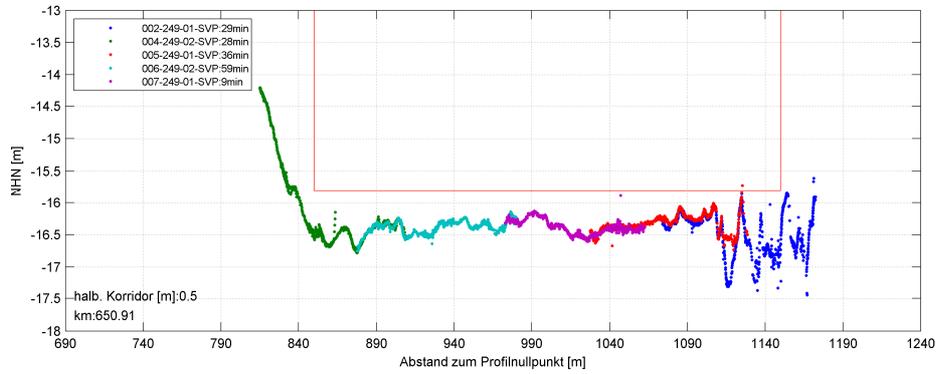


Abbildung 131: Querprofil im Bereich Juelsand bei km 650,91 (Okt. 2015, ohne weitere Filterungen)

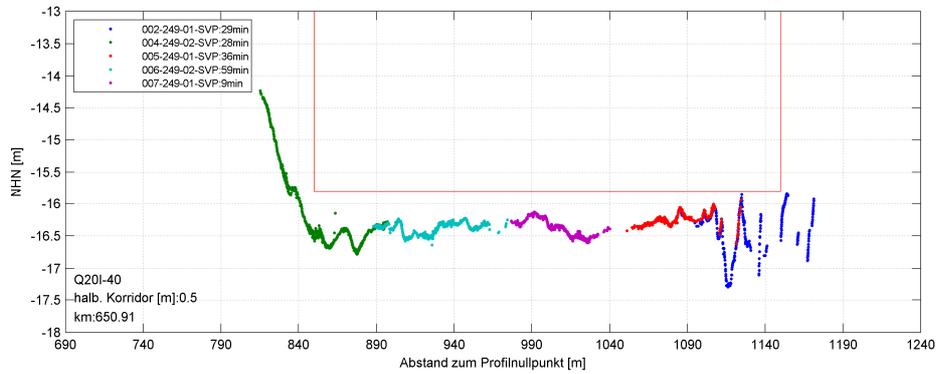


Abbildung 132: Analog Abbildung 131 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ 40

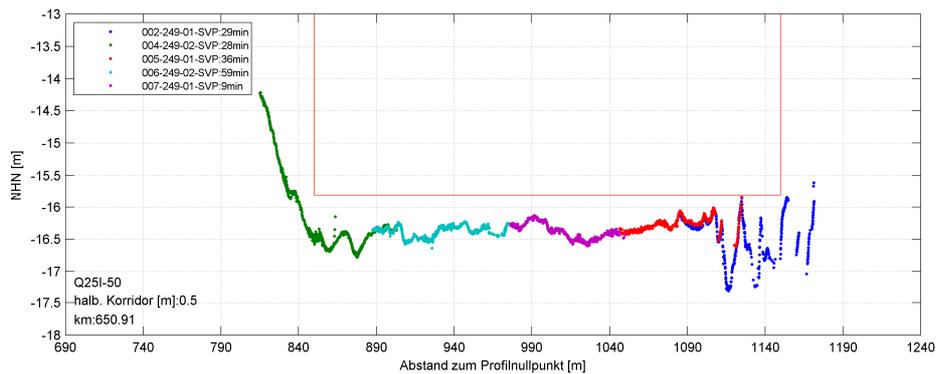


Abbildung 133: Analog Abbildung 131 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ 50

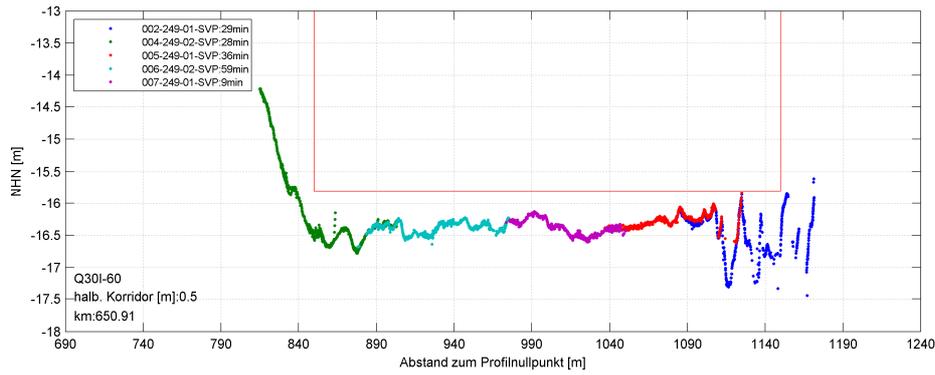


Abbildung 134: Analog Abbildung 131 nur mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$

Im Dezember 2015 wurden in diesem Bereich mehr Fehlmessungen erfasst. Analog der Abbildung 131 sind in Abbildung 135 die Messungen des gleichen Querprofils der Kampagne Dezember 2015 dargestellt. Aus der Abbildung ergibt sich, dass im linken Bereich eine größere Anzahl von scheinbaren Fehlmessungen vorhanden ist.

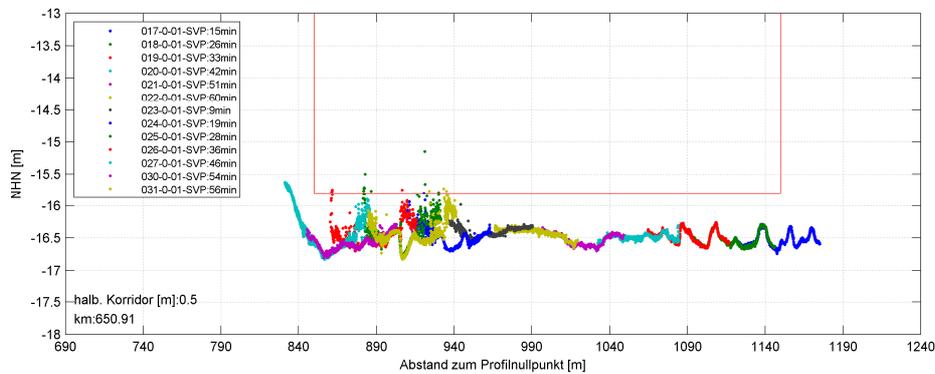


Abbildung 135: Querprofil im Bereich Juelsand bei km 650,91 (Dez. 2015, ohne weitere Filterungen)

Werden die Filterungen nach Quality und Intensity Werten angewendet, reduziert sich die Anzahl der Fehlmessungen erheblich. Bei der Anwendung der hohen Filterschranken Abbildung 136 sind augenscheinlich keine Fehlbeobachtungen mehr vorhanden. Mit Öffnung der Filterschranken steigt die Zahl der potenziellen Fehlmessungen.

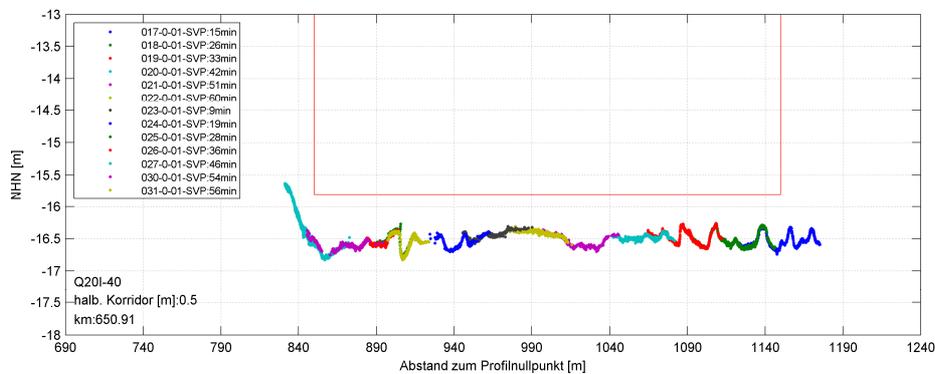


Abbildung 136: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$

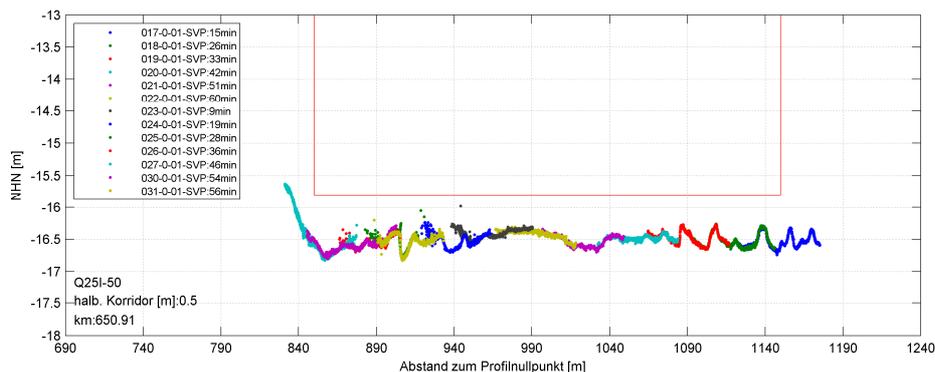


Abbildung 137: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$

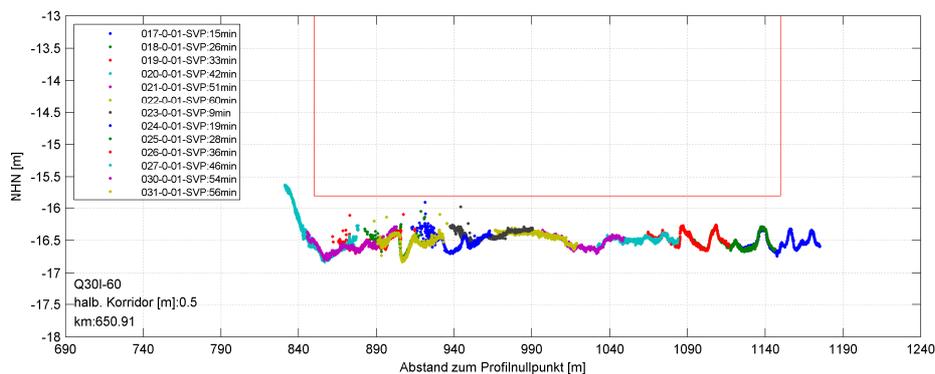


Abbildung 138: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$

Die letzte näher betrachtete Kampagne fand im April 2016 statt. Analog zu den bisherigen Abbildungen sind in Abbildung 139 die Messungen in Form eines Querprofils ohne weitere Filterungen dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass eine Vielzahl augenscheinlicher Fehlmessungen vorhanden ist.

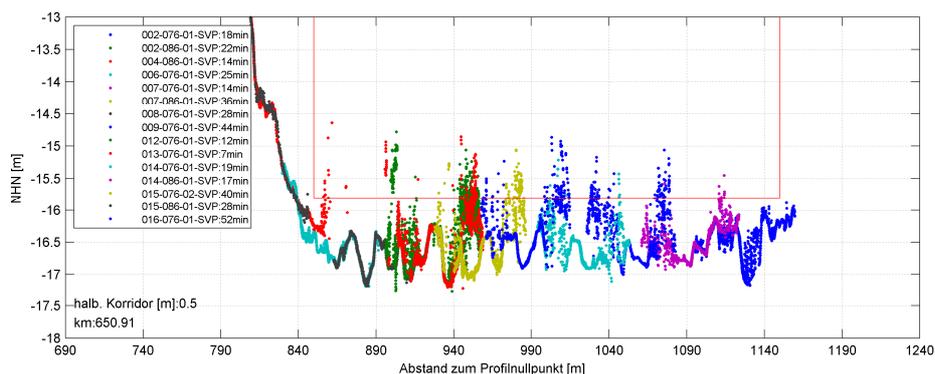


Abbildung 139: Querprofil bei Elbe km 650,91 im April 2016 (keine weiteren Filterungen)

Werden entsprechende Filterungen auf Basis von Quality und Intensity Werten angewendet, ergeben sich die Abbildung-140 ($Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$), Abbildung 141 ($Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$) und Abbildung 142 ($Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$). Analog zu den anderen Bereichen steigt auch hier die Anzahl der nicht gefilterten Fehlmessung mit Öffnung der Filtergrenzen an.

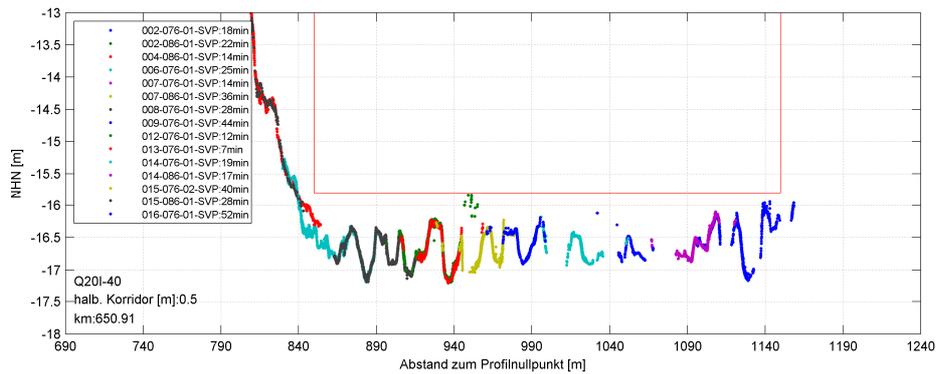


Abbildung 140: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

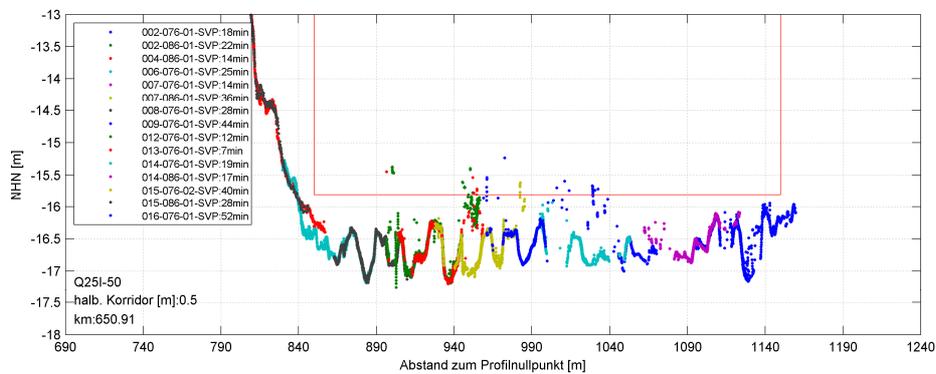


Abbildung 141: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

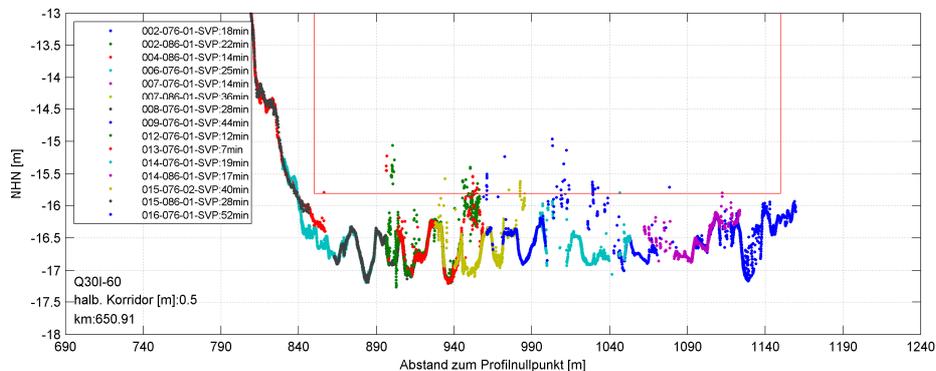


Abbildung 142: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

4.4.3 Bereich Blatt 07

Neben den Bereichen Sedimentfang Wedel und Juelsand wurde auch der Bereich Blatt 07 näher betrachtet. Die Ergebnisse der Messung im Oktober 2015 ohne weitere Filterungen sind in Abbildung 143 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass im linken Bereich bei km ~673,70 augenscheinlich Fehlmessungen vorhanden sind (rote Bereiche). Werden die Filter analog der anderen beiden Bereiche angewendet, ergeben sich die Abbildung 144, Abbildung 145 und Abbildung 146.

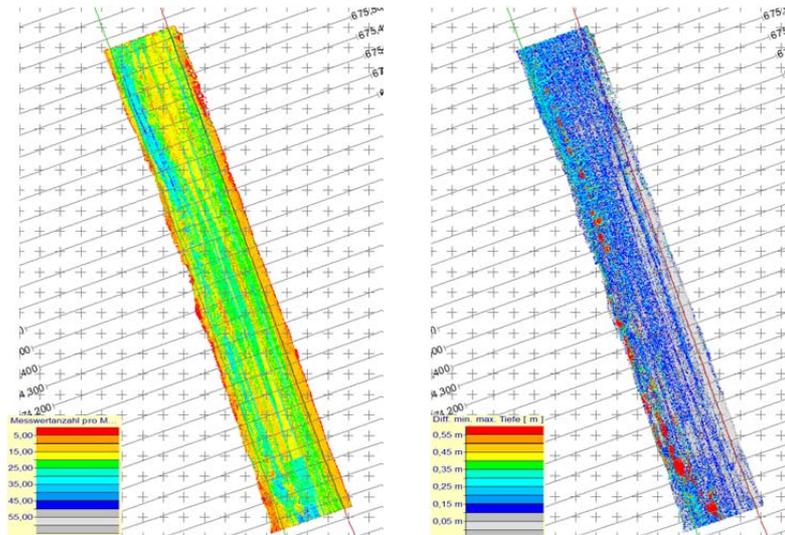


Abbildung 143: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015, ohne Filterungen)

Bei Anwendung der strengen Filterkriterien (Abbildung 144), wird deutlich, dass Bereiche mit großen Maschendifferenzen (Abbildung 143, rot dargestellt) verschwunden sind bzw. teilweise in diesen Bereichen Datenlücken vorhanden sind. Praktisch bedeutet dies, dass in diesen Bereichen keine hochwertigen Messungen vorhanden sind.

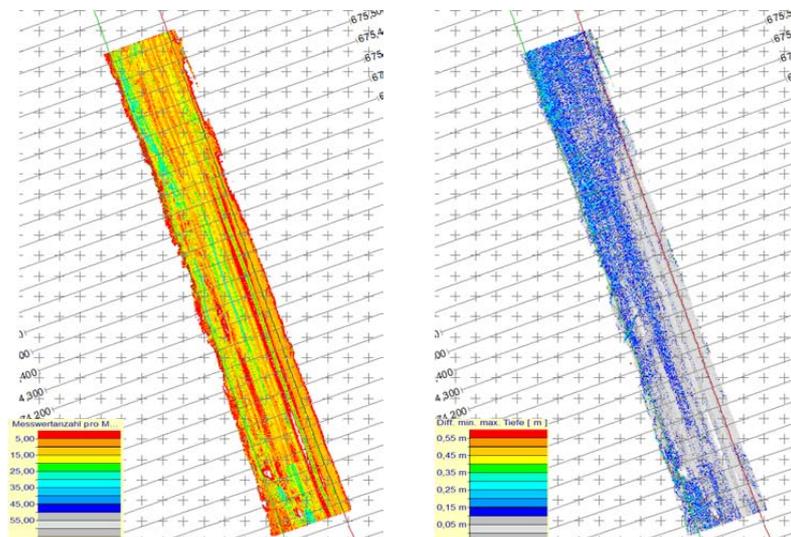


Abbildung 144: Analog Abbildung 143 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

Werden die Filterschranken geöffnet (Abbildung 145 und Abbildung 146) lassen sich die Datenlücken schließen, wobei auch augenscheinliche Fehlmessungen nicht herausgefiltert werden.

