

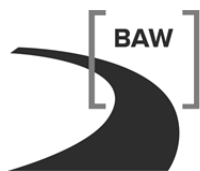


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Untersuchung des Eindringverhaltens von
Schiffsankern mittels Ankerzugversuchen**

**Bericht zur Vermessung
der Ankereindringtiefe**

**Auftragsnummer
A395 502 10088**



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Bericht

Auftraggeber: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
- Außenstelle Nordwest

Auftrag vom: November 2012

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A395 502 10088

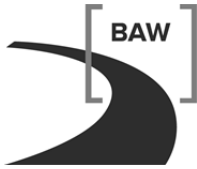
Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: K2
Bearbeiter: Dip.Ing.(FH) Christian Maushake

in Kooperation mit:
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Maria Lambers Huesmann

Innomar Technologie GmbH
Peter Hümb's

Hamburg, 28. August 2013

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



Zusammenfassung

Im Zeitraum vom 29. April 2013 bis 05. Mai 2013 ist in einer groß angelegten Feldstudie in der Deutschen Bucht das Eindringverhalten von Ankern mittels Ankerzugversuchen untersucht worden. Neben der BAW – DH waren das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Stromnetzbetreiber Tennet sowie die niederländische Forschungseinrichtung Deltares beteiligt. Veranlassung für die Untersuchungen ist die Fragestellung, ob Seekabel im Bereich der Seeschifffahrtsstraßen mit einer reduzierten Eingrabetiefe verlegt werden können ohne dass ein erhöhtes Gefährdungspotential durch Ankermanöver, z.B. infolge von Schiffshavarien entsteht.

Im Rahmen der Ankerzugversuche sind in 3 Untersuchungsgebieten jeweils 3 Ankerzüge mit zwei verschiedenen Ankertypen durchgeführt worden, insgesamt also 18 Ankerzüge. Eines der Untersuchungsgebiete lag hierbei im Bereich einer Seeschifffahrtsstraße (VTG Terschelling German Bight).

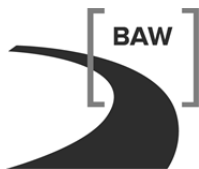
Der hier vorliegende Bericht bezieht sich auf den von der BAW-DH und dem BSH eingebrachten Beitrag zu den Untersuchungen, nämlich die Durchführung von Vermessungen der Ankerspuren und der Ankereindringtiefe mit einem Sedimentecholot (SES) und einem Side Scan Sonar (SSS).

Mit der eingesetzten Methodik ist es gelungen, die Wirkung des Ankers im Seeboden zu untersuchen und zu dokumentieren. Die erzielten Ergebnisse sind als sicher und damit robust und belastbar einzuschätzen.

Über die im Rahmen dieses Berichtes behandelte Fragestellung der Eindringtiefe von Ankern hinaus bieten der Umfang und die Qualität der Untersuchungen eine gute Grundlage für die weitergehende wissenschaftliche Analyse und Bewertung. Eine solche Verwendung ist in Kooperation mit den beteiligten oder weiteren Institutionen anzustreben.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Personal und Equipment	2
2.1	BAW, BSH auf <i>VWFS Wega</i>	2
2.2	Tennet auf <i>Guardian</i> und <i>Esvagt Connector</i>	5
3	Untersuchungsgebiete	6
4	Ankerzugversuche	7
4.1	Versuchsanker	8
4.2	Versuchsablauf	9
4.3	Vermessungsarbeiten <i>VWFS Wega</i>	10
4.4	Basisvermessung	10
4.5	Vermessung der Ankerspuren	12
4.5.1	Sedimentecholot SES	12
4.5.2	Side Scan Sonar	13
4.6	Ablauf der Ankerspurvermessung mit SES und SSS, bzw. MBES	13
5	Auswertung	15
5.1	Bearbeitung der SES – Daten	16
5.2	Analyse der Ankereindringtiefe	17
5.2.1	Fehlerbetrachtung	19
6	Ergebnisse	21
7	Diskussion und Ausblick	26

Bildverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Vermessungs-, Wracksuch-, und Forschungsschiff Wega (BSH)	3
Abbildung 2: Hydrographischer Schacht auf VWFS Wega zur Aufnahme des SES - Schwingers	4
Abbildung 3: hydrographischer Arbeitsplatz an Bord des VWFS Wega	5
Abbildung 4: beteiligte Fahrzeuge durch Tennet links: Vermessungsschiff Guardian (22.2 x 6.6 x 1.3 m) rechts: Mehrzweckschiff und Hochseeschlepper Esvagt Connector (56.4 x 14.5 x 6[max.])	6
Abbildung 5: Lage der Untersuchungsgebiete in der Deutschen Bucht	7
Abbildung 6: eingesetzte Versuchsanker, oben: Hall – Anker, unten: HHP AC14 - Anker	8
Abbildung 7: SES – Profillinie mit markierter Ankerwurfposition (V3)	11
Abbildung 8: schematische Darstellung der Kombination aus SES - und SSS - Vermessung	14
Abbildung 9: SES – Profillinien und SSS – Bild einer Ankerspurvermessung	15
Abbildung 10: Darstellung eines SES – Profil in der Algo 1P – Darstellung (oben) und in der Algo Amp Darstellung (unten)	16
Abbildung 11: Ermittlung der Ankereindringtiefe aus SES - Profilen	18
Abbildung 12: Digitalisierung von SES - Signalamplituden	19
Abbildung 13: Erläuterung der Anlagen N1-6, S1-6 und V1-6	21
Abbildung 14: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet BSH Nord	22
Abbildung 15: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet BSH Süd	23
Abbildung 16: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet VTG	23



Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Zusammenstellung der an den Ankerzugversuchen beteiligten Fahrzeuge	2
Tabelle 2: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet BSH Nord	24
Tabelle 3: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet BSH Süd	25
Tabelle 4: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet VTG	25