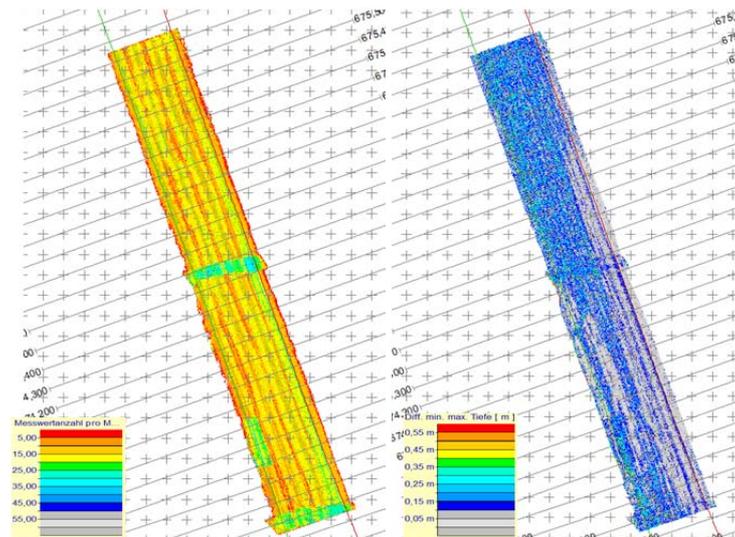


Abbildung 147: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015) ohne Filterungen

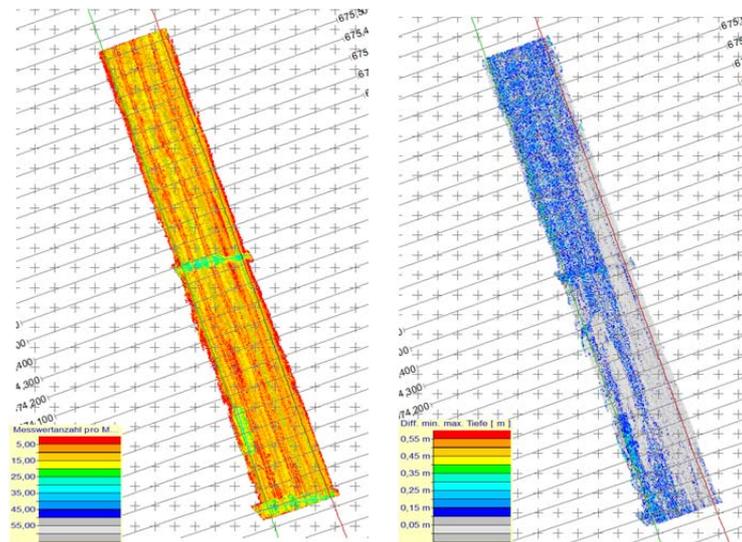


Abbildung 148: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

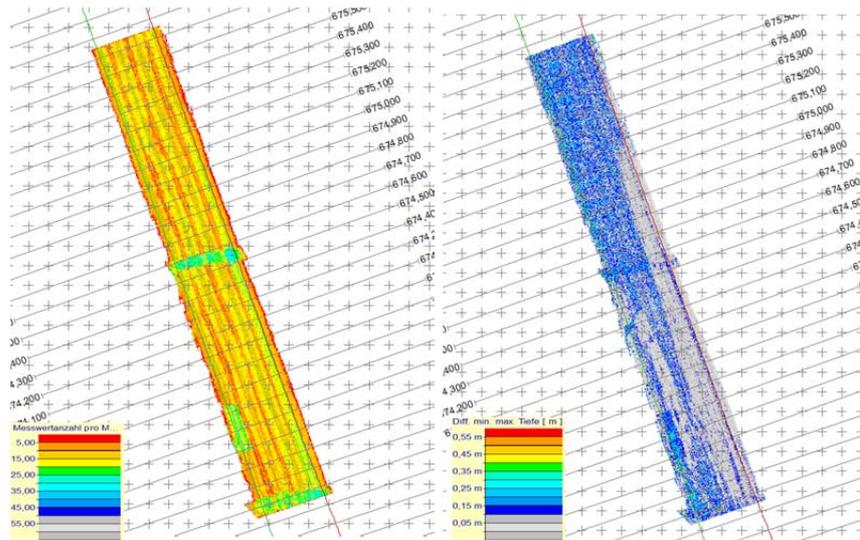


Abbildung 149: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

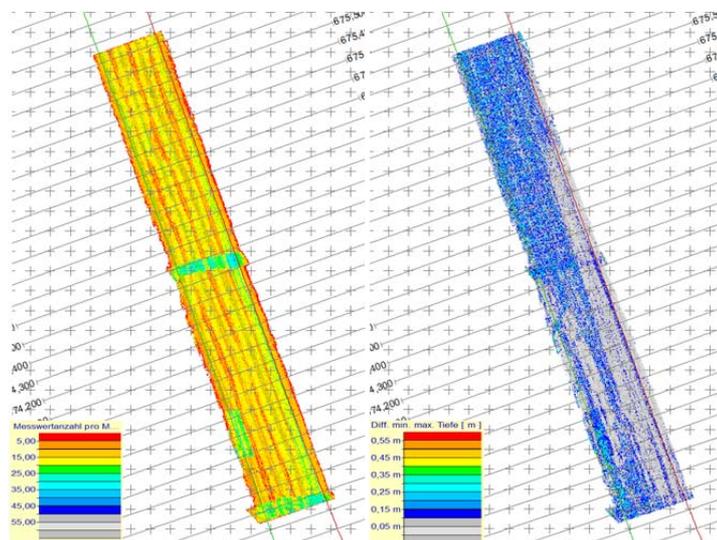


Abbildung 150: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 50$

Die Kampagne im April 2016 weist Fehlmessungen im größeren Umfang auf. In Abbildung 151 sind die Punktdichteverteilung und die Tiefendifferenzen ohne weitere Filterungen dargestellt. Werden relativ strenge Filterkriterien angewendet (Abbildung 152, $Quality \leq 20$ $Intensity \geq 40$) ergeben sich die in Abbildung 152 dargestellten Messwerte. Es wird deutlich, dass Bereiche mit großen Maschendifferenzen (in Abbildung 151 rot dargestellt) eliminiert wurden bzw. augenscheinlich schlechte Messungen eliminiert wurden.

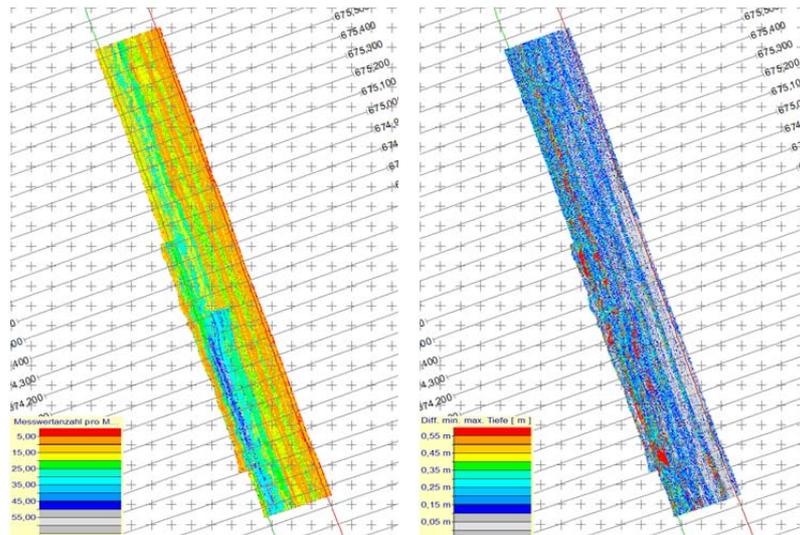


Abbildung 151: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 ohne Filterungen (April 2016)

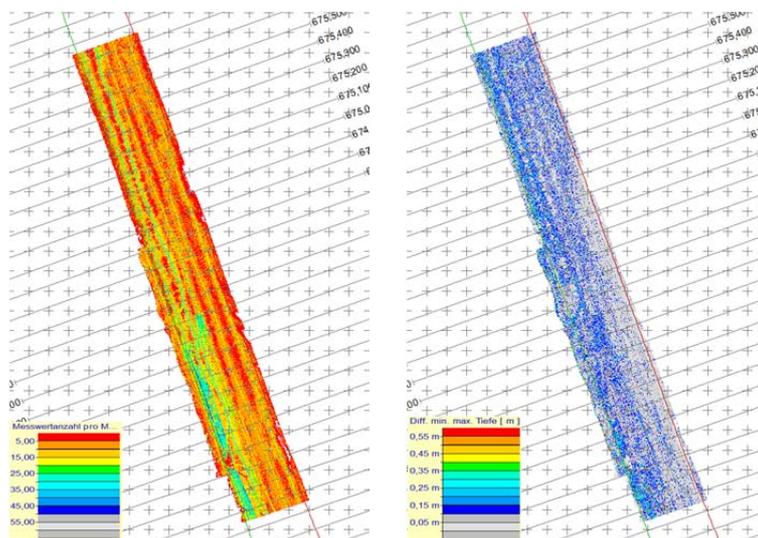


Abbildung 152: Analog Abbildung 151 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$

Analog zu den anderen näher beleuchteten Bereichen bzw. Messkampagnen werden auch in diesem Bereich mit einer Öffnung der Filterkriterien nach oben mehr augenscheinliche Fehlmessungen. In Abbildung 153 und Abbildung 154 sind entsprechende Beobachtungen dargestellt. Es ist zu beobachten, dass die Bereiche mit großen Tiefendifferenzen zunehmen. In Abbildung 154 sind nur die Beobachtungen dargestellt, deren Quality Werte kleiner als 30 und deren Intensity Werte größer als -60 sind. Es ist zwar noch ein Unterschied gegenüber der Darstellung der ungefilterten Werte erkennbar, jedoch sind in Abbildung 154 deutliche rote Bereiche bei der Tiefendifferenz erkennbar. Praktisch bedeutet dies, dass in diesen Bereiche weiterhin große Maschendifferenzen auftreten.

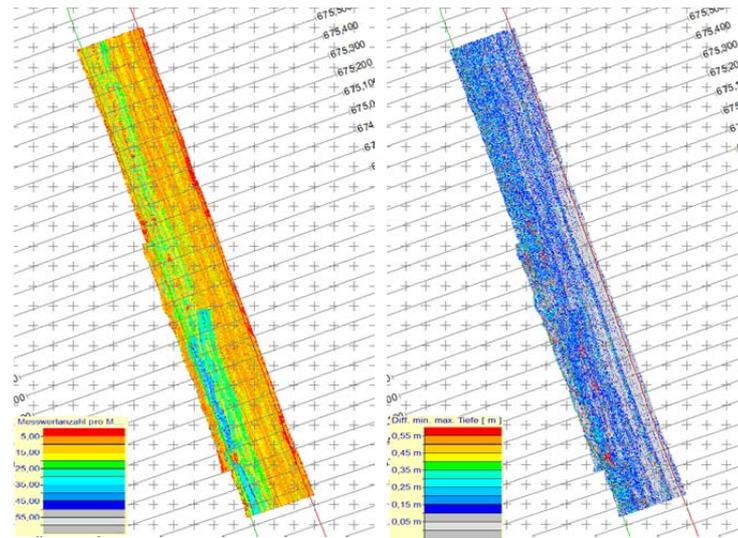


Abbildung 153: Analog Abbildung 151 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

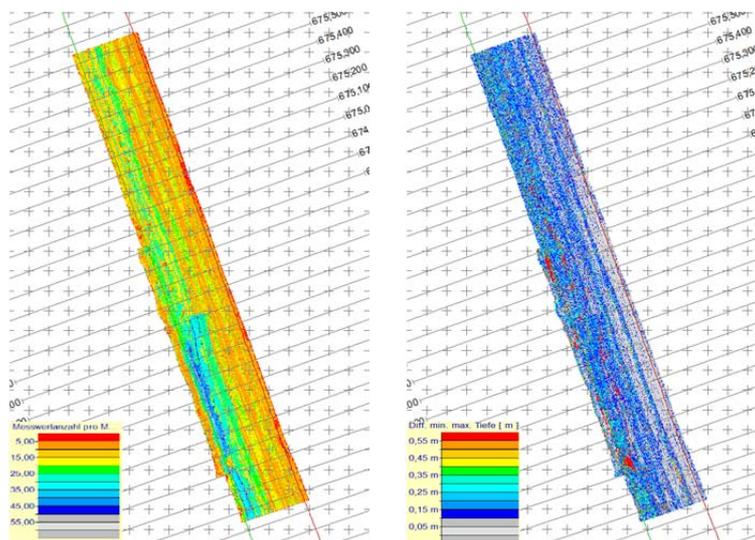


Abbildung 154: Analog Abbildung 151 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

Eine Betrachtung der Querprofile im Bereich bei Elbe km 673,65 zeigt die Wirkung der Filter. In Abbildung 155 ist das Querprofil ohne weitere Filterungen dargestellt. In Abbildung 156, Abbildung 157 und Abbildung 158 ist das gleiche Querprofil unter Anwendung unterschiedlicher Filteralgorithmen dargestellt. Es zeigt sich, dass bei der strengsten Filterstufe ($Quality \leq 20$; $Intensity \geq 40$, Abbildung 156) bestimmte Bereiche nicht erfasst werden, die augenscheinlich als Ausreißer wahrgenommen werden würden. Die in den ungefilterten Daten sichtbare Punktwolke oberhalb der Sohle ist in allen drei gefilterten Querprofilansichten verschwunden.

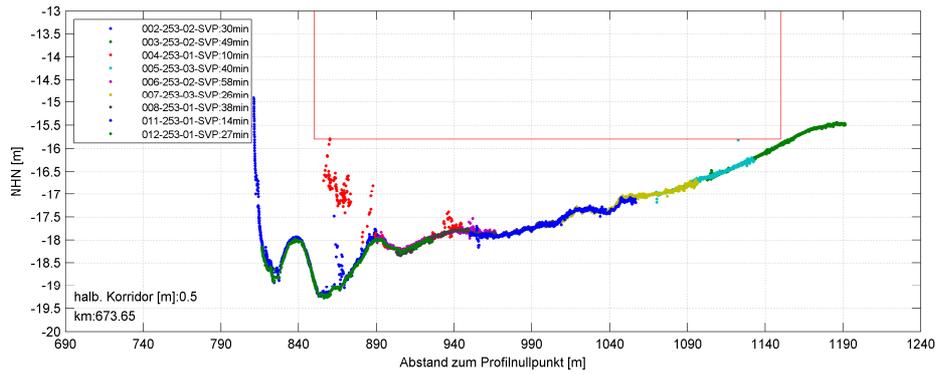


Abbildung 155: Querprofil (Okt. 2015) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen

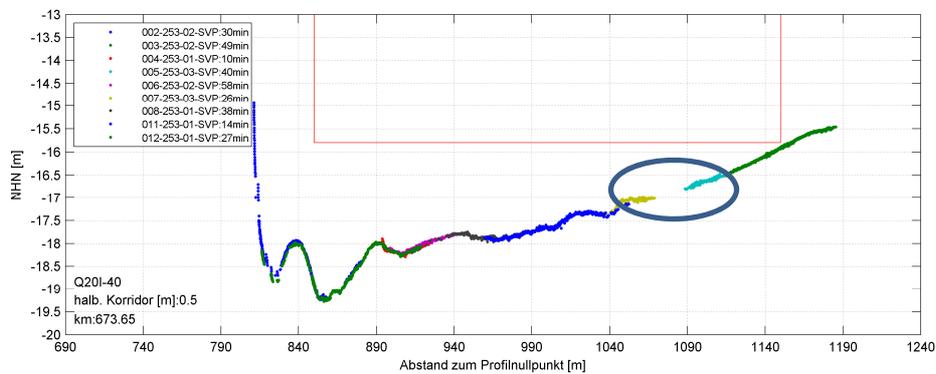


Abbildung 156: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$

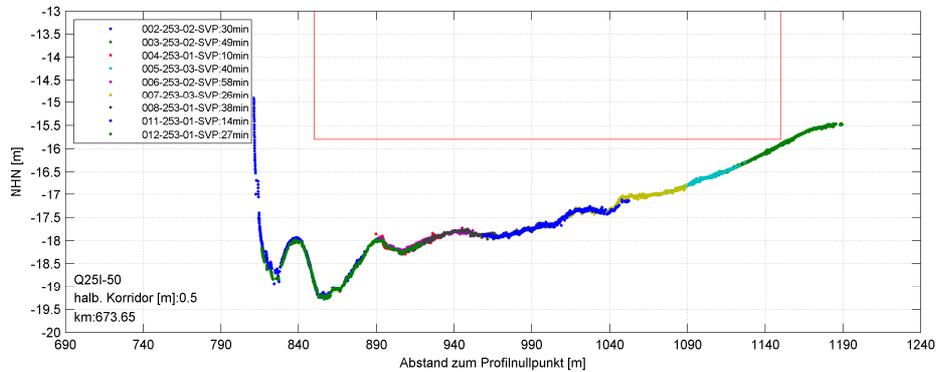


Abbildung 157: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$

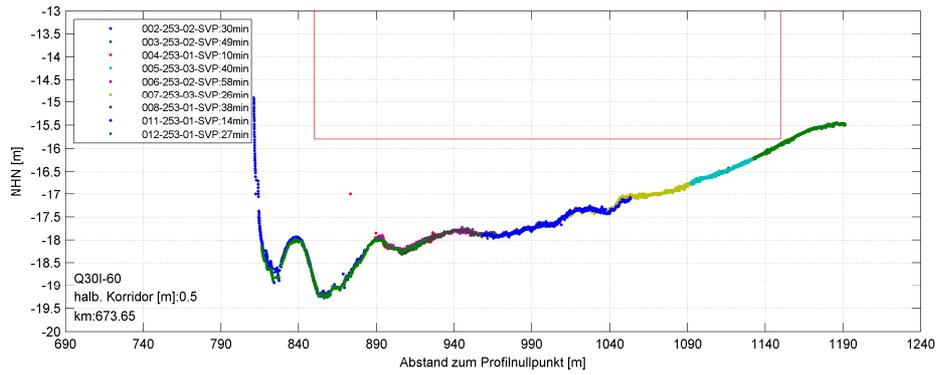


Abbildung 158: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

In den folgenden Abbildungen ist das gleiche Querprofil unter Verwendung der im Dezember 2015 erfassten Daten dargestellt. In diesem Fall ergeben sich in den ungefilterten Werten augenscheinlich kaum Fehlmessungen. Werden die Filter analog der vorangegangenen Betrachtung angewendet, ergeben sich die in Abbildung 160, Abbildung 161 und Abbildung 162 dargestellten Querprofile.