Anlagenverzeichnis

Anlage	1	Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen
Anlagen	2 N,S,V jeweils Blatt a & b	Gebietsübersicht (Blatt a) und Koordinatenverzeichnis (Blatt b)
Anlagen	3 N,S,V	Ankerwurfpositionen (Soll / Ist)
Anlagen	4 N,S,V	Zusammenstellung der Ankerspuren (Tiefenprofil)
Anlagen	N0, S0, V0 N1 – N6	Basisvermessung mit SES
Anlagen	S1 – S6 V1 – V6	Einzeldarstellung aller durchgeführten Ankerzüge

Kennung N, S und V jeweils für Untersuchungsgebiet Nord, Süd und VTG

Abkürzungsverzeichnis

Verzeichnis der wichtigsten im Bericht verwendeten Abkürzungen

BAW-DH	Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Tennet	TenneT Offshore 7. Beteiligungsgesellschaft mbH
WSD Northwest, ab 1. Mai 2013:	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Northwest
GDWS Ast. NW	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle Northwest (im Bericht wird ausschließlich die neue Bezeichnung verwendet)
VTG	Verkehrstrennungsgebiet Terschelling German Bight
VWFS Wega	Vermessungs-, Wracksuch-, Forschungsschiff Wega
MBES	MultiBeam EchoSounder (deutsch: Fächerecholot)
SSS	Side Scan Sonar (deutsch: Seitensichtsonar)
SES	Sediment Echo Sounder (deutsch: Sedimentecholot)
ROV	Remotely Operated Vehicle (ferngesteuerter Tauchroboter)

Hinweise

Geodätisches Bezugssystem:

Allen im Bericht und in den Anlagen genannten Koordinaten und Kartendarstellungen liegt das geodätische Lagebezugssystem UTM, Zone 32 (WGS84) zugrunde.

Zeitliches Bezugssystem:

Soweit nicht anders angegeben beziehen sich Zeitangaben auf UTC (MESZ – 2 Stunden)

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg (BAW-DH) war im Zeitraum vom 29.04.2013 bis zum 06.05.2013 an der „Untersuchung des Eindringverhaltens von Schiffsankern mittels Ankerzugversuchen“ beteiligt. Die Veranlassung leitet sich aus einer Vereinbarung der Tennet Offshore 7. Beteiligungsgesellschaft mbH (im folgenden Tennet) mit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Ast. Nordwest (GDWS Ast. NW) ab¹. Die Tennet hat am 03.08.2012 einen Planänderungsantrag „zur Reduzierung der Verlegetiefen im Verkehrstrennungsgebiet Terschelling German Bight (im folgenden VTG) für das planfestgestellte Seekabel DoWin1“ bei der GDWS Ast. NW gestellt. Als Begründung wird auf die stellenweise sehr hohen Scherfestigkeiten der Böden im südlichen VTG verwiesen. In diesen Böden kann eine Verlegung von Seekabeln mit der geforderten Mindestüberdeckung von 3 m laut Aussage von Tennet nicht erreicht werden. Bei einer Reduzierung der Verlegetiefen im VTG sind jedoch die Erfordernisse der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs zu berücksichtigen und hierbei insbesondere die Gefährdung durch Notankerungen oder unfreiwilligen Ankerwurf im Bereich der Kabeltrassen.

Daher wurde am 26.11.2012 bei einem Treffen mit Vertretern der GDWS Ast. NW, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der BAW-DH, der niederländischen Forschungseinrichtung Deltares und der Tennet ein Versuchsprogramm zur Untersuchung des Eindringverhaltens von Ankern vereinbart. Hierfür wurden 3 Versuchsgebiete, davon eines im südlichen VTG und zwei Ankertypen ausgewählt.

Der Ablauf und die einzusetzenden Methoden sind vor Beginn des Untersuchungsprogramms in mehreren Besprechungen und Telefonkonferenzen sowie per Email und schriftlich vorliegenden Konzepten und Textbeiträgen detailliert abgestimmt und festgelegt worden. Vereinbarungsgemäß liefert jede der beteiligten Parteien für den eigenen Untersuchungsbeitrag einen Teilbericht, der dann zu einem Gesamtbericht zusammen zu fassen ist.

Der hier vorliegende Bericht bezieht sich auf den von der BAW-DH und dem BSH eingebrachten Beitrag, nämlich die Durchführung von Vermessungen der Ankerspuren und der Ankereindringtiefe mit einem Sedimentecholot (SES) und einem Side Scan Sonar (SSS).

Die SES – Messungen sollten Aufschluss über Störungen in den oberen Sedimentschichten des Seebodens liefern, die der Wirkung des Ankerzuges im Seeboden zugeordnet werden können. Insbesondere soll die maximale Eindringtiefe gegenüber dem Niveau des ungestörten Seebodens ermittelt werden.

Ergänzend zu den SES – Aufnahmen sind flächendeckende SSS – Aufnahmen der Untersuchungsgebiete durchgeführt worden.

¹ Im Rahmen einer Neuorganisation wurde die WSD Nordwest mit Wirkung vom 01. Mai 2013 in Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Außenstelle Nordwest umbenannt. In diesem Bericht wird durchgehend die neue Bezeichnung verwendet.

Sofern die Ergebnisse der anderen eingesetzten Methoden zur Interpretation der SES – und SSS - Ergebnisse beitragen, sind diese auch Bestandteil dieses Berichtes. Für weitergehende Aussagen sind hierzu ggf. auch die speziellen Teilberichte heranzuziehen.