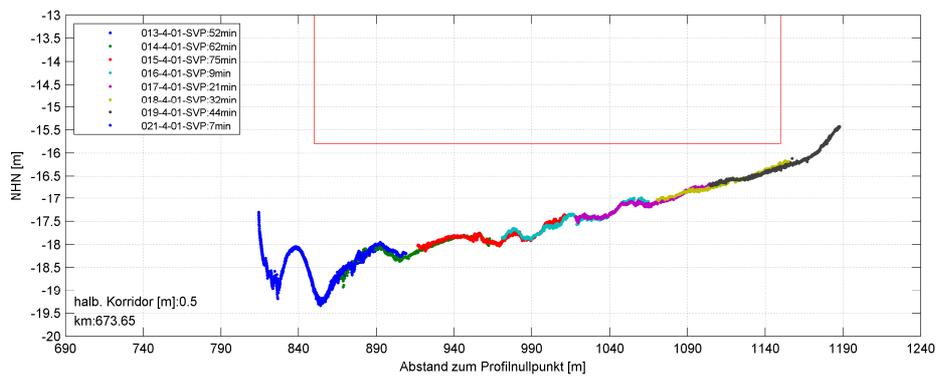


Abbildung 159: Querprofil (Dez. 2015) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen

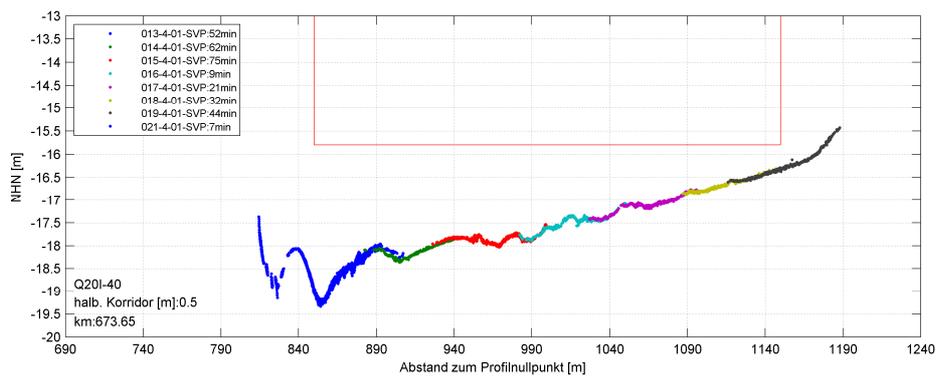


Abbildung 160: Analog Abbildung 159 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$

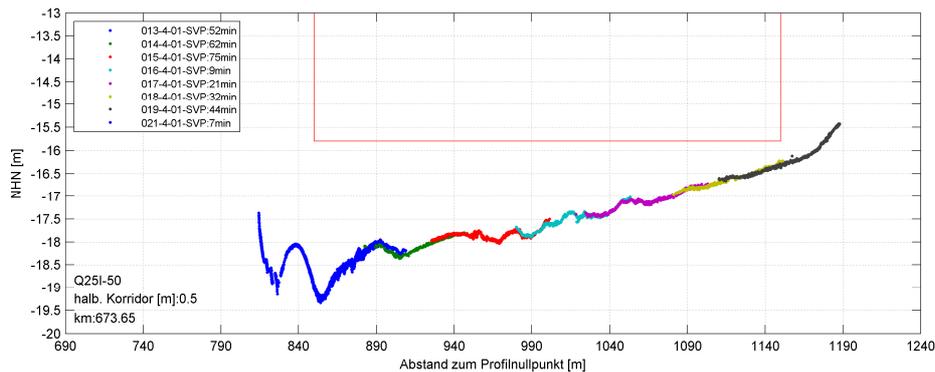


Abbildung 161: Analog Abbildung 159 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq 50$

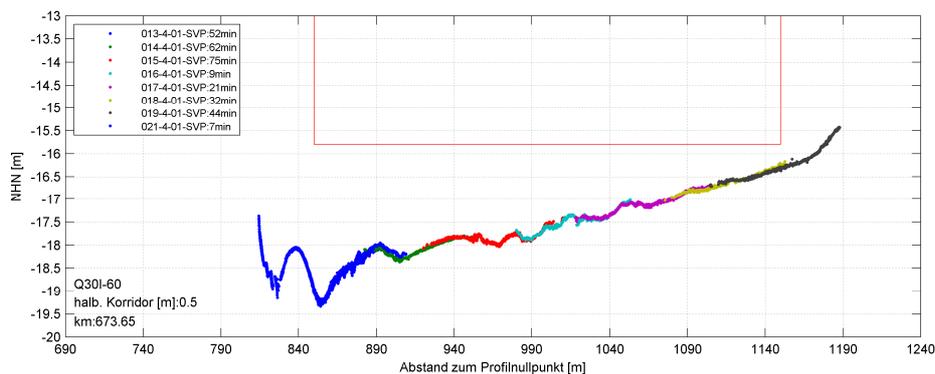


Abbildung 162: Analog Abbildung 159 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq 60$

Es hat sich gezeigt, dass in der letzten näher betrachteten Kampagne im April 2016 die meisten Fehlmessungen vorhanden waren. Dies bestätigt sich auch in diesem Bereich. Insbesondere im linken Bereich der Abbildung 163 sind vermehrt Fehlmessungen zu beobachten.

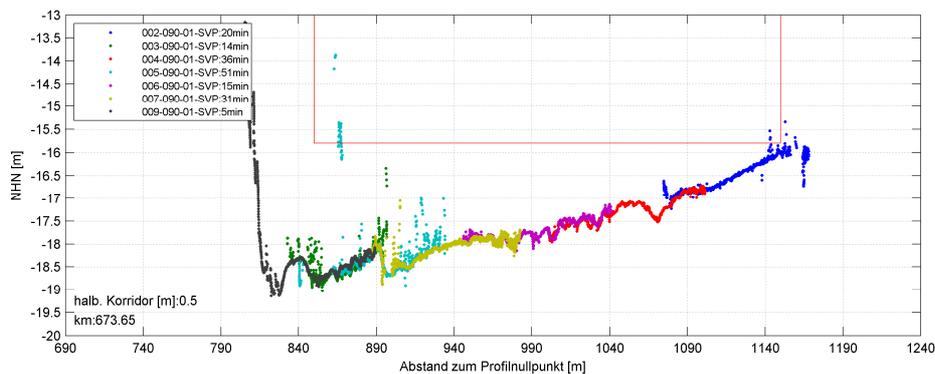


Abbildung 163: Querprofil (April 2016) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen

Werden die zuvor genutzten Filterschranken angewendet, ergeben sich die Abbildung 164, Abbildung 165 und Abbildung 166. Bei der Anwendung der ersten Filterschranke ($Quality \leq 20$, $Intensity \geq 40$, Abbildung 164) wird deutlich, dass zwar die vermeintlichen Fehlmessungen, aber auch viele augenscheinlich korrekte Beobachtungen herausgefiltert werden. Insbesondere im rechten Bereich des Querprofils werden viele Beobachtungen eliminiert.

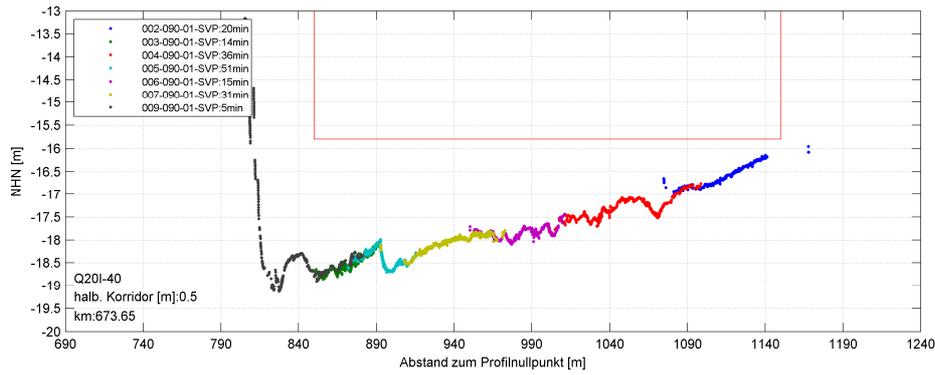


Abbildung 164: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$

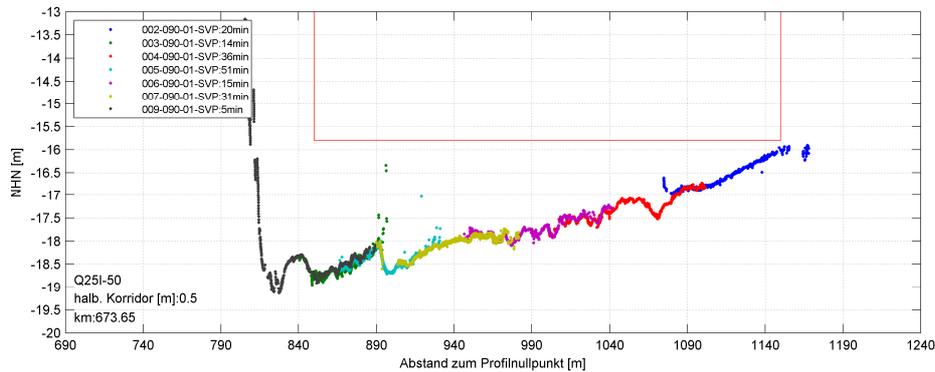


Abbildung 165: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$

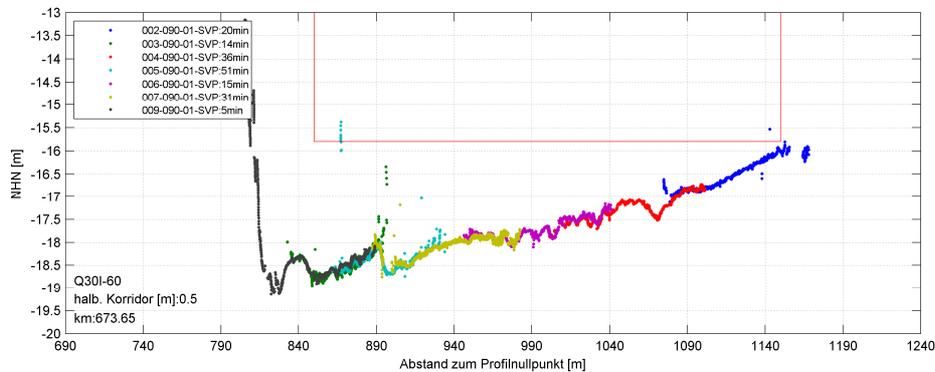


Abbildung 166: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$

Analog der vorangegangenen Auswertungen werden auch hier bei Anhebung der Filterschranken vermehrt Fehlmessungen zugelassen, die eigentlich eliminiert werden sollten.

4.4.4 Fazit:

Alle Auswertungen haben gezeigt, dass mit einer Filterung auf Basis von Quality und Intensity Werten schlechte Beobachtungen eliminiert bzw. als unplausibel eingestuft werden können. Es hat sich gezeigt, dass Messungen, die bestimmte Quality und Intensity Anforderungen nicht erfüllen mit hoher Wahrscheinlichkeit Fehlmessungen darstellen. Werden entsprechende Schranken gesetzt, ergeben sich bereinigte Datensätze. In einzelnen Bereichen kann dies dazu führen, dass nach der Filterung keine Beobachtungen mehr vorhanden sind. Es ist daher ratsam, eine entsprechende Filterung bereits während der Datenerfassung zu realisieren. So ist es bereits vor Ort möglich,

Datenlücken zu erkennen und betroffene Bereiche zielgerichtet erneut zu vermessen.

Entsprechende Problembereiche im Bereich der Tideelbe sind der Sedimentfang Wedel sowie in Teilen der Bereich Juelsand. Praktisch hat sich gezeigt, dass die Quality Werte den Wert 25 nicht überschreiten sollten und die Intensity Werte nicht kleiner als -50 sein sollten.

Es ist mit QPS QINCY möglich, entsprechende Schranken während der Datenerfassung zu setzen. Im Rahmen der Datenerfassung werden die schlechten Beobachtungen nicht im Navigationsdisplay angezeigt. Praktisch bedeutet dies, dass im Fall von schlechten Messungen zwar Datenlücken entstehen, diese aber direkt auf dem Peilschiff angezeigt werden. Es ist dem Personal an Bord damit möglich, den fehlenden Bereich noch einmal mit geänderten Rahmenbedingungen (Erfassung im Zentralbereich) zu erfassen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Bereich des WSA Hamburg treten seit einiger Zeit erhebliche Probleme bei der Erfassung der Gewässersohle auf. Diese äußern sich durch sehr große Streuungen der Messungen, die insbesondere am Streifenrand bzw. in den äußeren Beamwinkeln auftreten. Eine sichere Detektion der Gewässersohle ist in diesen Bereichen nur sehr schwer bzw. überhaupt nicht möglich. Die Probleme treten schwerpunktmäßig im Bereich des Sedimentfangs Wedel sowie im Blatt 03 Juelsand auf. Eine vermutete Ursache sind Weichsedimente in diesen Bereichen. Die BfG hat im Juli 2015 dem WSA Hamburg Sofortmaßnahmen empfohlen. Diese beinhalten u.a. eine Reduktion der Streifenlänge, Vorgaben zur Messung von Wasserschallprofilen sowie eine Einschränkung des Öffnungswinkels. Insbesondere die Einschränkung des Öffnungswinkels hatte einen erheblichen Mehraufwand zur Folge.

Im Rahmen des Berichtes wurde gezeigt, dass die stark streuenden Messungen durch Filter auf Basis von Qualitäts- und Intensitätsinformationen des Fächerlots bereits während der Messfahrt eliminiert werden können. Filterungen auf Basis von berechneten Fehlerwerten (TPE-Filter) haben sich als nicht zielführend herausgestellt. Durch Anwendung der Qualitäts- und Intensitätsfilter kann die Besatzung bereits während der Messung Problembereiche erkennen und diese zielgerichtet erneut vermessen. Üblicherweise werden die besten Resultate im Zentralbereich unterhalb des Messschiffs (kleine Beamwinkel) erreicht, weshalb die betroffenen Bereiche mit kleinen Beamwinkeln erneut vermessen werden sollten. Die vom WSA Hamburg genutzten Intervalle der Wasserschallgeschwindigkeit haben sich als ausreichend erwiesen.

Als Konsequenz aus den Auswertungen und Analysen wird daher empfohlen, bereits während des Erfassungsvorgangs an Bord in QPS QINCy die Quality und Intensity Filter zu aktivieren. Es sollten nur Messungen gespeichert werden, deren Quality Werte nicht größer als 25 und deren Intensity Werte nicht kleiner als -50 sind. Strengere Schranken sind auch möglich, wobei sich dabei die Beobachtungsanzahl weiter reduziert. Da minderwertige Beobachtungen über die Filter eliminiert werden, ist eine Öffnung des Beamwinkels auf die zuvor genutzten 72° möglich.

Mithilfe der Filterungen können die Auswirkungen der Probleme minimiert werden. Die Grenzen der Fächerlotpeilung sind physikalischer Natur und nicht zu umgehen. In bestimmten Bereichen und bei bestimmten Rahmenbedingungen (z.B. ablaufendes Wasser in Verbindung mit Sedimenteinträgen) ist dennoch nicht möglich, mithilfe von Fächerloten Bodenpunkte zu erfassen. In diesen Fällen können Einstrahlote eingesetzt werden. Je nach eingesetzter Schallfrequenz dringen diese unterschiedlich weit in den Boden ein. In diesen Fällen ist mit den nautisch verantwortlichen Personen abzustimmen, welche Schallfrequenz zu nutzen ist.

Für eine weiterführende Optimierung der hydrografischen Datenerfassung in hydroakustisch schwer zu vermessenden Gebieten werden die Arbeiten durch die BfG fortgesetzt. Diese weiterführenden Arbeiten beinhalten insbesondere Untersuchungen zu den Möglichkeiten neuartiger Echolote und Sedimentecholote. Sedimentecholote dringen einige Meter in den Gewässerboden ein und erlauben so die Erfassung eines Sedimentprofils. In Verbindung mit Messungen von Dichtesonden ist es auch möglich, den hydroakustischen Impedanzschichten und

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Referat
Geodäsie

Gewässer-
vermessung

damit auch den Sedimentschichten Dichtewerte zuzuweisen und so Rückschlüsse auf die nautische Sohle zu ziehen. Die Ergebnisse werden in einem folgenden Bericht veröffentlicht.

SAP
M39610504067

6 Literaturverzeichnis

- Hare, Rob: Depth and Position Error Budgets for Multibeam Echosounding, International Hydrographic Review, Monaco, LXXII(2), September 1995
- Kongsberg: Instruction Manual, Kongsberg EM Series Multibeam echo sounders, Datagram formats, Kongsberg Maritime AS, Juni 2015
- Ablitt, Justin: Unterwater Acoustics, Technical Guides – Speed of Sound in Sea-Water, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK, TW11 0LW Crown Copyright 2000. Reproduced by permission of the Controller of HMSO,
<http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/content.html>
- Wirth, Harry: BfG-Bericht 1734, Messunsicherheiten in der Gewässervermessung, Bundesanstalt für Gewässerkunde, November 2011
- Winterscheid, Axel: Sedimentverhältnisse in der Tideelbe und im Hamburger Hafen und Ohle, Nino: Darstellung der bekannten Wirkungspfade, Beitrag zum 16.
- Entelmann, Ingo: Gewässermorphologisches Kolloquium der BfG, Bremerhaven, 6./7. November 2013