2 Personal und Equipment

Für die messtechnische Begleitung und die Durchführung der Ankerzugversuche standen 3, zeitweise 4 Schiffe zur Verfügung. Neben dem erforderlichen nautischen Personal war auf den Fahrzeugen technisch / wissenschaftliches Personal zur Durchführung der Messungen und zur Dokumentation eingesetzt. Die beteiligten Schiffe sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Fahrzeug	Typ	Bereederung	Eingesetzt von	Aufgaben
<i>Esvagt Connector</i>	Multifunktionsschiff Hochseeschlepper	Esvagt A/S Dänemark	Tennet	Ankerhandling, Ankerzüge
<i>Guardian</i>	Vermessungsschiff	Braveheart Shipping, Niederlande	Tennet	Tauchroboter, Multibeamvermessung
<i>VWFS Wega</i>	Vermessungsschiff	BSH	BSH, BAW	Seitensichtsonar, Sedimentecholot
<i>Karen</i>	Patrouillen-Fahrzeug	KEM Offshore, Norwegen	Tennet	Verkehrssicherung, zeitweilig im VTG

Tabelle 1: Zusammenstellung der an den Ankerzugversuchen beteiligten Fahrzeuge

2.1 BAW, BSH auf VWFS Wega

Als Trägerplattform für die SES – und SSS - Vermessungen ist das VWFS Wega des BSH bereitgestellt worden (Abbildung 1). Die SSS – Anlage ist schiffseitig fest eingebaut, das SES ist für die Ankerzugversuche temporär installiert und an die Schiffsvermessungsanlage angeschlossen worden.



Abbildung 1: Vermessungs-, Wracksuch-, und Forschungsschiff Wega (BSH)

Für den Einbau des SES - Schwingers (Unterwassereinheit) stand ein hydrographischer Schacht (Abbildung 2) zur Verfügung, der in das Schiffskoordinatensystem eingemessen war und somit in Beziehung zu den weiteren Sensoren des hydrographischen Vermessungssystems (Positionierung, Schiffsbewegung, Side Scan Sonar) gebracht werden konnte. Die Vermessungsplanung und Profilnavigation ist mit den bordeigenen Systemen des VWFS Wega durchgeführt worden, die Datenerfassung des SES mit der zum System gehörenden Software SESWin. Die Daten der Schiffspositionierung und –orientierung (Heave, Roll, Pitch, Heading, Position) sind vom Vermessungssystem des VWFS Wega per Splitter an die SESWin Software übertragen worden.



Abbildung 2: Hydrographischer Schacht auf VWFS Wega zur Aufnahme des SES - Schwingers

Die Vermessungsarbeiten auf der Wega sind durch Personal der BAW-DH und des BSH durchgeführt und koordiniert worden (Teilaufgaben durch Vergabe). Tennet war durch einen sachverständigen Beobachter vertreten. Die GDWS Ast. NW war nicht beteiligt.

Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Hardware – Komponenten des eingesetzten Vermessungssystems und Tabelle 3 die Verantwortlichkeiten an Bord des VWFS Wega. Abbildung 3 zeigt den Vermessungsarbeitsplatz auf dem VWFS Wega.

1	Side Scan Sonar	Edgetech MPX 4300	410 KHz, typischerweise 75 m Streifenbreite
2	Sedimentecholot	Innomar SES2000 Standard	LF 4 – 15 KHz, HF ca. 100 KHz, Öffnungswinkel < +/- 2°
3	Ortung	Leica GPS1200	Differential über NavBeacon Receiver Helgoland
4	Shipmotion	Seatech MRU5 plus	Heave, Roll, Pitch
5	Orientierung	Anschütz Standard 20	Schiffsheading
6	Tide	Javad Sigma GPS	GPS-Rohdaten (Postprocessing)

Tabelle 2: Hardware – Komponenten des Vermessungssystems auf dem VWFS Wega

Name	Institution	Funktion
Hartmut Brunn	BSH	Kapitän Wega, Vermessungsplanung
Maria Lambers Huesmann	BSH	Sonaroperator
Peter Hümb	Innomar Technologie GmbH	SES – Operator
David Sinclair	TenneT	Sachverständiger Beobachter Tennet
Christian Maushake	BAW	Koordination

Tabelle 3: Beteiligte und Verantwortlichkeiten auf dem VWFS Wega



Abbildung 3: hydrographischer Arbeitsplatz an Bord des VWFS Wega

2.2 Tennet auf *Guardian* und *Esvagt Connector*

Die Durchführung der Ankerzüge und die Mobilisierung der hierfür erforderlichen Fahrzeuge ist durch die Tennet organisiert und betreut worden. Die Ankerzüge hat das Mehrzweckschiff *Esvagt Connector* durchgeführt, welches als Hochseeschlepper mit einem Pfahlzug von 107 t max. spezifiziert ist. Von Bord des Vermessungsschiffes *Guardian* sind die Ankerzüge per ROV – Video und MBES aufgenommen und dokumentiert worden. Für die Ankerzüge im südlichen VTG stand für Verkehrssicherungszwecke zusätzlich das Patrouillen – Boot *Karen* zur Verfügung.

Die gesamtverantwortliche Projektleitung (M. Petzold, Tennet) war auf der *Guardian* stationiert. Zudem waren auf der *Esvagt Connector* sachverständige Beobachter der Tennet (Frau V. Schwamborn, Frau A. Drews) sowie von Deltares (D. Luger, H. v. Lottum) eingesetzt. Weitere Details und die Beschreibung der Versuchsabläufe auf *Guardian* und *Esvagt Connector* sind den entsprechenden Tennet -, bzw. Deltares – Teilberichten zu entnehmen.