7 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Blattschnitt im Revier des WSA Hamburg | 5 |
| Abbildung 2: Querprofil im Bereich des Sedimentfang Wedel (km 643,16, EM2040C) | 6 |
| Abbildung 3: Vier Pings einer Messung bei km652,00 | 7 |
| Abbildung 4: Querprofil bei km 651,957 (Korridorbreite 4,0m) | 7 |
| Abbildung 5: Sedimentbeschaffenheit im Bereich der Elbe (Winterscheid et al 2014)..... | 10 |
| Abbildung 6: Peilschiff Wedel des WSA Hamburg..... | 10 |
| Abbildung 7: Längsprofil im Bereich des Sedimentfangs (Lage: siehe Abbildung 8) | 12 |
| Abbildung 8: Differenzen zwischen 15 kHz und 200 kHz Beobachtungen (Sedimentfang Wedel) | 12 |
| Abbildung 9: Ableitung des Beamwinkels am Schwinger nach [Hare,1995]..... | 13 |
| Abbildung 10: Farbcodierte Intensity Werte eines Fächers (April 2016, km 651,92)..... | 14 |
| Abbildung 11: Farbcodierte Quality Werte eines Fächers (April 2016, km 651,92)..... | 15 |
| Abbildung 12: Beobachtungen eines vollständigen Querprofils bei km 641,86 (April 2016)..... | 16 |
| Abbildung 13: Intensity Information (farbcodiert) eines Querprofils bei km 641,86 (Apr. 2016) .. | 16 |
| Abbildung 14: Quality Information (farbcodiert) eines Querprofils bei km 641,86 (Apr. 2016) | 16 |
| Abbildung 15: Darstellung der Maschendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel | 17 |
| Abbildung 16: Flächenhafte farbcodierte Darstellung der Intensity Werte im Bereich Wedel | 17 |
| Abbildung 17: Flächenhafte farbcodierte Darstellung der Quality Werte im Bereich Wedel | 17 |
| Abbildung 18: Filtereinstellungen bei QINCY | 18 |
| Abbildung 19: Resultierende KSU (TPU) – Lage (PS Wedel, angenommene Wassertiefe 17,6m) 19 | |
| Abbildung 20: Resultierende KSU (TPU) - Tiefe (PS Wedel, angenommene Wassertiefe 17,6m) 19 | |
| Abbildung 21: Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 3, Juelsand) | 21 |
| Abbildung 22: Abweichungen aufgrund variierender Wasserschallgeschwindigkeiten..... | 21 |
| Abbildung 23: Im Rahmen der Auswertung näher betrachtete Abschnitte..... | 22 |
| Abbildung 24: Wassertiefen im Bereich Wedel..... | 23 |
| Abbildung 25: Wassertiefen im Bereich Juelsand | 23 |
| Abbildung 26: Wassertiefen im Bereich Blatt 07 | 24 |
| Abbildung 27: Maschendifferenzen im Bereich Wedel (Okt. 2015) | 24 |
| Abbildung 28: Maschendifferenzen im Bereich Juelsand (Okt. 2015) | 25 |
| Abbildung 29: Maschendifferenzen im Bereich Blatt07 (Oktober 2015) | 25 |
| Abbildung 30: Histogramme der Maschendifferenzen (Okt. 2015)..... | 25 |
| Abbildung 31: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 | 26 |
| Abbildung 32: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 | 26 |
| Abbildung 33: Tiefendifferenzen und Histogramme der Maschendifferenzen im April 2016 | 27 |
| Abbildung 34: Maschendifferenzen während der Verkehrssicherungspeilungen)..... | 28 |
| Abbildung 35: Querprofil Darstellung bei km 651,70 (Aug. 2015)..... | 29 |
| Abbildung 36: Querprofil Darstellung bei km 651,70 (Okt. 2015)..... | 29 |
| Abbildung 37: Querprofil Darstellung bei km 651,70 (Dez. 2015) | 29 |
| Abbildung 38: Querprofil Darstellung bei km 651,7 (Apr. 2016) | 29 |
| Abbildung 39: Charakterisierung der Tidephasen..... | 31 |
| Abbildung 40: Wassertiefen im Bereich Juelsand (erfasst im Oktober 2015) | 32 |
| Abbildung 41: Querprofil km 652,12 während der drei Kampagnen | 33 |
| Abbildung 42: Querprofil km 652,12 während der drei Kampagnen (farbcodierter Beamwinkel) . | 34 |
| Abbildung 43: Farbcodierte Darstellung der Intensity Werte bei Querprofil km 652,12 | 34 |
| Abbildung 44: Farbcodierte Darstellung der Quality Werte (Querprofils bei km 652,12) | 35 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 45: Farbcodierte Darstellung der horizontalen TPU - Werte bei km 652,12 | 35 |
| Abbildung 46: Farbcodierter Darstellung der vertikalen TPU Werte bei km 652,12 | 36 |
| Abbildung 47: Gebiet rund um dem Sedimentfang Wedel mit Querprofil bei km 642,68 | 36 |
| Abbildung 48: Farbcodierte Darstellung des Beamwinkels in einem Querprofil bei km 642,68 | 37 |
| Abbildung 49: Farbcodierte Darstellung der Intensitätsinformationen bei km 642,628 | 37 |
| Abbildung 50: Farbcodierte Darstellung der Quality Werte bei Querprofil km 648,28 | 38 |
| Abbildung 51: Gebiet rund um dem Sedimentfang Wedel mit Querprofil bei km 674,690 | 39 |
| Abbildung 52: Farbcodierte Darstellung des Beamwinkels bei km 674,690 | 39 |
| Abbildung 53: Farbcodierte Darstellung der Quality Informationen bei km 674,690 | 40 |
| Abbildung 54: Farbcodierte Darstellung der Intensity Informationen bei km 674,690 | 40 |
| Abbildung 55: Quality-Werte als Maschenmittelwert im Bereich Wedel (Okt. 2015)..... | 41 |
| Abbildung 56: Maschendifferenz der Quality Werte im Bereich Wedel (Okt. 2015) | 41 |
| Abbildung 57: Intensity Werte als Maschenmittelwerte im Bereich Wedel (Okt. 2015) | 42 |
| Abbildung 58: Maschendifferenzen der Intensity Werte im Bereich Wedel (Okt. 2015)..... | 42 |
| Abbildung 59: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Okt. 2015)..... | 43 |
| Abbildung 60: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Dez. 2015) | 43 |
| Abbildung 61: Quality Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)..... | 43 |
| Abbildung 62: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Okt. 2015)..... | 44 |
| Abbildung 63: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Dez. 2015) | 44 |
| Abbildung 64: Intensity Werte im Bereich des Sedimentfang Wedel (Apr. 2016)..... | 44 |
| Abbildung 65: Quality Werte im Bereich Juelsand (Okt. 2015)..... | 45 |
| Abbildung 66: Quality Werte im Bereich Juelsand (Dez. 2015)..... | 45 |
| Abbildung 67: Quality Werte im Bereich Juelsand (Apr. 2016)..... | 46 |
| Abbildung 68: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Okt. 2015)..... | 46 |
| Abbildung 69: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Dez. 2015)..... | 47 |
| Abbildung 70: Intensity Werte im Bereich Juelsand (Apr. 2016)..... | 47 |
| Abbildung 71: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015)..... | 48 |
| Abbildung 72: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015)..... | 48 |
| Abbildung 73: Quality Werte im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016)..... | 48 |
| Abbildung 74: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015)..... | 49 |
| Abbildung 75: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015)..... | 49 |
| Abbildung 76: Intensity Werte im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016)..... | 49 |
| Abbildung 77: Gegenüberstellung der Differenzen gegenüber den Quality und Intensity | 50 |
| Abbildung 78: Darstellung analog Abbildung 77, nur Nutzung eines verrauschten Messstreifens. | 51 |
| Abbildung 79: Vergleichbar Abbildung 77, problemloser Peilstreifen im Bereich Juelsand | 51 |
| Abbildung 80: Analog Abbildung 79, stark verrauschter Messstreifen im Bereich Juelsand..... | 51 |
| Abbildung 81: Vergleichbar Abbildung 77, problemloser Peilstreifen im Bereich Juelsand | 52 |
| Abbildung 82: : Analog Abbildung 79, stark verrauschter Messstreifen im Bereich Juelsand..... | 52 |
| Abbildung 83: Histogramm der Quality Werte der drei Kampagnen | 54 |
| Abbildung 84: Histogramm der Intensity Werte der drei Kampagnen | 55 |
| Abbildung 85: Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Intensity Werten (Okt. 2015)..... | 57 |
| Abbildung 86: Zusammenhang zwischen Beamwinkel und Quality - Werten (Okt. 2015)..... | 58 |
| Abbildung 87: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Okt. 2015 | 59 |
| Abbildung 88: Zusammenhang zwischen Quality Werten und Beamwinkel im Okt. 2015 | 59 |
| Abbildung 89: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Apr. 2016 | 59 |
| Abbildung 90: Zusammenhang zwischen Intensity Werten und Beamwinkel im Apr. 2016 | 59 |
| Abbildung 91: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Juelsand (Okt. 2015) | 60 |
| Abbildung 92: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Juelsand (Apr. 2016) | 60 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 93: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015) | 61 |
| Abbildung 94: Intensity und Quality Werte vs. Beamwinkel im Bereich Blatt 07 (Apr. 2016) | 62 |
| Abbildung 95: Beobachtungsanzahl und Maschendifferenz im Oktober 2015 | 63 |
| Abbildung 96: Analog Abbildung 95 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 63 |
| Abbildung 97: Analog Abbildung 95 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 64 |
| Abbildung 98: Analog Abbildung 95 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 64 |
| Abbildung 99: Punktverteilung und Tiefendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel | 65 |
| Abbildung 100: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 65 |
| Abbildung 101: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 66 |
| Abbildung 102: Analog Abbildung 99 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 66 |
| Abbildung 103: Punktverteilung und Tiefendifferenzen im Bereich Sedimentfang Wedel | 67 |
| Abbildung 104: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 67 |
| Abbildung 105: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 68 |
| Abbildung 106: Analog Abbildung 103 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 68 |
| Abbildung 107: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Okt. 2015) | 69 |
| Abbildung 108: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 69 |
| Abbildung 109: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 69 |
| Abbildung 110: Analog Abbildung 107, Filterschranken: Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 70 |
| Abbildung 111: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Dez. 2015) | 70 |
| Abbildung 112: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 71 |
| Abbildung 113: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 71 |
| Abbildung 114: Analog Abbildung 111, Filterschranken: Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 71 |
| Abbildung 115: Querprofil ohne weitere Filterungen bei km Elbe km 642,68 (Apr. 2016) | 72 |
| Abbildung 116: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 72 |
| Abbildung 117: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 72 |
| Abbildung 118: Analog Abbildung 115, Filterschranken: Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 73 |
| Abbildung 119: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Okt. 2015) | 73 |
| Abbildung 120: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 74 |
| Abbildung 121: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 74 |
| Abbildung 122: Analog Abbildung 119 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 74 |
| Abbildung 123: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Dez. 2015) | 75 |
| Abbildung 124: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 75 |
| Abbildung 125: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 75 |
| Abbildung 126: Analog Abbildung 123 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 76 |
| Abbildung 127: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Juelsand (Apr. 2016) | 76 |
| Abbildung 128: Analog Abbildung 127 nur mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 77 |
| Abbildung 129: Analog Abbildung 127 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 77 |
| Abbildung 130: Analog Abbildung 127 mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 77 |
| Abbildung 131: Querprofil im Bereich Juelsand bei km 650,91 (Okt. 2015) | 78 |
| Abbildung 132: Analog Abbildung 131 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 78 |
| Abbildung 133: Analog Abbildung 131 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 78 |
| Abbildung 134: Analog Abbildung 131 nur mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 79 |
| Abbildung 135: Querprofil im Bereich Juelsand bei km 650,91 (Dez. 2015) | 79 |
| Abbildung 136: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 79 |
| Abbildung 137: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz Quality ≤ 25 , Intensity ≥ -50 | 80 |
| Abbildung 138: Analog Abbildung 135 mit Filteransatz Quality ≤ 30 , Intensity ≥ -60 | 80 |
| Abbildung 139: Querprofil bei Elbe km 650,91 im April 2016 (keine weiteren Filterungen) | 80 |
| Abbildung 140: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz Quality ≤ 20 , Intensity ≥ -40 | 81 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 141: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 81 |
| Abbildung 142: Analog Abbildung 139 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 81 |
| Abbildung 143: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 (Okt. 2015, o. Filterungen) | 82 |
| Abbildung 144: Analog Abbildung 143 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 82 |
| Abbildung 145: Analog Abbildung 143 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 83 |
| Abbildung 146: Analog Abbildung 143 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 83 |
| Abbildung 147: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 (Dez. 2015) o. Filterungen | 84 |
| Abbildung 148: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 84 |
| Abbildung 149: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 85 |
| Abbildung 150: Analog Abbildung 147 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -50$ | 85 |
| Abbildung 151: Punktdichte und Tiefendifferenz im Bereich Blatt 07 o. Filterungen (April 2016) | 86 |
| Abbildung 152: Analog Abbildung 151 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 86 |
| Abbildung 153: Analog Abbildung 151 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 87 |
| Abbildung 154: Analog Abbildung 151 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 87 |
| Abbildung 155: Querprofil (Okt. 2015) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen | 88 |
| Abbildung 156: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 88 |
| Abbildung 157: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 88 |
| Abbildung 158: Analog Abbildung 155 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 89 |
| Abbildung 159: Querprofil (Dez. 2015) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen..... | 89 |
| Abbildung 160: Analog Abbildung 159 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 89 |
| Abbildung 161: Analog Abbildung 159 nur mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 90 |
| Abbildung 162: Analog Abbildung 159 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 90 |
| Abbildung 163: Querprofil (April 2016) bei Elbe km 673,650 ohne weitere Filterungen..... | 90 |
| Abbildung 164: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 20$, $Intensity \geq -40$ | 91 |
| Abbildung 165: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 25$, $Intensity \geq -50$ | 91 |
| Abbildung 166: Analog Abbildung 163 mit Filteransatz $Quality \leq 30$, $Intensity \geq -60$ | 91 |
| Abbildung 167: Signalbrechung im Wasser..... | 104 |
| Abbildung 168: Lage der Pegel und Dauermessstellen sowie der Untersuchungsbereiche..... | 105 |
| Abbildung 169: Oberflächennahe Wasserschallgeschwindigkeiten an den Dauermessstellen..... | 105 |
| Abbildung 170: Wasserschallgeschwindigkeit am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle 1 | 106 |
| Abbildung 171: Wasserschallgeschwindigkeit am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle 2 | 106 |
| Abbildung 172: Stündliche Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit im Jahr 2015 D1 | 106 |
| Abbildung 173: Stündliche Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit im Jahr 2015 D2 | 107 |
| Abbildung 174: Stündliche Wasserschalländerungen am 15.10.2015 im Bereich der D1..... | 107 |
| Abbildung 175: Stündliche Wasserschalländerungen am 15.10.2015 im Bereich der D2..... | 107 |
| Abbildung 176: Stündliche Differenzen der Wasserschallgeschw. in untersch. Tiefen (D1)..... | 108 |
| Abbildung 177: Stündliche Differenzen der Wasserschallgeschw. in untersch. Tiefen (D2)..... | 108 |
| Abbildung 178: Tiefendifferenzen aufgrund homogener Wasserschalländerungen | 109 |
| Abbildung 179: Lagedifferenzen aufgrund homogener Wasserschalländerungen..... | 110 |
| Abbildung 180: Fiktive Wasserschallgeschwindigkeiten (lin. Änderungen)..... | 110 |
| Abbildung 181: Aufgrund der Wasserschalländerungen (Abbildung 180) auftretende Tiefendiff. | 110 |
| Abbildung 182: Aufgrund der Wasserschalländerungen (Abbildung 180) auftretende Lagediff. . | 111 |
| Abbildung 183: Lage der Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 03, Juelsand)..... | 111 |
| Abbildung 184: Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 3, Juelsand)..... | 111 |
| Abbildung 185: Abweichungen aufgrund variierender Wasserschallgeschwindigkeiten | 112 |
| Abbildung 186: Tiefendifferenzen bei variierenden Wasserschallprofilen..... | 112 |
| Abbildung 187: Resultierende Wassertiefen (Streifen 0001-Ma249-0001, Ping Nr.417) | 113 |
| Abbildung 188: Resultierende Differenzen der Wassertiefen (Streifen 0001-Ma249-0001)..... | 113 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 189: Wasserschallprofile am 13.04.2016 im Bereich Blatt 07..... | 113 |
| Abbildung 190: Darstellung der resultierenden Differenzen vom 13.04.2016 | 114 |
| Abbildung 191: Resultierende Wassertiefen im Blatt 07 (Streifen 0002-Ma090-0002)..... | 114 |
| Abbildung 192: Resultierende Wassertiefen im Blatt 07 (Streifen 0002-Ma090-0002)..... | 115 |

8 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Der Auswertung zugrunde liegende Messkampagnen | 22 |
| Tabelle 2: Stromabschnitte der näher betrachteten Bereiche | 22 |
| Tabelle 3: Übersicht über die Messkampagnen sowie Tideinformationen | 30 |
| Tabelle 4: Tidephasen der Messungen | 31 |
| Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Quality Werte in den betrachteten Bereichen..... | 53 |
| Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der Intensity Werte in den betrachteten Bereichen..... | 54 |
| Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der Beobachtungen in Relation zu dem Beamwinkel..... | 55 |
| Tabelle 8: Datenreduktion aufgrund von Filteransätzen | 56 |
| Tabelle 9: Punktdichte und Reduktion bei unterschiedlichen Filteransätzen..... | 57 |
| Tabelle 10: Ergebnisse der Einmessung des PS Wedel | 102 |
| Tabelle 11: Der Fehlerrechnung zugrunde liegende Ausgangswerte..... | 102 |
| Tabelle 12: Pegel im Revier des WSA Hamburg..... | 103 |
| Tabelle 13: Änderungen der Range aufgrund von Wasserschallgeschwindigkeiten | 109 |
| Tabelle 14: Änderungen der Querabweichung u. Wassertiefe aufgrund v. Wasserschallgeschw.. | 109 |
| Tabelle 15: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 1. Messung | 117 |
| Tabelle 16: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 2. Messung | 117 |
| Tabelle 17: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 3. Messung | 117 |
| Tabelle 18: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 01 Sedimentfang Wedel - 1. Messung | 117 |
| Tabelle 19: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 01 Sedimentfang Wedel - 2. Messung | 118 |
| Tabelle 20: Messstreifen im August 2015 - Blatt 03 Juelsand..... | 118 |
| Tabelle 21: Messstreifen im August 2015 - Blatt 07..... | 119 |
| Tabelle 22: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 01 Wedel..... | 119 |
| Tabelle 23: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 03 Juelsand | 120 |
| Tabelle 24: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 07 | 120 |
| Tabelle 25: Messstreifen im Dezember 2015 - Blatt 01 Wedel | 121 |
| Tabelle 26: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 03 Juelsand | 121 |
| Tabelle 27: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 07 | 122 |
| Tabelle 28: Messstreifen im April 2016 - Blatt 01 Wedel | 122 |
| Tabelle 29: Messstreifen im April 2016 - Blatt 03 Juelsand..... | 123 |
| Tabelle 30: Messstreifen im April 2016 - Blatt 07..... | 123 |

9 Anhang

9.1 Anhang A – Peilrevier und eingesetzte Peilschiffe

Das Peilschiff des WSA Hamburg ist die PS Wedel. Diese wurde im Juli 2015 mit einer neuen hydroakustischen Messanlage ausgestattet. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Einmessung sowie die angehaltenen Unsicherheiten dargestellt.

Tabelle 10: Ergebnisse der Einmessung des PS Wedel

| Ergebnisse der Einmessung | | | | |
|--|------------------------------|---------|--|-------|
| Sensor | Messwerte | | Unsicherheit (1 σ) | |
| Backbord Transducer | | | | |
| Schiffsordinate Y-Richtung [m] (SB+) | y _{B.Transd.} | -0,280 | $\sigma_{x_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate X-Richtung [m] (Bug+) | x _{B.Transd.} | 9,144 | $\sigma_{y_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate Z-Richtung [m] (oben+) | z _{B.Transd.} | -1,389 | $\sigma_{z_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Einbauwinkel Roll-Richtung [°] | α_m | 39,900 | σ_{α_m} | 0,020 |
| Einbauwinkel Pitch-Richtung [°] | β_m | -1,650 | $\sigma_{\beta} = \sigma_{\beta_m}$ | 0,020 |
| Einbauwinkel Yaw-Richtung [°] | γ_m | 1,720 | σ_{γ_m} | 0,020 |
| Steuerbord - Transducer | | | | |
| Schiffsordinate Y-Richtung [m] (SB+) | y _{B.Transd.} | 0,352 | $\sigma_{x_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate X-Richtung [m] (Bug+) | x _{B.Transd.} | 9,106 | $\sigma_{y_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate Z-Richtung [m] (oben+) | z _{B.Transd.} | -1,362 | $\sigma_{z_B.Transd.}$ | 0,010 |
| Einbauwinkel Roll-Richtung [°] | α_m | -40,130 | σ_{α_m} | 0,020 |
| Einbauwinkel Pitch-Richtung [°] | β_m | -0,760 | $\sigma_{\beta} = \sigma_{\beta_m}$ | 0,020 |
| Einbauwinkel Yaw-Richtung [°] | γ_m | -0,340 | σ_{γ_m} | 0,020 |
| Positionierungssystem | | | | |
| Schiffsordinate Y-Richtung [m] (SB+) | y _{B.GNSS.} | -2,258 | $\sigma_{x_B.Antenne}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate X-Richtung [m] (Bug+) | x _{B.GNSS.} | 4,879 | $\sigma_{y_B.Antenne}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate Z-Richtung [m] (oben+) | z _{B.GNSS.} | 5,440 | $\sigma_{z_B.Antenne}$ | 0,010 |
| Inertialsystem | | | | |
| Schiffsordinate Y-Richtung [m] (SB+) | Y _{B.IMU} | -0,006 | $\sigma_{x_B.IMU}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate X-Richtung [m] (Bug+) | x _{B.IMU} | 3,898 | $\sigma_{y_B.IMU}$ | 0,010 |
| Schiffsordinate Z-Richtung [m] (oben+) | Z _{B.IMU} | -1,172 | $\sigma_{z_B.IMU}$ | 0,010 |
| Nullablage - Rollrichtung [°] | ΔR | 0,000 | $\sigma_{\Delta R}$ | 0,020 |
| Nullablage - Pitchrichtung [°] | ΔP | 0,000 | $\sigma_{\Delta P}$ | 0,020 |
| Nullablage - YawRichtung [°] | $\Delta H = \Delta \alpha H$ | 0,000 | $\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\Delta \alpha H}$ | 0,020 |

Tabelle 11: Der Fehlerrechnung zugrunde liegende Ausgangswerte

| Beobachtungen der einzelnen Sensoren | | | | |
|---|----------------------------------|--------|--------------------------------------|------|
| Sensor | Messwert | | Unsicherheit (1 σ) | |
| | Name | Wert | Name | Wert |
| Positionierung und Ortung | | | | |
| GNSS - X-Richtung | X _{U.Ant.} | --- | $\sigma_{x_U.Antenne}$ | 0,02 |
| GNSS - Y-Richtung | Y _{U.Ant.} | --- | $\sigma_{y_U.Antenne}$ | 0,02 |
| GNSS - Z-Richtung | Z _{U.Ant.} | --- | $\sigma_{z_U.Antenne}$ | 0,04 |
| Höhentransformation | --- | --- | σ_{Geoid} | 0,02 |
| IMU - Rollwinkel | R _{m.IMU} | max. R | σ_{R_m} | 0,01 |
| IMU - Pitchwinkel | P _{m.IMU} | max. P | σ_{P_m} | 0,01 |
| IMU - Heading | H _{m.IMU} | 0,000 | $\sigma_{H_m} = \sigma_{\alpha H_m}$ | 0,05 |
| IMU - dyn Unsicherheit Hub (absolut) | --- | --- | a | 0,05 |
| IMU - rel. Unsicherheit Hub [%] | --- | --- | b | 5 |
| Geschwindigkeiten und Drehraten | | | | |
| Winkelgeschwindigkeit Rollwinkel [°/s] | v _R | 3,000 | σ_{v_R} | 0,2 |
| Winkelgeschwindigkeit Pitchwinkel [°/s] | v _P | 2,000 | σ_{v_P} | 0,2 |
| Winkelgeschwindigkeit Heading [°/s] | v _{α} | 3,000 | $\sigma_{v_{\alpha}}$ | 0,1 |

| | | | | |
|--|------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|
| Geschwindigkeit über Grund | SOG | 3,500 | σ_{SOG} | 0,1 |
| Vertikalgeschwindigkeit der Positionierung | S_{Vertical} | 0,300 | σ_{Vertical} | 0,1 |
| mittlere Wasserschallgeschwindigkeit | v_m | 1450 | σ_{v_m} | 0,05 |
| Tiefenabstand Wasserschallmesswerte | d | 0,200 | --- | --- |
| Räuml.-zeitl. Unsicherh. Wasserschallgeschw. | x | | $\sigma_{\Delta v}$ | 0,05 |
| Wasserschallgeschw. Oberfl. Transducer | v_s | 1450 | σ_{v_s} | 0,05 |
| Restfehler Datenalter der Position | $\Delta t_{\text{Position}}$ | 0,005 | $\sigma_{\Delta t_{\text{Position}}}$ | 0,005 |
| Restfehler Datenalter des Winkels | Δt_{Winkel} | 0,005 | $\sigma_{\Delta t_{\text{Winkel}}}$ | 0,005 |
| Echolotspezifika | | | | |
| Transducer - Impulsdauer [ms] | Δt_{imp} | 0,150 | --- | --- |
| Transducer - Bandbreite [kHz] | B | 14 | --- | --- |
| Transducer Öffnungsw. Längsr. [°] | ψ_{long} | 1,500 | --- | --- |
| Umgebungsbedingungen | | | | |
| Wassertiefe [m] | | 17,6 | --- | --- |
| Max. Rollen | R_{max} | 5,000 | --- | --- |
| Max. Pitchen | P_{max} | 5,000 | --- | --- |
| max. Wellenhöhe | Heave | 0,500 | --- | --- |

Im Revier des WSA Hamburg liegen die in Tabelle 12 dargestellten Pegel. Zu diesen Pegeln sind neben der Fahrrinntiefe in Bezug auf SKN und NHN auch die mittleren Tideniedrigwasser (MTnw) und mittleren Tidehochwasser (MThw) dargestellt. Unter Nutzung der Höhe des Pegelnullpunktes und der Höhe des festgelegten SKN lassen sich die mittleren Fahrrinntiefen rel. zu MTnw und MThw bestimmen. Numerisch ergibt sich eine mittlere Wassertiefe der Fahrrinne von 14,5m relativ zu MTnw und 17,6m relativ zu MThw. Praktisch bedeutet dies, dass bei Tidehochwasser die festgelegte Fahrrinne ~17,6m unterhalb der Wasseroberfläche liegt.