Abbildung 4: beteiligte Fahrzeuge durch Tennet
links: Vermessungsschiff *Guardian* (22.2 x 6.6 x 1.3 m)
rechts: Mehrzweckschiff und Hochseeschlepper *Esvagt Connector* (56.4 x 14.5 x 6 [max.] m)

3 Untersuchungsgebiete

Da eine Wechselwirkung des Eindringverhaltens von Ankern mit der Zusammensetzung der Sedimente im Seeboden sowie geotechnischen Parametern besteht, sind für die Ankerzugversuche insgesamt 3 Untersuchungsgebiete mit unterschiedlicher Beschaffenheit des Seebodens in der Deutschen Bucht festgelegt worden. Diese haben für das Untersuchungsprogramm die Bezeichnungen „BSH Nord“, „BSH Süd“ und „VTG“ erhalten (Abbildung 5).

Von besonderem Interesse ist hierbei das Gebiet „VTG“, in dem die genannten Probleme mit der geforderten Mindestüberdeckung von 3 m bei der Verlegung von Seekabeln auftreten. Laut bisher vorliegender Untersuchungen des Seebodens schieben sich besonders im südlichen Bereich des VTG sehr feste Lehm / Clay – Schichten „faltenartig“ bis sehr dicht unter die Seeboden - Oberfläche. Diese Strukturen bereiten bei der Kabelverlegung besondere technische Schwierigkeiten (gemäß Aussagen vom Tennet, siehe Messkonzept).

In den anderen beiden Gebieten „BSH Nord“ und „BSH Süd“ ist die Sedimentzusammensetzung eher homogen: Im Gebiet „BSH Nord“ überwiegend locker bis sehr locker gelagerte Sande und im Gebiet „BSH Süd“ lockere bis mitteldichte Feinsande mit Schluffanteilen (nach Messkonzept).

Innerhalb der 3 vorgesehenen Gebiete „BSH Nord“, „BSH Süd“ und „VTG“ sind jeweils „Vermessungsboxen“ definiert worden, innerhalb derer vor Beginn der Ankerzugversuche

eine Basisvermessung durch VWFS WEGA durchgeführt wurde und innerhalb derer dann die Ankerwurfpositionen festgelegt wurden.

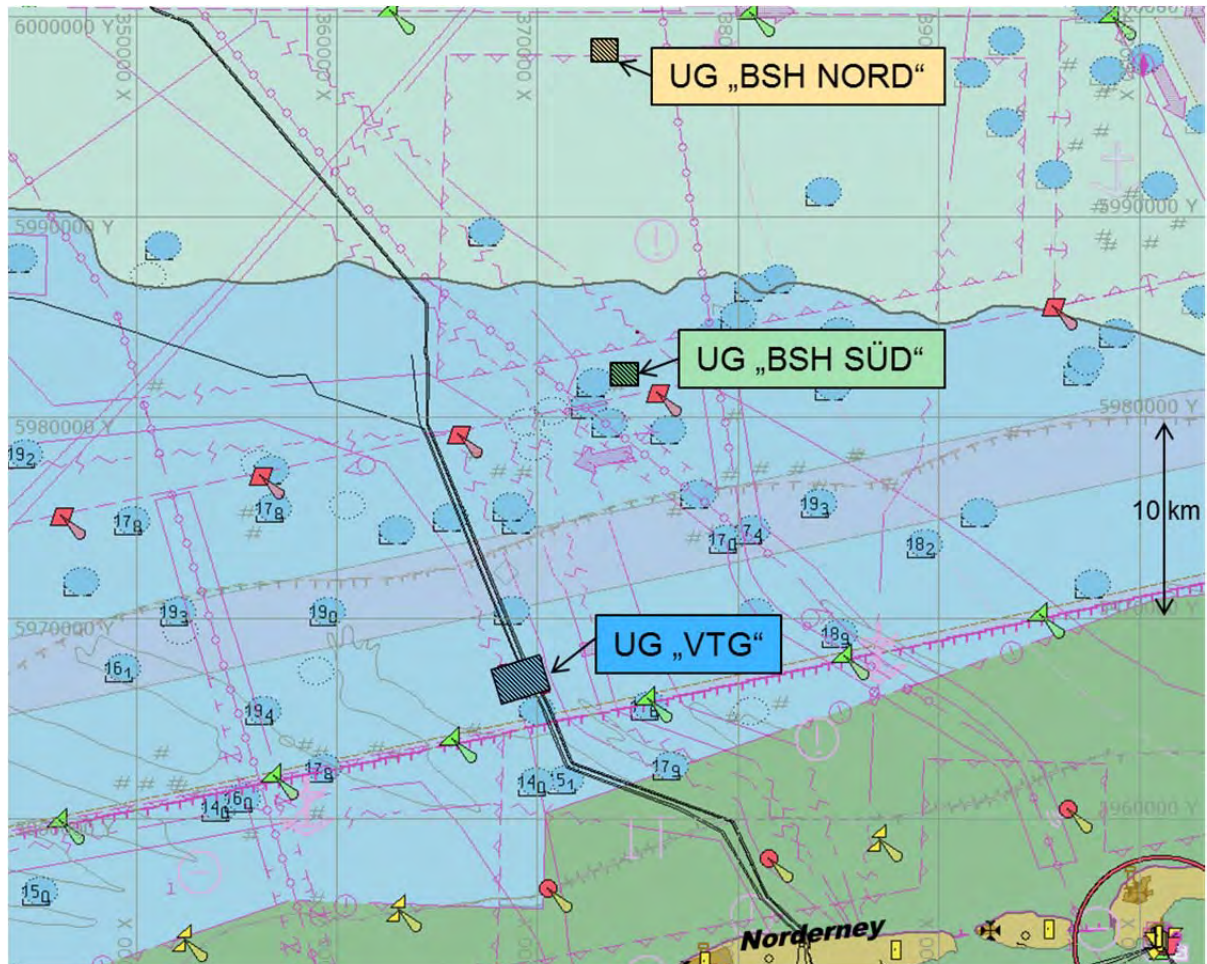


Abbildung 5: Lage der Untersuchungsgebiete in der Deutschen Bucht

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der Untersuchungsgebiete; die genaue Lage und ein Koordinatenverzeichnis sind den Anlage 2N, 2S, 2V zu entnehmen.