Tabelle 12: Pegel im Revier des WSA Hamburg

| Pegel | km | MTnw | | MThw | | Fahrrinnenkasten | | | |
|------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|---------------|---------------|
| | | rel. PNP [m] | rel. PNP [m] | rel. NHN [m] | rel. NHN [m] | rel. SKN [m] | rel. NHN [m] | rel. MTnw [m] | rel. MThw [m] |
| Glückstadt | 674,00 | 3,77 | 6,58 | -5,00 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,57 | -17,38 |
| Krautsand | 671,75 | 3,76 | 6,61 | -5,01 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,55 | -17,40 |
| Kollmar | 666,90 | 3,78 | 6,65 | -5,01 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,57 | -17,44 |
| Grauerort | 660,60 | 3,76 | 6,72 | -5,02 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,54 | -17,50 |
| Stadersand | 654,86 | 3,75 | 6,78 | -5,03 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,52 | -17,55 |
| Hetlingen | 650,50 | 3,72 | 6,82 | -5,01 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,51 | -17,61 |
| Lühort | 645,50 | 3,68 | 6,85 | -5,01 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,47 | -17,64 |
| Schulau | 641,00 | 3,64 | 6,91 | -5,01 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,43 | -17,70 |
| Cranz | 634,42 | 3,58 | 7,00 | -5,02 | -1,90 | -13,90 | -15,80 | -14,36 | -17,78 |

9.2 Anhang B - Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit

9.2.1 Grundlagen

Insbesondere in tidebeeinflussten Gewässern wie im Bereich der Tideelbe kommt der Wasserschallgeschwindigkeit eine Schlüsselrolle zu. Originäre Messgröße sind immer Zeitmessungen. Diese werden über die Wasserschallgeschwindigkeit in Streckenangaben umgeformt bzw. indirekt daraus ein Beamwinkel abgeleitet. Die Wasserschallgeschwindigkeit an der Transduceroberfläche ist elementar für die Ableitung korrekter Beamwinkel. Aus diesem Grund wird diese kontinuierlich über einen Online-Wasserschallsonde mit einer hohen Genauigkeit

bestimmt. Im Rahmen dieser Untersuchung wird auf diese Problematik nicht näher eingegangen. Die Unsicherheiten der Online Wasserschallsonde fließen mit in die Unsicherheitsbetrachtung im Abschnitt 2.5 mit ein.

Wesentlich problematischer sind Änderungen des Wasserschalls innerhalb der Wassersäule bzw. vertikale Schichtungen des Wasserschalls innerhalb der Wassersäule. Prinzipiell werden in regelmäßigen Abständen die Wasserschallgeschwindigkeiten als Vertikalprofil durch den Wasserkörper erfasst und auf Grundlage dieser Werte Korrekturen für die Auswirkungen des Wasserschalls ermittelt. Das dafür zugrunde liegende Profil wird bis zur nächsten Wasserschallprofilmessung genutzt. Im Rahmen der Berücksichtigung des Wasserschallprofils werden die abgeleiteten Strecken sowie die Brechungswinkel korrigiert. Entspricht das angenommene bzw. zur Korrektur genutzte Wasserschallprofil nicht der tatsächlichen Realität vor Ort, werden falsche Korrekturen errechnet und die Messdaten falsch korrigiert (vgl. Abbildung 167). Insbesondere in den Randbereichen bzw. den äußeren Beams wirken sich diese Effekte stark aus. Dies ist damit zu begründen, dass die Signallaufzeiten / Strecken schräg einfallender Signal größer sind und das Signal flacher auf die einzelnen Schichten trifft, weshalb der Brechungswinkel stärker verändert wird. In Summe bedeutet dies, dass die Strecken und die tatsächlichen Brechungswinkel falsch bestimmt werden und somit die einzelnen Fächer nach oben oder nach unten „aufgebogen“ werden.

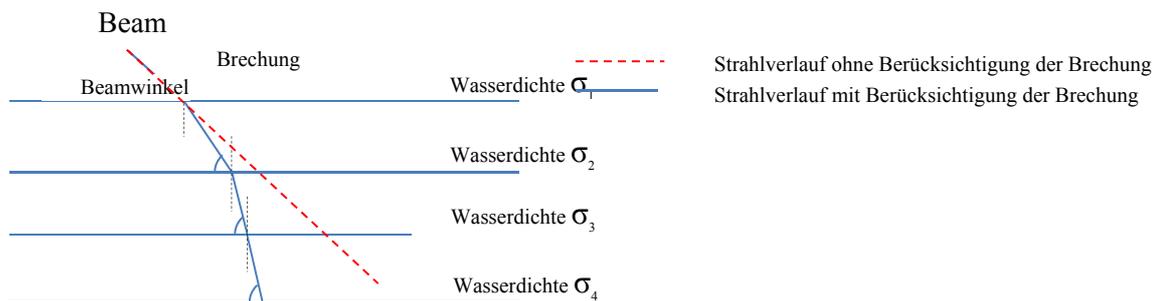


Abbildung 167: Signalbrechung im Wasser

9.2.2 Variationen der Wasserschallgeschwindigkeit

Die Wasserschallgeschwindigkeit ist ein limitierender Faktor der Genauigkeit im Peilwesen. Im Folgenden soll untersucht werden, mit welchen Wasserschallvariationen zu rechnen ist und welche Auswirkungen sich daraus auf die Unsicherheit der Beobachtungen ergeben.

9.2.2.1 Wasserschallgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet sind verschiedene Pegelstellen und Dauermessstellen für Temperatur und Salzgehalt vorhanden. Über die Pegelstellen sind Aussagen zur Tidephase möglich. Die Dauermessstellen zeichnen neben weiteren Parametern auch die Wassertemperatur sowie den Salzgehalt in zwei Tiefen auf. Die Tiefen variieren je nach Dauermessstelle. Im Fall der hier näher betrachteten Dauermessstelle D1 und D2 werden die Parameter in Tiefen von 1,9m und 9,3m bzw., 12,0m erfasst. Auf Basis dieser Beobachtungen lassen sich unter Anwendung der von der UNESCO empfohlenen Formel nach CHEN & MILLERO (1977) die Wasserschallgeschwindigkeiten ausrechnen. Die Lage der Pegel sowie die Lage der

Dauermessstellen relativ zu den Untersuchungsbereichen sind in Abbildung 168 dargestellt.

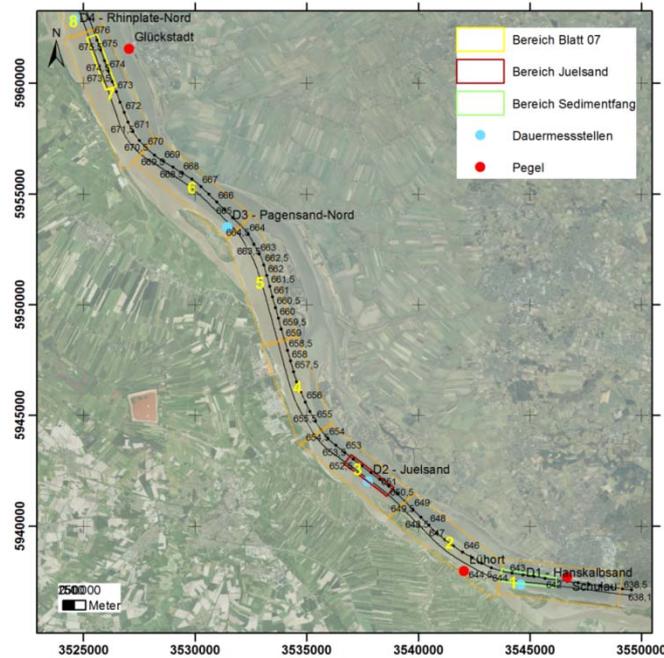


Abbildung 168: Lage der Pegel und Dauermessstellen sowie der Untersuchungsbereiche

Auf Grundlage der erfassten Daten lassen sich kontinuierlich Wasserschalldaten ableiten. Exemplarisch sind die an den vier Messstationen erfassten Wasserschallgeschwindigkeiten für das Jahr 2015 in Abbildung 169 dargestellt. Aus der Abbildung geht ein deutlicher Jahresgang hervor.

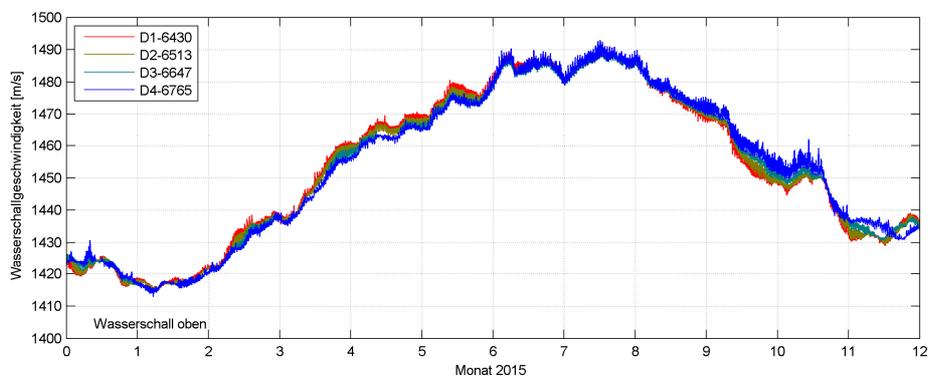


Abbildung 169: Oberflächennahe Wasserschallgeschwindigkeiten an den Dauermessstellen

Der Jahresgang wird in diesem Zusammenhang nicht näher betrachtet, da vor jeder Messung ein Wasserschallprofil bestimmt wird und somit der Zustand zum Zeitpunkt der Messung bekannt ist.

Exemplarisch sind in Abbildung 170 und Abbildung 171 die am 15.10.2015 an den Dauermessstellen D1 (nahe Sedimentfangs Wedel) sowie D2 Juelsand erfassten Wasserschallgeschwindigkeiten dargestellt. Aus der Abbildung geht eine deutliche Variabilität der Wasserschallgeschwindigkeit im Rhythmus der Tide hervor. An dem dargestellten Tag schwankte die Wasserschallgeschwindigkeit im Rhythmus der Tide um etwa 2m/s.

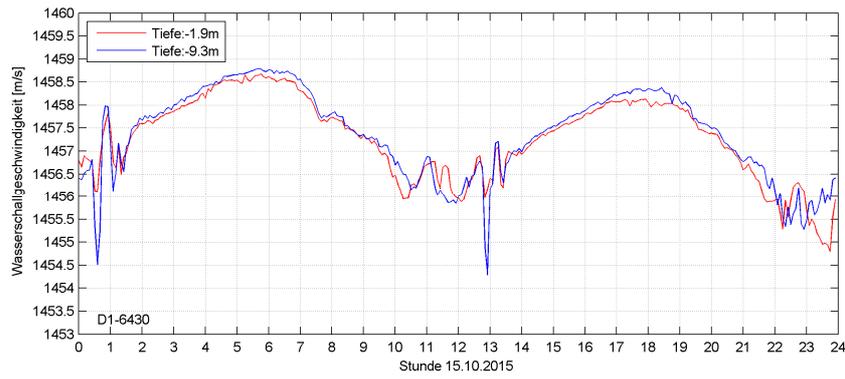
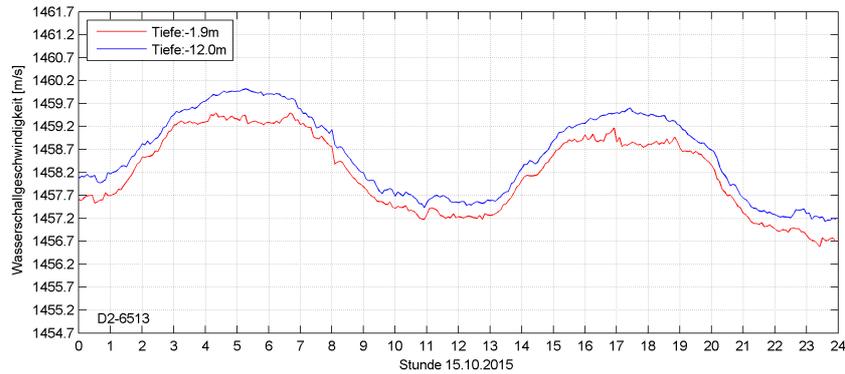


Abbildung 170: Wasserschallgeschwindigkeit am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle 1



**Abbildung 171: Wasserschallgeschwindigkeit am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle 2
Juelsand**

Werden die stündlichen Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeiten betrachtet, ergeben sich für die beiden Dauermessstellen D1 und D2 die in Abbildung 172 und Abbildung 173 dargestellten Änderungswerte der Wasserschallgeschwindigkeit.

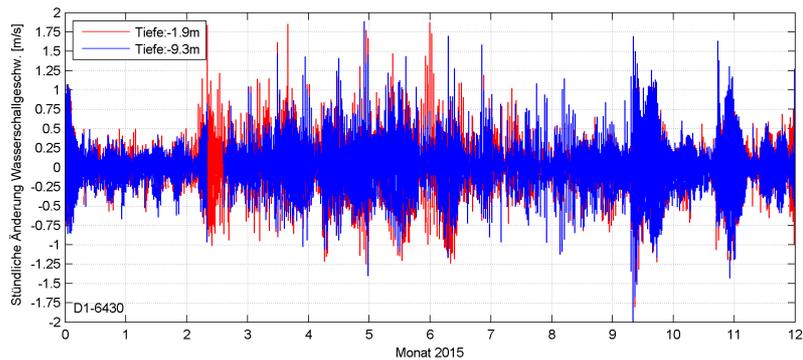


Abbildung 172: Stündliche Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit im Jahr 2015 (Messstelle D1)

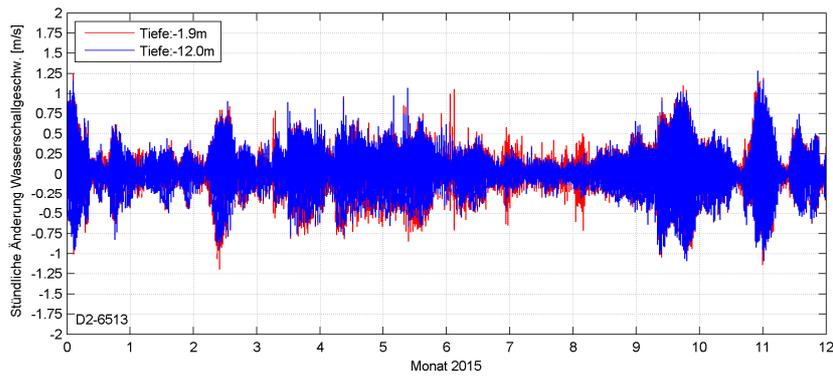


Abbildung 173: Stündliche Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit im Jahr 2015 (Messstelle D2)

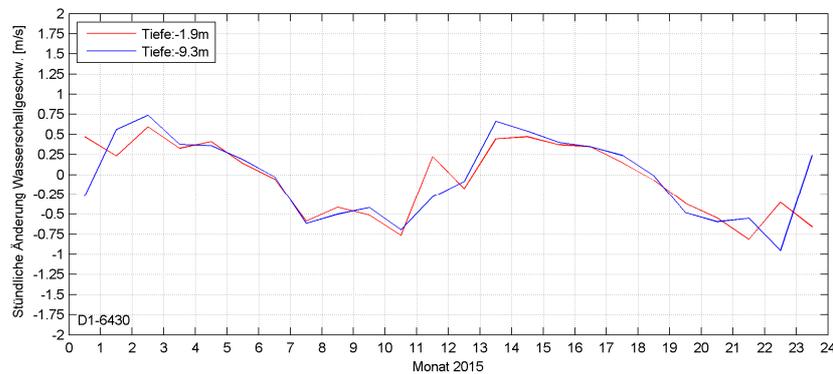


Abbildung 174: Stündliche Wasserschalländerungen am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle D1

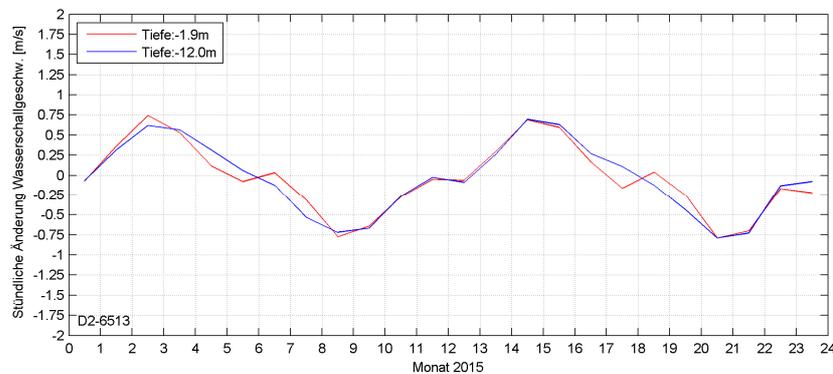


Abbildung 175: Stündliche Wasserschalländerungen am 15.10.2015 im Bereich der Dauermessstelle D2

Die stündlichen Änderungen ergeben sich dabei aus den stündlich gemittelten Wasserschallgeschwindigkeiten, wobei die aufeinander folgenden Werte von einander abgezogen wurden. Eine Vergrößerung erfolgt in Abbildung 174 und Abbildung 175. In diesen beiden Abbildungen sind die stündlichen Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit am 15.10.2015 dargestellt. Aus den Darstellungen geht hervor, dass die stündlichen Änderungsraten im Allgemeinen bei etwa $\leq 0,75\text{m/s/h}$ liegen. Vereinzelt wurden aber auch wesentlich größere Änderungsraten bis zu 2m/s/h erfasst.