4 Ankerzugversuche

Für die Untersuchungen waren sehr hohe organisatorische und logistische Anforderungen und Randbedingungen zu beachten. Das mit allen Beteiligten abgestimmte Messkonzept konnte im Wesentlichen wie vorgesehen umgesetzt werden. Hiernach sind in den 3 Untersuchungsgebieten jeweils 3 Ankerzüge mit den zwei untersuchten Ankertypen durchgeführt worden, insgesamt also 18 Ankerzüge.

4.1 Versuchsanker

Gemäß Untersuchungskonzept sind in Abstimmung mit der GDWS Ast. NW zwei Versuchsanker ausgewählt worden, die den Regularien des Germanischen Lloyd für Containerschiffe von 294 m Länge und einer Kapazität von 80.000 tdw entsprechen. Es wurden ein Anker vom Typ „Hall“ mit einem Gewicht von 11,7 t und ein für das gewählte Bemessungsschiff äquivalenter Anker vom Typ „HHP AC14“ mit einem Gewicht von 8,3 t eingesetzt (Abbildung 6) Als Ankerkette für beide Versuchsanker wurde eine 81mm Gr.III – Kette mit einer Länge von ca. 60m und einem Gewicht von ca. 2 t verwendet. Das Ankerhandling, also die Ankerwürfe und –züge sowie das umschäkeln und die Vorbereitung der Zugversuche wurde komplett von dem eingesetzten Hochseeschlepper *Esvagt Connector* durchgeführt.

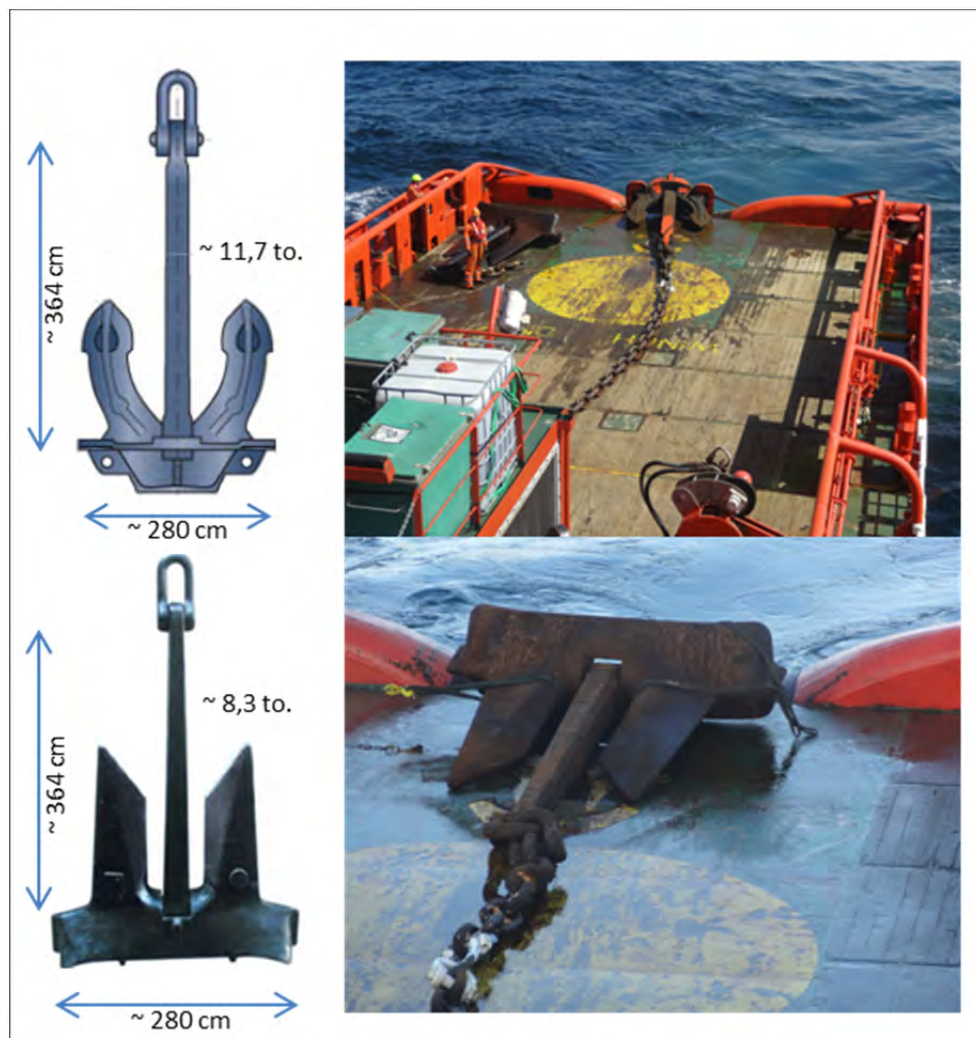


Abbildung 6: eingesetzte Versuchsanker, oben: Hall – Anker, unten: HHP AC14 – Anker

4.2 Versuchsablauf

Die einzelnen Versuchsphasen sollen an dieser Stelle noch einmal schematisiert und verkürzt dargestellt werden (Details im Messkonzept, bzw. in den entsprechenden Teilberichten):

1. Durchführung einer Basisvermessung (SES, SSS) mit *VWFS Wega* im Untersuchungsgebiet
(Detektion möglicher Hindernisse, Überprüfung der geplanten Abwurfpositionen, Sedimentstrukturen in den oberen Bodenschichten)
2. Positionierung *Esvagt Connector* über der vorgegebenen Abwurfposition
3. Fall des Ankers
4. Kontrolle der Ankerlage durch ROV – Video (*Guardian*)
5. Ankerzug, bis max. Zug* (80 t) oder Anker bricht aus
* Der max. Zug ist im Messkonzept festgelegt worden
6. Kontrolle, bzw. Vermessung der Ankerlage in Endposition (SSS, tlw. MBES, tlw. SES, tlw. ROV – Video)
7. Bergung des Ankers, Anfahren der neuen Wurfposition
8. Schlussvermessung der Ankerspur durch *VWFS Wega* mit SES und SSS, bzw. MBES (letzteres durch *Guardian*)

Die im Messkonzept vorgesehene Kontrolle der Endlage des Ankerzuges durch Sedimentecholot (*VWFS Wega*) hat sich in der praktischen Durchführung als nicht sinnvoll herausgestellt. Hier hat eine MBES – Vermessung durch *Guardian* bzw. eine SSS – Vermessung durch *VWFS Wega* zu aussagefähigeren Ergebnissen geführt.

Die Dokumentation der MBES – Vermessung und die Videoaufnahmen des Tauchroboters durch *Guardian* sind nicht Bestandteil dieses Teilberichtes.

Alle Ankerzüge wurden gegen die jeweilige Tideströmung durchgeführt und damit in West – Ost – Richtung, bzw. umgekehrt. Die Gründe hierfür lagen in der Manövrierbarkeit des Hochseeschleppers *Esvagt Connector* („gegen den Strom“ lässt sich jedes Schiff besser manövrieren) sowie in der ROV – Operation von Bord der *Guardian*. Im VTG bestand zusätzlich die Auflage „verkehrsgerecht“ zu operieren. Dadurch wurden alle Ankerzüge im VTG von West nach Ost bei Ebbstrom durchgeführt.

Bei einigen Zugversuchen sind die Anker von einer Wurfposition ausgehend zweimal, in einem Fall auch dreimal angezogen worden. Der Grund hierfür lag in dem subjektiven Empfinden des Schlepperkapitäns („human factor“), dass mit dem ersten Zug noch nicht die maximale Zugkraft auf den Anker gebracht worden war. In diesen Fällen ist aus dem laufenden Versuch heraus entschieden worden, den so liegenden Anker ohne erneute Ablegeprozedur ein weiteres Mal einzuziehen. Dies betrifft die Positionen N2, N4, N5, N6 (zwei Züge) und V1 (drei Züge). Die Darstellungen und Anlagen sind entsprechend gekennzeichnet.

Mit einer Ausnahme (Position N4) wurden alle Ankerwürfe an den geplanten Sollpositionen durchgeführt. Im Falle des VTG sind die Sollpositionen vor Ort nach der Bewertung der Basisvermessung (siehe 4.4) dahingehend optimiert worden, dass die oberflächennahe Lehm/Clay-Schicht durch den Ankerzug auch getroffen wurde. In den Gebieten BSH Nord und BSH Süd sind die geplanten Ankerwurfpositionen umgesetzt worden.

Die Durchführung der Ankerzüge sowie die Wurf- und Endposition des Ankers ist von Bord der *Guardian* durch die Videoaufzeichnungen eines Tauchroboters kontrolliert und dokumentiert worden. Auf dem Hochseeschlepper *Esvagt Connector* sind die Zugkräfte kontinuierlich durch einen Zugaufnehmer (load cell) aufgezeichnet worden.

In der Summe sind auf 17 der insgesamt geplanten 18 Ankerwurfpositionen Ankerzüge durchgeführt worden. Nur auf der Position N4 ist kein Ankerzug durchgeführt worden. Erläuterung hierzu: Von der *Esvagt Connector* wurde an die Einsatzleitung (*Guardian*) übermittelt, dass der Vorgängerzug auf Position N3 „sehr schräg“ ausgefallen sei, und man vermutlich in den Bereich der Position N4 hinein gezogen hätte (Anlage 3N zeigt allerdings, dass diese Einschätzung etwas überkritisch war). Um nicht das Risiko einzugehen 2 Ankerspuren „zu vermischen“, wurde von der Einsatzleitung entschieden, Position N4 zu überspringen. Da aber auf insgesamt 5 Positionen der Anker zwei-, bzw. dreimal angezogen worden (siehe oben) ist dies in der Gesamtbewertung des Versuchsergebnisses nicht als kritisch zu bewerten.

4.3 Vermessungsarbeiten VWFS Wega

Die durch das VWFS Wega im Rahmen der Ankerzugversuche durchzuführenden Vermessungsarbeiten bestanden zunächst in einer Basisvermessung der Teilgebiete (Vermessungsboxen) mit SSS und SES. Die Basisvermessung wurde vor Beginn der Ankerzüge abgeschlossen. Nach Beendigung der Ankerzüge wurde eine hoch auflösende Vermessung der Ankerspur – ebenfalls mit SSS und SES - durchgeführt.

Auf eine zunächst geplante „Zwischenvermessung“, d.h. eine Vermessung der Ankerspur nach Durchführung des Zugversuches bei noch liegendem Anker durch VWFS Wega wurde nach den Erfahrungen der ersten Züge verzichtet. Diese „Zwischenmessung“ hat sich als operationell sehr aufwändig herausgestellt und erbrachte keinen nennenswerten Informationsgewinn. Als Alternative wurde stattdessen von der *Guardian* eine MBES-Messung nach dem Ankerzug vor dem Herausheben des Ankers durchgeführt.