Neben den absoluten Betrachtungen sind auch weiterführende Aussagen über die Wasserschichtung nötig. Durch die Wasserschichtungen entstehen viel Größere Unsicherheiten. Dies das zweite große Problem im Bereich der Tideelbe neben den Weichsedimenten.

Die Messstellen liefern in zwei Tiefen die Wasserschallgeschwindigkeit, wobei für die Messstellen D1 und D2 die Wasserschalldifferenzen in Abbildung 176 und Abbildung 177 dargestellt sind. Die Messstelle D1 liegt im Bereich des Blatt 1 und weist somit einen größeren Einfluss von Salz und Süßwasser auf. In der Messstelle D2 treten wesentlich geringere Variationen auf.

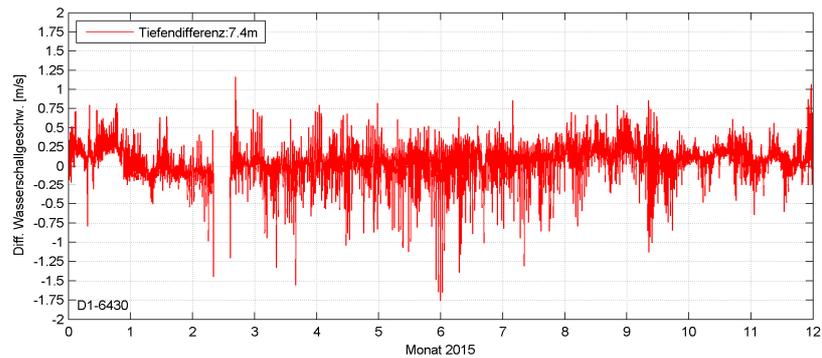


Abbildung 176: Stündliche Differenzen der Wasserschalldgeschw. in unterschiedlichen Tiefen (D1)

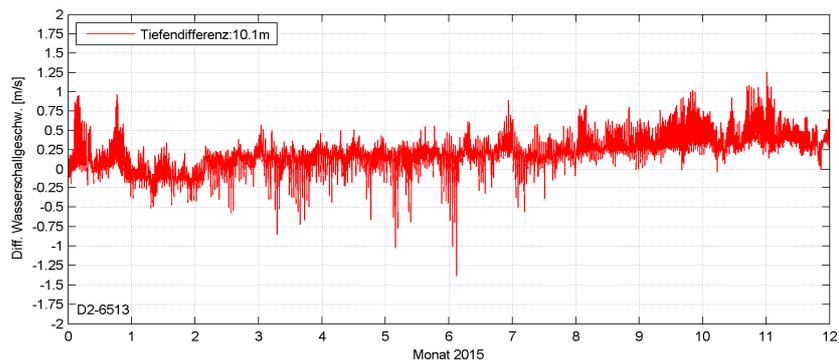


Abbildung 177: Stündliche Differenzen der Wasserschalldgeschw. in unterschiedlichen Tiefen (D2)

9.2.2.2 Simulierte Auswirkung von Wasserschalldänderungen auf Messergebnisse
Bei einer Betrachtung der Auswirkungen der Wasserschalldgeschwindigkeit auf die Messwerte werden zunächst homogene Änderungen innerhalb der Wassersäule betrachtet. Zur Verdeutlichung der Auswirkungen dienen Tabelle 13 und Tabelle 14. In Tabelle 13 sind fünf Beamwinkel und entsprechende Signallaufzeiten (Hin und Rückmessung) dargestellt. Werden die Signallaufzeiten mit unterschiedlichen Wasserschalldgeschwindigkeiten multipliziert, ergeben sich fiktive Streckenmessungen. In

Tabelle 14 sind die Streckenmessungen in einen Querabweichungsanteil und einen Wassertiefenanteil zerlegt. Die Tiefe beträgt bei einem Beamwinkel von 0° (Nadir des Schwingers) und einer Wasserschalldgeschwindigkeit von 1449m/s genau 18m. Somit verändert sich die Tiefe bei einer Wasserschalldänderung von 5m/s um 0,06m. Mit zunehmenden Beamwinkeln vergrößern sich die Strecken und damit verbunden auch der Einfluss der Wasserschalldgeschwindigkeit. Im äußeren Bereich bzw. bei großen Beamwinkeln ist der Einfluss wesentlich größer bzw. die Strecke ändert sich um 0,24m.

Werden die einzelnen Strecken in Querabweichung und Wassertiefe zerlegt (Tabelle 14), zeigt sich, dass sich die Wassertiefen gleichmäßig über den Fächer verteilt ändern bzw. unabhängig von den Beamwinkeln sind. Die Änderung der Querabweichung steigt im Gegensatz dazu nicht linear an. Tritt im Nadir (0°) keine Änderung auf, beträgt diese bei einem Beamwinkel von 75° schon 0,23m.

Tabelle 13: Änderungen der Range aufgrund von Wasserschallgeschwindigkeiten

| Wasserschallgeschwindigkeit [m/s] | Beamwinkel [°] | | | | |
|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 75 |
| | Signallaufzeit (Hin+Rückweg bei 1449m/s) [ms] | | | | |
| | 24,84 | 25,72 | 28,69 | 35,14 | 95,99 |
| | Range [m] | | | | |
| 1449 | 18,00 | 18,63 | 20,78 | 25,46 | 69,55 |
| 1450 | 18,01 | 18,65 | 20,80 | 25,47 | 69,59 |
| 1451 | 18,02 | 18,66 | 20,81 | 25,49 | 69,64 |
| 1452 | 18,04 | 18,67 | 20,83 | 25,51 | 69,69 |
| 1453 | 18,05 | 18,69 | 20,84 | 25,53 | 69,74 |
| 1454 | 18,06 | 18,70 | 20,86 | 25,54 | 69,79 |

Tabelle 14: Änderungen der Querabweichung und Wassertiefe aufgrund von Wasserschallgeschwindigkeiten

| V [m/s] | Beamwinkel [°] | | | | | | | | | |
|---------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 75 | | | | | |
| | Signallaufzeit (Hin+Rückweg bei 1449m/s) [ms] | | | | | | | | | |
| | 24,84 | 25,72 | 28,69 | 35,14 | 95,99 | | | | | |
| | Querabweichung / Wassertiefe | | | | | | | | | |
| 1449 | 0,00 | 18,00 | 4,82 | 18,00 | 10,39 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 67,18 | 18,00 |
| 1450 | 0,00 | 18,01 | 4,83 | 18,01 | 10,40 | 18,01 | 18,01 | 18,01 | 67,22 | 18,01 |
| 1451 | 0,00 | 18,02 | 4,83 | 18,02 | 10,41 | 18,02 | 18,02 | 18,02 | 67,27 | 18,02 |
| 1452 | 0,00 | 18,04 | 4,83 | 18,04 | 10,41 | 18,04 | 18,04 | 18,04 | 67,32 | 18,04 |
| 1453 | 0,00 | 18,05 | 4,84 | 18,05 | 10,42 | 18,05 | 18,05 | 18,05 | 67,36 | 18,05 |
| 1454 | 0,00 | 18,06 | 4,84 | 18,06 | 10,43 | 18,06 | 18,06 | 18,06 | 67,41 | 18,06 |

Die in Tabelle 13 und Tabelle 14 gemachten Aussagen setzten einen homogenen Wasserkörper bzw. einen Wasserkörper ohne Schichtung voraus. Da es aufgrund der nicht vorhandenen Dichtesprünge keine geometrische Brechung gibt, wirken sich Wasserschalländerungen nur auf Streckenmessungen als solche aus und nicht auf den geometrischen Verlauf des Signals.

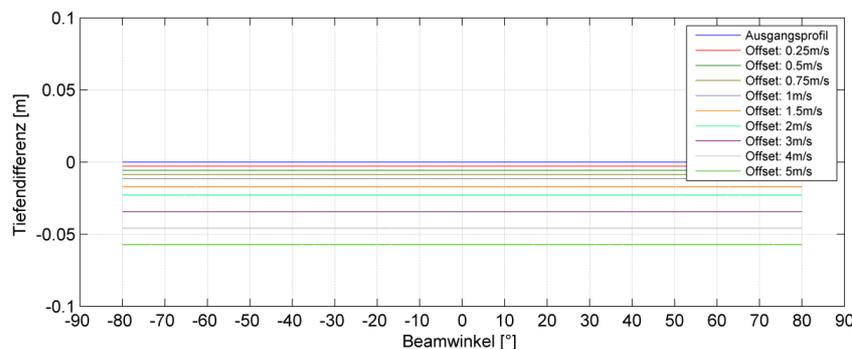


Abbildung 178: Tiefendifferenzen aufgrund homogener Wasserschalländerungen

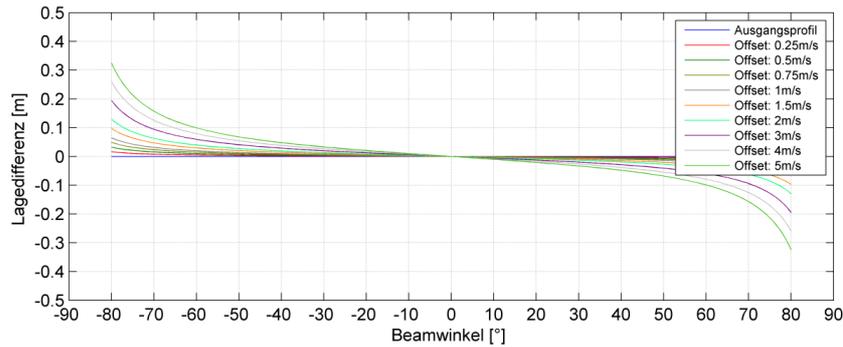


Abbildung 179: Lagedifferenzen aufgrund homogener Wasserschalländerungen

In Abbildung 178 und Abbildung 179 sind die resultierenden Differenzen in Abhängigkeit vom Beamwinkel grafisch dargestellt. Grundlage hierbei sind homogene Änderungen der Wasserschallgeschwindigkeit innerhalb der Wassersäule ohne Schichtungen.

Für eine Betrachtung der Auswirkung von Schichtungsänderungen werden im Folgenden Modellbeispiel die Wasserschallgeschwindigkeiten als Funktion der Wassertiefe geändert. In Abbildung 180 sind die im Modell angenommenen Wasserschallgeschwindigkeiten als Funktion der Wassertiefe dargestellt.

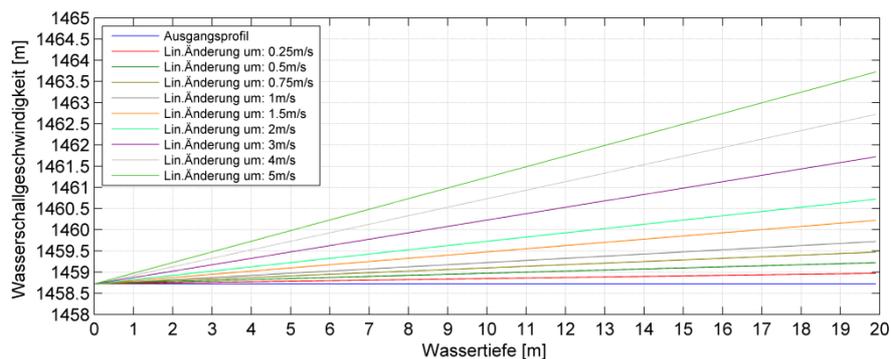


Abbildung 180: Fiktive Wasserschallgeschwindigkeiten (lin. Änderungen)

Die resultierenden Abweichungen in Tiefe und Lage sind in Abbildung 181 und Abbildung 182 dargestellt. Aus den Abbildungen geht hervor, dass die Auswirkungen mit zunehmenden Beamwinkel extrem ansteigen. Bei den hier näher betrachteten Änderungen von max. 2m/s ergeben sich bei einem Beamwinkel von 75° Abweichungen von etwa 0,1m in Lage und Tiefe.

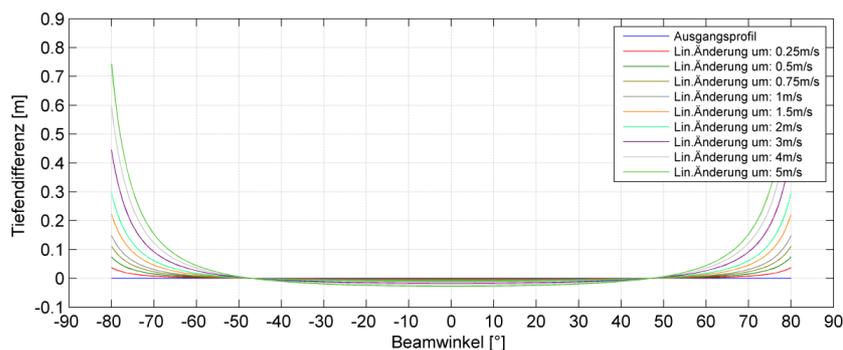


Abbildung 181: Aufgrund der Wasserschalländerungen (Abbildung 180) auftretende Tiefendifferenzen

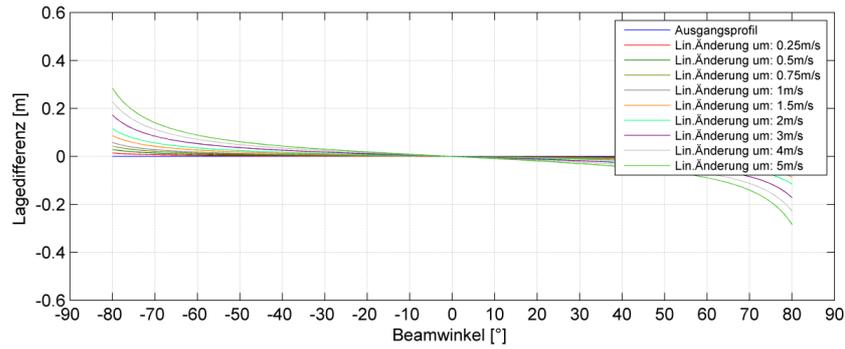


Abbildung 182: Aufgrund der Wasserschalländerungen (Abbildung 180) auftretende Lagedifferenzen

9.2.2.3 Reale Auswirkung von Wasserschalländerungen am Beispiel Juelsand

In dem folgenden praktischen Beispiel sollen die Auswirkungen verdeutlicht werden. Am 15.10.2015 wurden im Bereich Juelsand an unterschiedlichen Stellen und zu unterschiedlichen Zeiten Wasserschallprofile erfasst. Die Positionen der Wasserschallprofile sind in Abbildung 183 und die eigentlichen Wasserschallmesswerte in Abbildung 184 dargestellt.

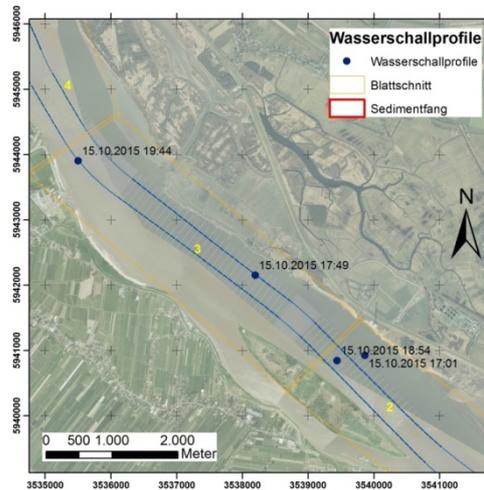


Abbildung 183: Lage der Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 03, Juelsand)

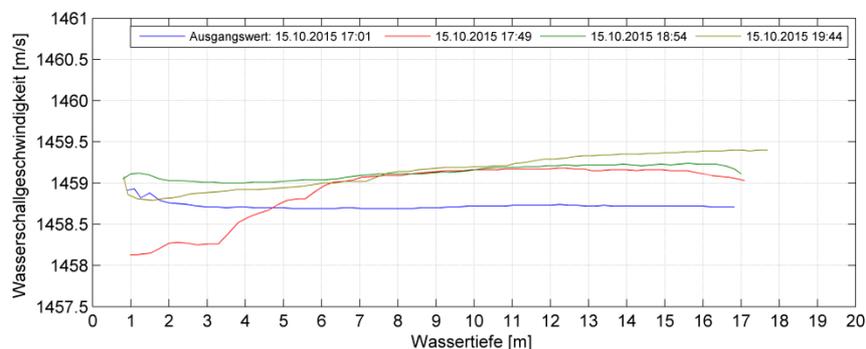


Abbildung 184: Wasserschallprofile am 15.10.2015 (Blatt 3, Juelsand)

Aus den Abbildungen geht hervor, dass zwischen den einzelnen Wasserschallprofilen erhebliche Abweichungen auftreten. Die grüne und goldene Linie liegen relativ dicht zusammen bzw. die Profile sind relativ ähnlich. Zwischen den Profilen traten Änderungen in der Größenordnung von

etwa 0,3m/ auf. Die blaue Linie hat einen ähnlichen Verlauf, allerdings mit größeren Abständen. In allen drei Fällen ändert sich die Wasserschallgeschwindigkeit mit der Tiefe nur relativ wenig. Davon abweichend weist die rote Linie ein erheblich anderes Profil auf. Bei diesem Profil wird sehr schön die Schichtung der Wasserschallgeschwindigkeit deutlich. Die Wasserschallgeschwindigkeit in den ersten drei Metern weicht um etwa 1m/s von der Wasserschallgeschwindigkeit in tiefen Schichten ab.

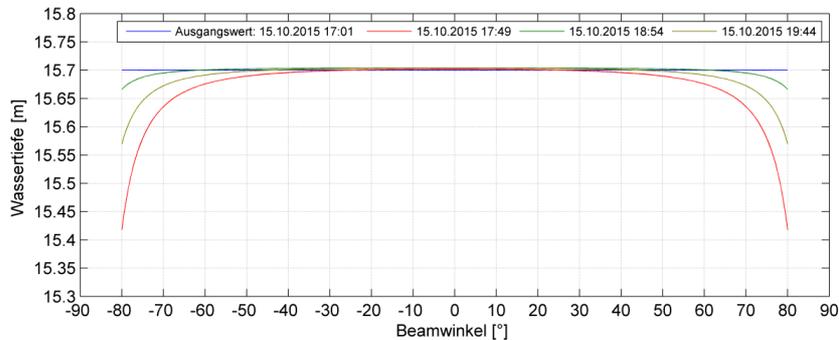


Abbildung 185: Abweichungen aufgrund variierender Wasserschallgeschwindigkeiten

In Abbildung 185 sind die Auswirkungen dargestellt. Die blau dargestellte Linie beschreibt das Gewässerbett, welches unter Nutzung des am 15.10.2015 um 17:01 erfassten Wasserschallprofils erfasst wurde. Werden auf die gleichen Ausgangsdaten andere Wasserschallprofile angewendet, ergeben sich die rote (48min später), grüne (113min später) und goldene (163min) Linie.

Bei einer Betrachtung der Differenzen (Abbildung 186) wird deutlich, dass es im Bereich der äußeren Beamwinkel zu Abweichungen in der Größenordnung mehrerer Dezimeter kommen kann. Bei den üblicherweise eingesetzten Begrenzungen der Öffnungswinkel auf 73° können Abweichungen in der Größenordnung von $\sim \pm 10\text{cm}$ auftreten (rote Linie).

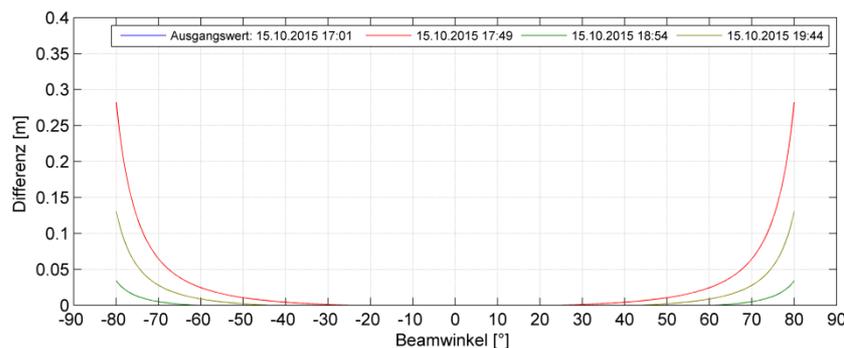


Abbildung 186: Tiefendifferenzen bei variierenden Wasserschallprofilen

Auf Grundlage realer Daten im Messgebiet ergeben sich die Abbildung 187 und Abbildung 188. Dabei wurde der Messstreifen 0001-Ma249-0001 unter Nutzung unterschiedlicher Wasserschallprofile mit QINCY prozessiert und exemplarisch die Wassertiefen des Pings 417 in Abbildung 187 sowie die Differenzen zur Ausgangsmessung in Abbildung 188 dargestellt. Aus den Abbildungen ergibt sich gegenüber den fiktiven Werten (Abbildungen 41 und 42) ein ähnliches Bild.

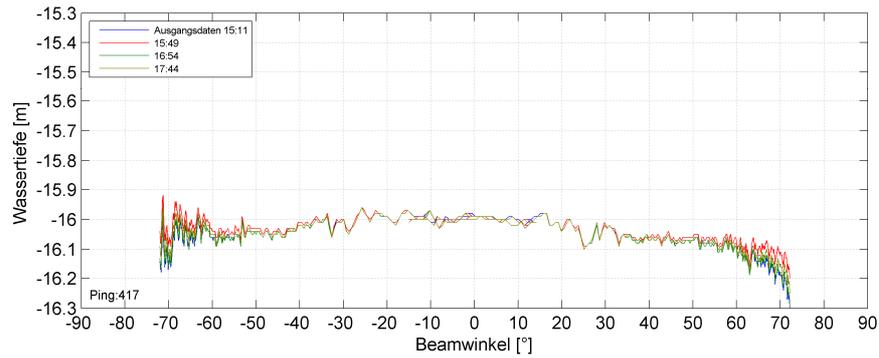


Abbildung 187: Resultierende Wassertiefen (Streifen 0001-Ma249-0001, Ping Nr.417)

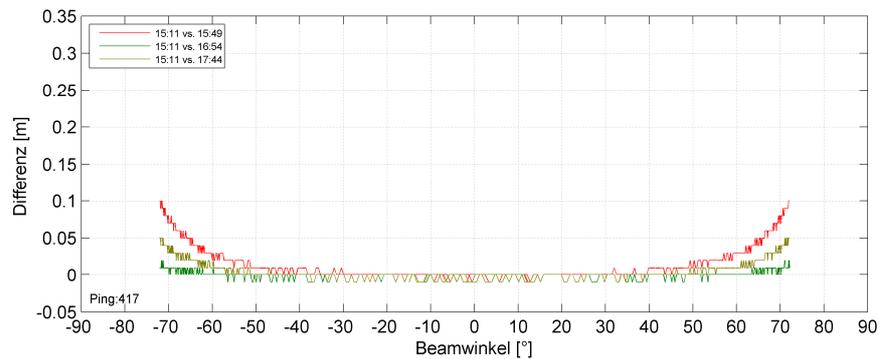


Abbildung 188: Resultierende Differenzen der Wassertiefen (Streifen 0001-Ma249-0001, Ping Nr.417)

9.2.2.4 Reale Auswirkung von Wasserschalländerungen am Beispiel Blatt 07

In dem Beispiel im Bereich Juelsand liegen die Wasserschallprofile relativ dicht zusammen. Als weiteres Beispiel sind in Abbildung 189 Wasserschallprofilmessungen vom 13.04.2016 im Bereich des Blattes 07 dargestellt.

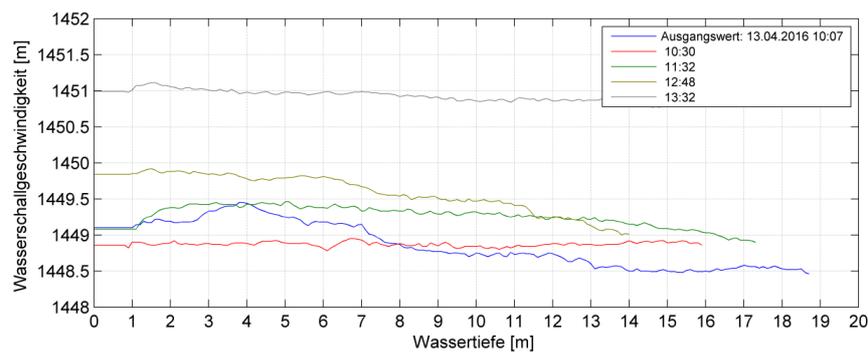


Abbildung 189: Wasserschallprofile am 13.04.2016 im Bereich Blatt 07

Aus der Abbildung geht hervor, dass der Wasserkörper relativ homogen ist bzw. im Gegensatz zu den in Abbildung 184 dargestellten Wasserschallprofilen geringere Schichtungen auftreten. Im Fall vom 13.04.2016 sind die Wasserschallprofile im Wesentlichen „parallel“ verschoben. Zur Verdeutlichung der Auswertung werden analog der Auswertung in Juelsand fiktive Fächer berechnet und die Auswirkungen der unterschiedlichen Wasserschallprofile auf die Tiefe und Lage näher betrachtet.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 190 dargestellt. Die dort dargestellten Differenzen beschreiben die Abweichungen der unter Nutzung verschiedener Wasserschallprofile entstandenen Wassertiefen gegenüber dem Ausgangsfächer. Im hier dargestellten Fall wurde eine Wassertiefe von 18,05m zugrunde gelegt.

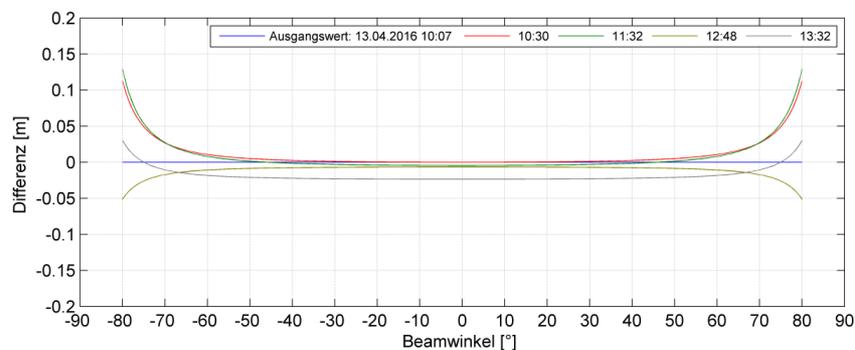


Abbildung 190: Darstellung der resultierenden Differenzen vom 13.04.2016

Aus den Abbildungen wird deutlich, dass die absoluten Wasserschallbeträge relativ geringe Auswirkungen haben. Entscheidend sind Wasserschallsprünge bzw. Schichtungen im Wasser. Diese verursachen Brechungseffekte bzw. Signalbeugungseffekte an den Sprungschichten, die zu erheblichen Abweichungen in den äußeren Beams führen können (vgl. Abbildung 186, rote Linie).

Anstelle der simulierten Daten für einen Fächer können auch reale Beobachtungen genutzt werden. Analog der Auswertungen im Bereich Juelsand wurden die Beobachtungsdaten eines Messstreifens (0002 – Ma090 - 0002) mit unterschiedlichen Wasserschallprofilen im QINCY Replay prozessiert.

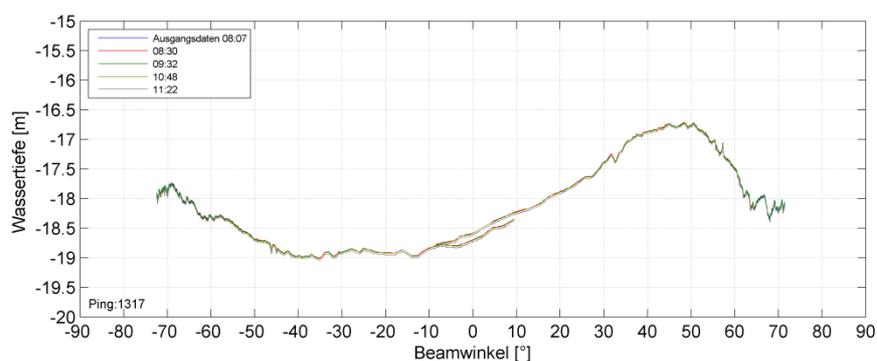


Abbildung 191: Resultierende Wassertiefen im Blatt 07 (Streifen 0002-Ma090-0002 Ping Nr.1317)

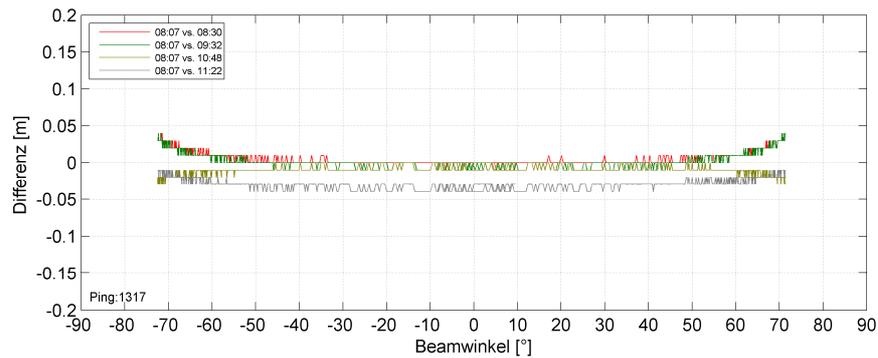


Abbildung 192: Resultierende Wassertiefen im Blatt 07 (Streifen 0002-Ma090-0002 Ping Nr.1317)

In Abbildung 191 sind exemplarisch für einen Ping (hier Nr. 1317) die resultierenden Wassertiefen dargestellt. Neben den absoluten Wassertiefen sind in Abbildung 192 die Differenzen zwischen der korrekten Messung (Wasserschallprofil von 08:07) und den resultierenden Wassertiefen unter Anwendung weitere Wasserschallprofile dargestellt. Die Abbildung deckt sich mit den simulierten Ergebnissen.

9.2.3 Fazit

Der Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit stellt einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluss dar. Aus diesem Grund werden zeitnah Wasserschallprofile erfasst und diese bei der Berechnung der Gewässerbodenpunkte berücksichtigt.

Bei Änderungen der Wasserschallprofile sind im Wesentlichen zwei Fälle zu unterscheiden. Ändert sich der Verlauf der Wasserschallgeschwindigkeit entlang des Wasserschallprofils nicht bzw. treten zwischen unterschiedlichen Profilen nur „Offsets“ auf, hat dies einen relativ geringen Einfluss. Die Auswirkungen auf die Tiefe sind nahezu unabhängig vom Beamwinkel. Der Lagefehler steigt mit zunehmenden Beamwinkel nicht linear an.

Im zweiten Fall ändert sich die Wasserschallgeschwindigkeit sowohl in der Schichtung als auch im absoluten Betrag. Die unterschiedlichen Schichtungen bewirken auch eine Signalbrechung, was erheblich größere Abweichungen in Lage und Höhe zur Folge hat.

Mit zunehmender Entfernung von der Küste ist mit zunehmenden Schichtungen zu rechnen. Praktisch bedeutet dies, dass in Blatt 01 größere Variationen innerhalb der Wassersäule auftreten, als dies in Blatt 07 der Fall ist. An den Dauermessstellen werden in zwei Tiefen Wasserschallgeschwindigkeiten kontinuierlich erfasst. In dem hier gezeigten Beispiel liegen die Mehrzahl aller Differenzen zwischen oberer und untere Wasserschallgeschwindigkeit bei $<1,0\text{m/s}$ (D1) bzw. $0,75\text{m/s}$ (D2). Bei einer homogenen Wassersäule bzw. bei gleichförmigen Änderungen sind die Auswirkungen mit wenigen Zentimetern gering. Treten allerdings Schichtungen im Wasser auf bzw. ändert sich die Wasserschallgeschwindigkeit nicht gleichförmig sind wesentlich größere Unsicherheiten in der Größenordnung von bis zu 1-2dm zu erwarten. Insbesondere in den ersten Blättern ist allerdings aufgrund der zu erwartenden inhomogeneren Variationen innerhalb der Wassersäule mit erheblichen Auswirkungen der Wasserschallgeschwindigkeit zu rechnen. Dementsprechend sind in diesen Bereichen mehr Wasserschallprofilmessungen nötig. Die Frequenz ist dabei abhängig von der Tidephase. In den Zeiten von auflaufenden bzw. ablaufenden

Wassers sollte ein Intervall von 1h nicht überschritten werden. Während der Tidescheitel sind größere Intervalle in diesen Bereichen möglich. Je näher man der Küste kommt, umso geringer Variationen innerhalb des Profils.

9.3 Anhang C - Detaillierte Beschreibung der Peilstreifen

Tabelle 15: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 1. Messung

| 2015_07_BL03_A (28.07.2015) | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0030 - Wedel - 0001.mbes | 12:29 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0031 - Wedel - 0001.mbes | 12:33 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0032 - Wedel - 0001.mbes | 12:37 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0034 - Wedel - 0001.mbes | 12:45 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0035 - Wedel - 0001.mbes | 12:48 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0041 - Wedel - 0001.mbes | 13:22 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0043 - Wedel - 0001.mbes | 13:33 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | THW | |
| 0044 - Wedel - 0001.mbes | 13:46 | | | 05:54 | 11:49 | 18:42 | absteigend(3) | |

Tabelle 16: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 2. Messung

| 2015_07_BL03_B (29.07.2015) | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0150 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 07:43 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0151 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 07:50 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0152 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 08:00 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0153 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 08:09 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0154 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 08:17 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0155 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 08:27 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | TNW | |
| 0156 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 08:37 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | ansteigend(1) | |
| 0157 - Wedel - 0001_SP330.mbes | 09:01 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | ansteigend(1) | |

Tabelle 17: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 03 Juelsand - 3. Messung

| 2015_07_BL03_C (29.07.2015) | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0220 - Wedel - 0001.mbes | 12:10 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | ansteigend(3) | |
| 0221 - Wedel - 0001.mbes | 12:19 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | THW | |
| 0222 - Wedel - 0001.mbes | 12:29 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | THW | |
| 0223 - Wedel - 0001.mbes | 12:39 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | THW | |
| 0225 - Wedel - 0001.mbes | 12:53 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | THW | |
| 0226 - Wedel - 0001.mbes | 13:00 | | | 07:15 | 13:10 | 19:38 | THW | |

Tabelle 18: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 01 Sedimentfang Wedel - 1. Messung

| 2015_07_BL01_A (29.07.2015) | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|-------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0260 - Wedel - 0001.mbes | 14:11 | | | 07:26 | 13:16 | 19:46 | THW | |
| 0261 - Wedel - 0001.mbes | 14:22 | | | 07:26 | 13:16 | 19:46 | THW | |
| 0262 - Wedel - 0001.mbes | 14:32 | | | 07:26 | 13:16 | 19:46 | THW | |
| 0263 - Wedel - 0001.mbes | 14:40 | | | 07:26 | 13:16 | 19:46 | THW | |

Tabelle 19: Messstreifen im Juli 2015 - Blatt 01 Sedimentfang Wedel - 2. Messung

| 2015_07_BL01_B (30.07.2015) | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0350 - Wedel - 0001.mbes | 08:15 | | | 19:46 | 01:34 | 08:38 | TNW | |
| 0351 - Wedel - 0001.mbes | 08:24 | | | 19:46 | 01:34 | 08:38 | TNW | |
| 0352 - Wedel - 0001.mbes | 08:29 | | | 19:46 | 01:34 | 08:38 | TNW | |
| 0353 - Wedel - 0001.mbes | 08:36 | | | 19:46 | 01:34 | 08:38 | TNW | |
| 0354 - Wedel - 0001.mbes | 08:46 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0355 - Wedel - 0001.mbes | 08:54 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0356 - Wedel - 0001.mbes | 09:03 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0357 - Wedel - 0001.mbes | 09:14 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0358 - Wedel - 0001.mbes | 09:37 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0359 - Wedel - 0001.mbes | 09:46 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | TNW | |
| 0360 - Wedel - 0001.mbes | 09:56 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0361 - Wedel - 0001.mbes | 10:04 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0362 - Wedel - 0001.mbes | 10:14 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0363 - Wedel - 0001.mbes | 10:30 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0364 - Wedel - 0001.mbes | 10:36 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0365 - Wedel - 0001.mbes | 10:43 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |
| 0366 - Wedel - 0001.mbes | 10:53 | | | 08:38 | 13:49 | 21:19 | ansteigend(1) | |

Tabelle 20: Messstreifen im August 2015 - Blatt 03 Juelsand

| 2015_08_BL03 (07.08.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Hochw. | Tide Ende | Phase | SVP [min] |
| 0001 - Ma 189 - 0001.mbes | 05:58 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(2) | |
| 0002 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:04 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0003 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:15 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0004 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:25 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0005 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:39 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0006 - Ma 189 - 0001.mbes | 07:01 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0007 - Ma 189 - 0001.mbes | 07:15 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | ansteigend(3) | |
| 0008 - Ma 189 - 0001.mbes | 07:25 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0012 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:02 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0013 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:11 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0014 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:27 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0015 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:35 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0016 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:37 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0017 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:40 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0018 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:50 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0019 - Ma 189 - 0001.mbes | 08:59 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0020 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:07 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0021 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:17 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0022 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:19 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0023 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:22 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0024 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:28 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0025 - Ma 189 - 0001.mbes | 09:34 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | THW | |
| 0032 - Ma 189 - 0001.mbes | 10:11 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | absteigend(3) | |
| 0033 - Ma 189 - 0001.mbes | 10:14 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | absteigend(3) | |
| 0034 - Ma 189 - 0001.mbes | 10:24 | | | 02:22 | 07:52 | 14:42 | absteigend(3) | |
| 2015_08_BL03 (10.08.2015) | | | | | | | | |
| 0035 - Ma 189 - 0001.mbes | 05:43 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW | |
| 0036 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:00 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW | |
| 0037 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:07 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|--|--|-------|-------|-------|---------------|--|
| 0038 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:18 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW | |
| 0039 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:26 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | TNW | |
| 0040 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:36 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | ansteigend(1) | |
| 0042 - Ma 189 - 0001.mbes | 06:50 | | | 05:15 | 10:58 | 18:04 | ansteigend(1) | |

Tabelle 21: Messstreifen im August 2015 - Blatt 07

| 2015_08_BL07 (10.08.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0001 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:06 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0002 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:14 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0003 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:21 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0004 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:28 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0005 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:36 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0006 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:44 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0007 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:52 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0008 - Ma 193 - 0001.mbes | 10:59 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0009 - Ma 193 - 0001.mbes | 11:08 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0010 - Ma 193 - 0001.mbes | 11:11 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0011 - Ma 193 - 0001.mbes | 11:19 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 0012 - Ma 193 - 0001.mbes | 11:24 | | | 04:14 | 10:14 | 17:03 | THW | |
| 2015_08_BL07 (11.08.2015) | | | | | | | | |
| 0014 - Ma 193 - 0001.mbes | 06:43 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | TNW | |
| 0015 - Ma 193 - 0001.mbes | 06:50 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | TNW | |
| 0016 - Ma 193 - 0001.mbes | 06:58 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0017 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:05 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0018 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:13 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0019 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:21 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0020 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:29 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0021 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:36 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0022 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:45 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |
| 0024 - Ma 193 - 0001.mbes | 07:59 | | | 05:38 | 11:28 | 18:29 | ansteigend(1) | |