4.4 Basisvermessung

In den drei Untersuchungsgebieten BSH Nord, BSH Süd und VTG sind jeweils noch einmal Teilgebiete (= Vermessungsboxen) definiert worden, in denen die jeweils 6 Ankerwurfposi-

onen geplant wurden (siehe Anlagen 2N, 2S, 2V). Vor Beginn der Ankerzugversuche ist in jeder dieser Vermessungsboxen eine Basisvermessung mit SES und SSS durch VWFS Wega durchgeführt worden (siehe Anlagen N0, S0, V0). Durch die Basisvermessung sollten eventuelle Hindernisse im Bereich der Ankerwürfe aufgespürt werden (SSS), bzw. die Untergrundstrukturen in den jeweiligen Gebieten erkundet werden (SES). Der Abstand der Profillinien für die Basisvermessung wurde mit 100m festgelegt.

Die SSS – Aufzeichnung hat an keiner der geplanten Ankerwurf – Positionen Hindernisse gezeigt.

Durch die SES – Vermessung konnte die bei der Planung der Untersuchungsgebiete angenommenen Bodeneigenschaften bestätigt werden. Die Gebiete BSH Nord und BSH Süd sind gleichmäßig eben und weisen so gut wie keine morphologischen Strukturen auf. Die homogene Zusammensetzung des Bodenmaterials kann aus den SES – Aufzeichnungen in beiden Untersuchungsgebieten bestätigt werden. Dass das Material im Untersuchungsgebiet BSH Nord lockerer gelagert ist, als im Untersuchungsgebiet BSH Süd, zeigt sich aufgrund der stärkeren Signalreflektionen aus dem Seeboden im Untersuchungsgebiet BSH Nord.

Wegen der erwarteten heterogenen Untergrundstruktur wurde das Gebiet für die Basisvermessung im VTG größer gewählt, als in den Gebieten BSH Nord und BSH Süd. Hier sollte die SES – Vermessung Aufschluss über die von Tennet berichteten „kleinräumigen Auffaltungen bindiger Böden (Ton/Schluff) hoher Scherfestigkeit bis dicht unter die Oberfläche“ geben. Solche Strukturen konnten aus den SES – Aufzeichnungen tatsächlich identifiziert werden (siehe Anlage V0). Dem entsprechend sind die Ankerwurfpositionen im VTG auf Basis des Ergebnisses der SES – Vermessung neu geplant worden.
(siehe Anlage 3V).

Abbildung 7 zeigt beispielhaft eine SES – Profillinie aus dem Untersuchungsgebiet VTG in welchem die schräg im Seeboden verlaufenden Sedimentstrukturen zu sehen sind. Diese repräsentieren die in der Veranlassung zu diesen Untersuchungen (siehe 1) genannten „Auffaltungen“ von Böden hoher Scherfestigkeit, die die Kabelverlegung in diesen Bereichen laut Tennet so aufwändig macht.

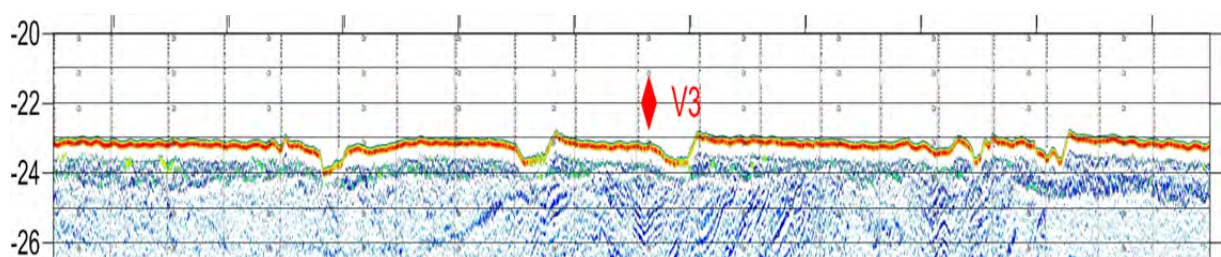


Abbildung 7: SES – Profillinie mit markierter Ankerwurfposition (V3)

4.5 Vermessung der Ankerspuren

Um die Wirkung der Versuchsanker, insbesondere die Eindringung in den Seeboden zu untersuchen, sind – wie bereits dargestellt - verschiedene Vermessungssysteme (SES, SSS und MBES) eingesetzt worden. Hierbei ist grundsätzlich zwischen einer flächenhaften und einer linienhaften Aufnahme zu unterscheiden. Durch die fächerhafte Sende- / Empfangsgeometrie sind flächenhaften Verfahren wie MBES und SSS in der Lage einen breiteren Streifen des Seebodens mit einem Messzyklus akustisch zu erfassen. Aufgrund der hydroakustischen Randbedingungen als Funktion von Sendeleistung und Wellenlänge sind diese Systeme allerdings nicht in der Lage in den Seeboden einzudringen, um Informationen über den Aufbau der Sedimente oder über Störkörper in den oberen Bodenschichten zu gewinnen. Auch die komplexen, akustischen Brechungsbedingungen würden eine sinnvolle Interpretation von schräg im Seeboden verlaufenden Signalen nicht zulassen. Fächerhaft arbeitende Systeme sind also ausschließlich in der Lage Informationen über die Oberflächenstruktur des Seebodens zu liefern.

Eine wesentliche Anforderung bei der Vermessung der Ankerspuren war es jedoch, die tiefste feststellbare Wirkung des Ankers im Seeboden zu detektieren. Diese muss nicht zwangsläufig als offene Oberflächenstruktur, z.B. als Graben vorliegen, sondern kann durch Sedimente bedeckt im Seeboden auftreten. Der „tiefste Wirkpunkt“ des Ankers lässt sich somit nur mit einem Verfahren ermitteln, welches in der Lage ist, in den Seeboden einzudringen und Schichten und Störungen im Sedimentaufbau zu detektieren. Für diesen Zweck ist das SES eingesetzt worden.