Tabelle 22: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 01 Wedel

| 2015_10_BL01 (14.10.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0001 - Ma247 - 0001.mbes | 12:57 | 12:59 | 2 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(1) | 6 |
| 0002 - Ma247 - 0001.mbes | 13:01 | 13:05 | 3 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(1) | 12 |
| 0003 - Ma247 - 0001.mbes | 13:07 | 13:11 | 4 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 18 |
| 0004 - Ma247 - 0001.mbes | 13:12 | 13:19 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 27 |
| 0004 - Ma247 - 0002.mbes | 13:19 | 13:21 | 2 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 28 |
| 0005 - Ma247 - 0001.mbes | 13:23 | 13:30 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 37 |
| 0005 - Ma247 - 0002.mbes | 13:30 | 13:30 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 38 |
| 0006 - Ma247 - 0001.mbes | 13:31 | 13:39 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 46 |
| 0006 - Ma247 - 0002.mbes | 13:38 | 13:40 | 2 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 47 |
| 0007 - Ma247 - 0001.mbes | 13:41 | 13:48 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 56 |
| 0007 - Ma247 - 0002.mbes | 13:48 | 13:48 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 56 |
| 0008 - Ma247 - 0001.mbes | 13:49 | 13:56 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 64 |
| 0008 - Ma247 - 0002.mbes | 13:56 | 13:59 | 4 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 67 |
| 0009 - Ma247 - 0001.mbes | 14:10 | 14:17 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 11 |
| 0009 - Ma247 - 0002.mbes | 14:16 | 14:18 | 2 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(2) | 12 |
| 0010 - Ma247 - 0001.mbes | 14:19 | 14:26 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 20 |
| 0010 - Ma247 - 0002.mbes | 14:25 | 14:30 | 5 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 24 |
| 0011 - Ma247 - 0001.mbes | 14:31 | 14:38 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 32 |
| 0012 - Ma247 - 0001.mbes | 14:45 | 14:52 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 46 |

| 2015_10_BL01 (15.10.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---------------|----|
| 0012 - Ma247 - 0002.mbes | 14:52 | 14:54 | 3 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 48 |
| 0013 - Ma247 - 0001.mbes | 14:55 | 15:02 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 56 |
| 0013 - Ma247 - 0002.mbes | 15:02 | 15:02 | 0 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 56 |
| 0014 - Ma247 - 0001.mbes | 15:11 | 15:18 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 10 |
| 0014 - Ma247 - 0002.mbes | 15:17 | 15:18 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 10 |
| 0015 - Ma247 - 0001.mbes | 15:24 | 15:31 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | ansteigend(3) | 23 |
| 0016 - Ma247 - 0001.mbes | 15:32 | 15:39 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 31 |
| 0017 - Ma247 - 0001.mbes | 15:40 | 15:47 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 39 |
| 0017 - Ma247 - 0002.mbes | 15:46 | 15:47 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 40 |
| 0018 - Ma247 - 0001.mbes | 15:48 | 15:56 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 48 |
| 0018 - Ma247 - 0002.mbes | 15:55 | 15:56 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 48 |
| 0019 - Ma247 - 0001.mbes | 15:58 | 15:59 | 1 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 51 |
| 0020 - Ma247 - 0001.mbes | 15:58 | 16:05 | 7 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 57 |
| 0021 - Ma247 - 0001.mbes | 16:06 | 16:11 | 5 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 63 |
| 0022 - Ma247 - 0001.mbes | 16:12 | 16:15 | 3 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 67 |
| 0023 - Ma247 - 0001.mbes | 16:18 | 16:23 | 5 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 75 |
| 0024 - Ma247 - 0001.mbes | 16:24 | 16:28 | 4 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 80 |
| 0025 - Ma247 - 0001.mbes | 16:29 | 16:31 | 3 | 10:43 | 16:04 | 22:57 | THW | 84 |
| 2015_10_BL01 (15.10.2015) | | | | | | | | |
| 0026 - Ma247 - 0001.mbes | 05:45 | 05:52 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | THW | 12 |
| 0028 - Ma247 - 0001.mbes | 06:09 | 06:13 | 4 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | THW | 32 |
| 0029 - Ma247 - 0001.mbes | 06:18 | 06:25 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(3) | 45 |
| 0032 - Ma247 - 0001.mbes | 06:53 | 06:57 | 4 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(3) | 18 |
| 0033 - Ma247 - 0001.mbes | 06:58 | 07:06 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(3) | 26 |
| 0035 - Ma247 - 0001.mbes | 07:23 | 07:24 | 2 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(3) | 45 |
| 0036 - Ma247 - 0001.mbes | 07:25 | 07:26 | 1 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(3) | 47 |
| 0037 - Ma247 - 0001.mbes | 07:29 | 07:35 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(2) | 56 |
| 0040 - Ma247 - 0001.mbes | 08:39 | 08:45 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(1) | 11 |
| 0044 - Ma247 - 0001.mbes | 09:29 | 09:36 | 7 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(1) | 14 |
| 0044 - Ma247 - 0002.mbes | 09:35 | 09:38 | 3 | 22:57 | 04:28 | 11:12 | absteigend(1) | 16 |

Tabelle 23: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 03 Juelsand

| 2015_10_BL03 (15.10.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0002 - Ma249 - 0001.mbes | 15:23 | 15:30 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | ansteigend(3) | 29 |
| 0002 - Ma249 - 0002.mbes | 15:29 | 15:33 | 4 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | ansteigend(3) | 32 |
| 0003 - Ma249 - 0001.mbes | 15:52 | 15:59 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 10 |
| 0004 - Ma249 - 0001.mbes | 16:03 | 16:11 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 21 |
| 0004 - Ma249 - 0002.mbes | 16:10 | 16:17 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 28 |
| 0005 - Ma249 - 0001.mbes | 16:18 | 16:25 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 36 |
| 0005 - Ma249 - 0002.mbes | 16:25 | 16:32 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 43 |
| 0006 - Ma249 - 0001.mbes | 16:34 | 16:42 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 52 |
| 0006 - Ma249 - 0002.mbes | 16:41 | 16:48 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 59 |
| 0007 - Ma249 - 0001.mbes | 16:56 | 17:03 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 9 |
| 0007 - Ma249 - 0002.mbes | 17:03 | 17:06 | 3 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 12 |
| 0008 - Ma249 - 0001.mbes | 17:13 | 17:20 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 26 |
| 0009 - Ma249 - 0001.mbes | 17:21 | 17:28 | 7 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 34 |
| 0009 - Ma249 - 0002.mbes | 17:28 | 17:29 | 1 | 11:00 | 16:22 | 23:22 | THW | 35 |

Tabelle 24: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 07

| 2015_10_BL07 (13.10.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0002 - Ma253 - 0002.mbes | 10:09 | 10:15 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | TNW | 30 |
| 0002 - Ma253 - 0003.mbes | 10:15 | 10:19 | 4 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | TNW | 34 |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---------------|----|
| 0003 - Ma253 - 0002.mbes | 10:28 | 10:35 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 49 |
| 0003 - Ma253 - 0003.mbes | 10:34 | 10:41 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 55 |
| 0003 - Ma253 - 0004.mbes | 10:40 | 10:42 | 2 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 57 |
| 0004 - Ma253 - 0001.mbes | 11:02 | 11:09 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 10 |
| 0004 - Ma253 - 0002.mbes | 11:09 | 11:15 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 17 |
| 0005 - Ma253 - 0002.mbes | 11:26 | 11:33 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(1) | 34 |
| 0005 - Ma253 - 0003.mbes | 11:32 | 11:39 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 40 |
| 0005 - Ma253 - 0004.mbes | 11:38 | 11:43 | 4 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 44 |
| 0006 - Ma253 - 0001.mbes | 11:43 | 11:50 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 51 |
| 0006 - Ma253 - 0002.mbes | 11:50 | 11:57 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 58 |
| 0007 - Ma253 - 0002.mbes | 12:20 | 12:27 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 19 |
| 0007 - Ma253 - 0003.mbes | 12:27 | 12:34 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 26 |
| 0007 - Ma253 - 0004.mbes | 12:33 | 12:37 | 4 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 29 |
| 0008 - Ma253 - 0001.mbes | 12:38 | 12:45 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(2) | 38 |
| 0008 - Ma253 - 0002.mbes | 12:45 | 12:52 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 44 |
| 0009 - Ma253 - 0002.mbes | 13:02 | 13:09 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 61 |
| 0009 - Ma253 - 0003.mbes | 13:08 | 13:09 | 1 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 61 |
| 0010 - Ma253 - 0001.mbes | 13:19 | 13:20 | 1 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 6 |
| 0011 - Ma253 - 0001.mbes | 13:21 | 13:28 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 14 |
| 0011 - Ma253 - 0002.mbes | 13:28 | 13:32 | 4 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 17 |
| 0012 - Ma253 - 0001.mbes | 13:34 | 13:41 | 7 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 27 |
| 0012 - Ma253 - 0002.mbes | 13:41 | 13:41 | 1 | 09:06 | 14:36 | 21:25 | ansteigend(3) | 27 |

Tabelle 25: Messstreifen im Dezember 2015 - Blatt 01 Wedel

| 2015_12_BL01 (18.12.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | Phase | |
| 0011 - 288 - 0001.mbes | 07:13 | 07:15 | 2 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 2 |
| 0012 - 288 - 0001.mbes | 07:22 | 07:30 | 8 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 17 |
| 0013 - 288 - 0001.mbes | 07:31 | 07:40 | 9 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 28 |
| 0014 - 288 - 0001.mbes | 07:42 | 07:50 | 8 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 38 |
| 0015 - 288 - 0001.mbes | 07:56 | 08:05 | 9 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 11 |
| 0016 - 288 - 0001.mbes | 08:08 | 08:17 | 9 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 23 |
| 0017 - 288 - 0001.mbes | 08:18 | 08:27 | 8 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 32 |
| 0018 - 288 - 0001.mbes | 08:28 | 08:38 | 9 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 43 |
| 0019 - 288 - 0001.mbes | 08:39 | 08:47 | 8 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 52 |
| 0020 - 288 - 0001.mbes | 08:50 | 08:56 | 7 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 8 |
| 0021 - 288 - 0001.mbes | 08:58 | 09:03 | 5 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 14 |
| 0022 - 288 - 0001.mbes | 09:04 | 09:08 | 3 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 19 |
| 0023 - 288 - 0001.mbes | 09:09 | 09:12 | 3 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 23 |
| 0024 - 288 - 0001.mbes | 09:14 | 09:16 | 2 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 27 |
| 0025 - 288 - 0001.mbes | 09:19 | 09:20 | 2 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 32 |
| 0026 - 288 - 0001.mbes | 09:22 | 09:23 | 1 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | THW | 35 |
| 0027 - 288 - 0001.mbes | 09:32 | 09:34 | 2 | 01:52 | 07:28 | 14:26 | absteigend(3) | 4 |

Tabelle 26: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 03 Juelsand

| 2015_12_BL03 (16.12.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | Phase | |
| 0002 - 290 - 0001.mbes | 09:04 | 09:13 | 9 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 17 |
| 0003 - 290 - 0001.mbes | 09:14 | 09:20 | 6 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 25 |
| 0004 - 290 - 0001.mbes | 09:22 | 09:31 | 9 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 36 |
| 0005 - 290 - 0001.mbes | 09:33 | 09:36 | 4 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 41 |
| 0007 - 290 - 0001.mbes | 09:47 | 09:56 | 9 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 61 |
| 0008 - 290 - 0001.mbes | 09:58 | 10:04 | 6 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 69 |
| 0009 - 290 - 0001.mbes | 10:07 | 10:16 | 9 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(2) | 10 |

| | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---------------|----|
| 0010 - 290 - 0001.mbes | 10:17 | 10:24 | 6 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(1) | 18 |
| 0011 - 290 - 0001.mbes | 10:26 | 10:35 | 9 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(1) | 29 |
| 0012 - 290 - 0001.mbes | 10:36 | 10:42 | 6 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(1) | 37 |
| 0013 - 290 - 0001.mbes | 10:44 | 10:52 | 8 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(1) | 47 |
| 0014 - 290 - 0001.mbes | 10:53 | 10:59 | 6 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | absteigend(1) | 54 |
| 0016 - 290 - 0001.mbes | 12:05 | 12:07 | 2 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | TNW | 3 |
| 0017 - 290 - 0001.mbes | 12:12 | 12:19 | 7 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | TNW | 15 |
| 0018 - 290 - 0001.mbes | 12:21 | 12:30 | 8 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | TNW | 26 |
| 0019 - 290 - 0001.mbes | 12:31 | 12:37 | 7 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | TNW | 33 |
| 0020 - 290 - 0001.mbes | 12:39 | 12:47 | 8 | 00:25 | 05:36 | 12:46 | TNW | 42 |
| 0021 - 290 - 0001.mbes | 12:49 | 12:55 | 7 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 51 |
| 0022 - 290 - 0001.mbes | 12:57 | 13:04 | 8 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 60 |
| 0023 - 290 - 0001.mbes | 13:08 | 13:15 | 7 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 9 |
| 0024 - 290 - 0001.mbes | 13:18 | 13:25 | 7 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 19 |
| 0025 - 290 - 0001.mbes | 13:26 | 13:34 | 8 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 28 |
| 0026 - 290 - 0001.mbes | 13:35 | 13:42 | 7 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 36 |
| 0027 - 290 - 0001.mbes | 13:43 | 13:52 | 9 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 46 |
| 0028 - 290 - 0001.mbes | 13:52 | 13:53 | 1 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 47 |
| 0029 - 290 - 0001.mbes | 13:54 | 13:56 | 1 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | TNW | 50 |
| 0030 - 290 - 0001.mbes | 13:58 | 14:00 | 2 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | ansteigend(1) | 54 |
| 0031 - 290 - 0001.mbes | 14:01 | 14:02 | 1 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | ansteigend(1) | 56 |
| 0032 - 290 - 0001.mbes | 14:04 | 14:05 | 1 | 12:46 | 18:19 | 00:52 | ansteigend(1) | 59 |

Tabelle 27: Messstreifen im Oktober 2015 - Blatt 07

| 2015_12_BL07 (14.12.2015) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0012 - 294 - 0001.mbes | 08:15 | 08:17 | 2 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 35 |
| 0013 - 294 - 0001.mbes | 08:23 | 08:34 | 11 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 52 |
| 0014 - 294 - 0001.mbes | 08:37 | 08:44 | 7 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 62 |
| 0015 - 294 - 0001.mbes | 08:46 | 08:57 | 11 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 75 |
| 0016 - 294 - 0001.mbes | 09:00 | 09:07 | 7 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 9 |
| 0017 - 294 - 0001.mbes | 09:09 | 09:20 | 11 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | absteigend(1) | 21 |
| 0018 - 294 - 0001.mbes | 09:23 | 09:30 | 7 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | TNW | 32 |
| 0019 - 294 - 0001.mbes | 09:32 | 09:42 | 10 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | TNW | 44 |
| 0020 - 294 - 0001.mbes | 09:46 | 09:47 | 2 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | TNW | 4 |
| 0021 - 294 - 0001.mbes | 09:49 | 09:50 | 1 | 22:12 | 03:34 | 10:41 | TNW | 7 |

Tabelle 28: Messstreifen im April 2016 - Blatt 01 Wedel

| 2016_04_BL01 (14.04.2016) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Tide | | | Phase | SVP [min] |
| | | | | Beginn | Hochw. | Ende | | |
| 0001 - Ma 074 - 0001.mbes | 07:29 | 07:30 | 2 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 4 |
| 0002 - Ma 074 - 0001.mbes | 07:32 | 07:39 | 7 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 13 |
| 0003 - Ma 074 - 0001.mbes | 07:41 | 07:48 | 8 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 22 |
| 0004 - Ma 074 - 0001.mbes | 07:52 | 08:00 | 7 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 33 |
| 0005 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:01 | 08:09 | 8 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 43 |
| 0006 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:10 | 08:18 | 8 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 52 |
| 0007 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:21 | 08:29 | 8 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 10 |
| 0008 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:30 | 08:38 | 7 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 18 |
| 0009 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:39 | 08:45 | 6 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 25 |
| 0010 - Ma 074 - 0001.mbes | 08:47 | 08:50 | 3 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 30 |
| 0011 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:02 | 09:04 | 2 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 7 |
| 0013 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:09 | 09:13 | 4 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 17 |
| 0016 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:27 | 09:35 | 8 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 9 |
| 0017 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:38 | 09:48 | 10 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | THW | 10 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---------------|----|
| 0018 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:48 | 09:55 | 7 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | absteigend(3) | 18 |
| 0019 - Ma 074 - 0001.mbes | 09:56 | 10:01 | 5 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | absteigend(3) | 24 |
| 0022 - Ma 074 - 0001.mbes | 10:21 | 10:27 | 6 | 02:31 | 07:58 | 14:43 | absteigend(3) | 14 |

Tabelle 29: Messstreifen im April 2016 - Blatt 03 Juelsand

| 2016_04_BL03 (11.04.2016) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Tide | | Phase | SVP [min] |
| | | | | | Hochw. | Ende | | |
| 0002 - Ma 076 - 0001.mbes | 06:11 | 06:24 | 13 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 18 |
| 0004 - Ma 076 - 0001.mbes | 06:32 | 06:39 | 8 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 12 |
| 0005 - Ma 076 - 0001.mbes | 06:41 | 06:42 | 1 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 15 |
| 0006 - Ma 076 - 0001.mbes | 06:45 | 06:52 | 7 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 25 |
| 0007 - Ma 076 - 0001.mbes | 06:55 | 07:07 | 12 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 14 |
| 0008 - Ma 076 - 0001.mbes | 07:08 | 07:21 | 13 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 28 |
| 0008 - Ma 076 - 0002.mbes | 07:21 | 07:25 | 5 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 32 |
| 0009 - Ma 076 - 0001.mbes | 07:26 | 07:38 | 12 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | THW | 44 |
| 0011 - Ma 076 - 0001.mbes | 07:48 | 07:50 | 2 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 3 |
| 0012 - Ma 076 - 0001.mbes | 07:52 | 07:59 | 7 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 12 |
| 0013 - Ma 076 - 0001.mbes | 08:00 | 08:06 | 6 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 7 |
| 0014 - Ma 076 - 0001.mbes | 08:07 | 08:18 | 11 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 19 |
| 0015 - Ma 076 - 0001.mbes | 08:21 | 08:34 | 13 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 34 |
| 0015 - Ma 076 - 0002.mbes | 08:33 | 08:39 | 6 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 40 |
| 0016 - Ma 076 - 0001.mbes | 08:40 | 08:51 | 12 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(3) | 52 |
| 0021 - Ma 076 - 0001.mbes | 09:14 | 09:17 | 3 | 00:26 | 05:26 | 12:42 | absteigend(2) | 21 |
| 2016_04_BL03 (28.04.2016) | | | | | | | | |
| 0002 - Ma 086 - 0001.mbes | 09:09 | 09:18 | 9 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(3) | 22 |
| 0004 - Ma 086 - 0001.mbes | 09:21 | 09:33 | 12 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(2) | 14 |
| 0007 - Ma 086 - 0001.mbes | 09:47 | 09:55 | 9 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(2) | 36 |
| 0009 - Ma 086 - 0001.mbes | 09:58 | 09:59 | 1 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(2) | 40 |
| 0010 - Ma 086 - 0001.mbes | 10:05 | 10:07 | 2 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(2) | 48 |
| 0011 - Ma 086 - 0001.mbes | 10:07 | 10:12 | 5 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(2) | 53 |
| 0014 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:02 | 11:06 | 4 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 17 |
| 0015 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:07 | 11:17 | 10 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 28 |
| 0017 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:24 | 11:32 | 8 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 43 |
| 0018 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:34 | 11:35 | 1 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 46 |
| 0019 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:35 | 11:37 | 2 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 48 |
| 0021 - Ma 086 - 0001.mbes | 11:42 | 11:44 | 2 | 00:58 | 06:16 | 13:01 | absteigend(1) | 3 |

Tabelle 30: Messstreifen im April 2016 - Blatt 07

| 2016_04_BL07 (13.04.2016) | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|---------------|-----------|
| Messstreifen | Startzeit | Endzeit | Dauer | Beginn | Tide | | Phase | SVP [min] |
| | | | | | Hochw. | Ende | | |
| 0002 - Ma 090 - 0001.mbes | 08:14 | 08:27 | 13 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(3) | 20 |
| 0002 - Ma 090 - 0002.mbes | 08:27 | 08:28 | 2 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(3) | 21 |
| 0003 - Ma 090 - 0001.mbes | 08:31 | 08:44 | 13 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(3) | 14 |
| 0004 - Ma 090 - 0001.mbes | 08:53 | 09:06 | 13 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(3) | 36 |
| 0005 - Ma 090 - 0001.mbes | 09:08 | 09:21 | 13 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(2) | 51 |
| 0006 - Ma 090 - 0001.mbes | 09:34 | 09:47 | 13 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(2) | 15 |
| 0007 - Ma 090 - 0001.mbes | 09:55 | 10:04 | 9 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(2) | 31 |
| 0009 - Ma 090 - 0001.mbes | 10:50 | 10:53 | 3 | 00:43 | 06:15 | 12:54 | absteigend(1) | 5 |