4.5.1 Sedimentecholot SES

Das SES ist ein linienhaft arbeitendes Vermessungssystem, welches entlang einer Profillinie (entspricht dem gefahrenem Schiffskurs) mit hoher Pulsfolge akustische Signale sendet und empfängt. Hierbei wird nicht nur die Wassertiefe erfasst (entspricht der Grenzschicht Wasser - Boden) sondern es werden zusätzlich die Schallreflexionen aus den tieferen Schichten des Seebodens aufgezeichnet. Hierdurch können konsolidierte Sedimentschichten, Störungen im Sedimentaufbau oder auch verdeckte Hindernisse kartiert werden. Die verdeckte Spur eines Ankers kann hierbei als „Störung im Sedimentaufbau“ aufgefasst und identifiziert werden.

Die hohe Energie, die erforderlich ist, um eine Eindringung in den Seeboden zu erreichen, ist nur mit tiefen Frequenzen ($< \text{ca. } 15 \text{ Khz}$, je nach Boden) zu erzielen. Diese lassen sich jedoch nicht bündeln, was bedeutet, dass diese nur in einem großen Öffnungswinkel abgestrahlt werden können und somit eine schlechte räumliche Auflösung („großer“ footprint) liefern. Darüber hinaus gibt es andere akustische Effekte (ohne weitere Erläuterung: Nebenkeulen und das sogenannte „Ringing“) die den Einsatz tiefer - den Boden durchdringenden - Frequenzen für kleinräumige, hoch auflösende Flachwasseranwendungen (z.B. Ankerzugspuren) nicht geeignet erscheinen lassen. Die Lösung liefert die sogenannte „parametrische Akustik“, bei der durch die Differenzfrequenz zweier relativ eng beieinander liegender

akustischer Frequenzen ein parametrisches Signal tiefer Frequenz erzeugt wird. Hierdurch gelingt es ein eng gebündeltes, tief- frequentes akustisches Signal mit hoher räumlicher Auflösung zu erzeugen, welches in der Lage ist, in die oberen Sedimentschichten des Seebodens einzudringen und diese zu kartieren. Die Tiefe der Eindringung ist von vielen Parametern abhängig. Zu nennen sind beispielsweise die Wassertiefe, die Sedimentzusammensetzung, Lagerungsdichte und der Gas- / Luftanteil im Boden.

Für die Vermessung der Ankerspuren ist ein parametrisches Flachwassersedimentecholot des Typs Innomar SES 2000 Standard eingesetzt worden mit den wesentlichen Kenndaten:

- Sehr kleiner Öffnungswinkel von $< +/- 2^\circ$
d.h. kleine beschallte Fläche auf dem Seeboden (footprint), gute horizontale Auflösung
- Kurze Pulslänge
d.h. hohe vertikale Auflösung von bis 6 cm (je nach gewählter Frequenz und Pulslänge)
- Hohe Pulsrate, bei den hier vorliegenden Wassertiefen ca. 16 bis 22 Pulse / Sekunde
- Frei wählbare tiefe (Sekundär-)Frequenz in Stufen zwischen 4 und 15 Khz
im Rahmen dieser Untersuchungen verwendet:
8 KHz (2 Schwingungen) für die Basisvermessung
10 KHz (2 Schwingungen) für die Ankerspurvermessung
- Primärfrequenz ca. 100 Khz
- Aktive Beamstabilisierung

4.5.2 Side Scan Sonar

Wie unter 4.5 dargestellt ist das Side Scan Sonar (SSS) ein flächenhaftes Verfahren, welches in einem quer zur Fahrtrichtung des Schiffes orientierten Fächer die Oberflächenstrukturen und - texturen des Seebodens aufzeichnet. Exakte Tiefeninformationen (wie bei einem MBES) lassen sich den Aufzeichnungen eines SSS im Regelfall nicht zuordnen.

Das auf dem VWFS Wega installierte SSS wurde verwendet, um die durch den Ankerzug im Seeboden erzeugte Spur zu visualisieren. Diese Aufzeichnungen dienten dann als Planungsgrundlage für die SES – Vermessung der Ankerspur.

Das eingesetzte Side Scan Sonar vom Typ Edgetech MPX 4300 ist fest in die Vermessungsanlage auf dem VWFS Wega eingebaut. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurde eine Ultraschallfrequenz von 410 KHz bei einer Streifenbreite von 75 m eingestellt.

4.6 Ablauf der Ankerspurvermessung mit SES und SSS, bzw. MBES

Nach Beendigung des Ankerzuges auf der vorgesehenen Wurfposition sind zunächst zwei parallele Profillinien mit SSS – Aufzeichnung entlang der vermuteten Ankerspur gefahren

worden. Da die Abbildungseigenschaften in der Mitte der Sonarfächer in der Regel am günstigsten sind, sind die Parallelprofile so versetzt gefahren worden, dass die Ankerspur sich jeweils einmal deutlich im backbord-seitigen Sonarfächer und einmal im steuerbord-seitigen Fächer abbildet. Die Sonarbilder sind an Bord des VWFS *Wega* mit dem installierten Vermessungssystem prozessiert worden, so dass die Ankerwurfposition sowie die Endlage des Ankers nach dem Ankerzug koordinatenmäßig bestimmt werden konnten. Diese Punkte dienten als Basislinie für die Vermessung der Ankereindringtiefe mit SES.

Die Vermessung der Ankerspur mit SES erfolgte dann quer zur Richtung des Ankerzuges, mit möglichst geringem Profilabstand. Je nach Länge des Ankerzuges und den Manövrierbedingungen (z.B. Strömung) sind so zwischen 2 und 12 Querungen einer Ankerspur zustande gekommen. Abbildung 8 zeigt schematisch die Kombination einer SSS - Aufnahme mit der SES – Vermessung.

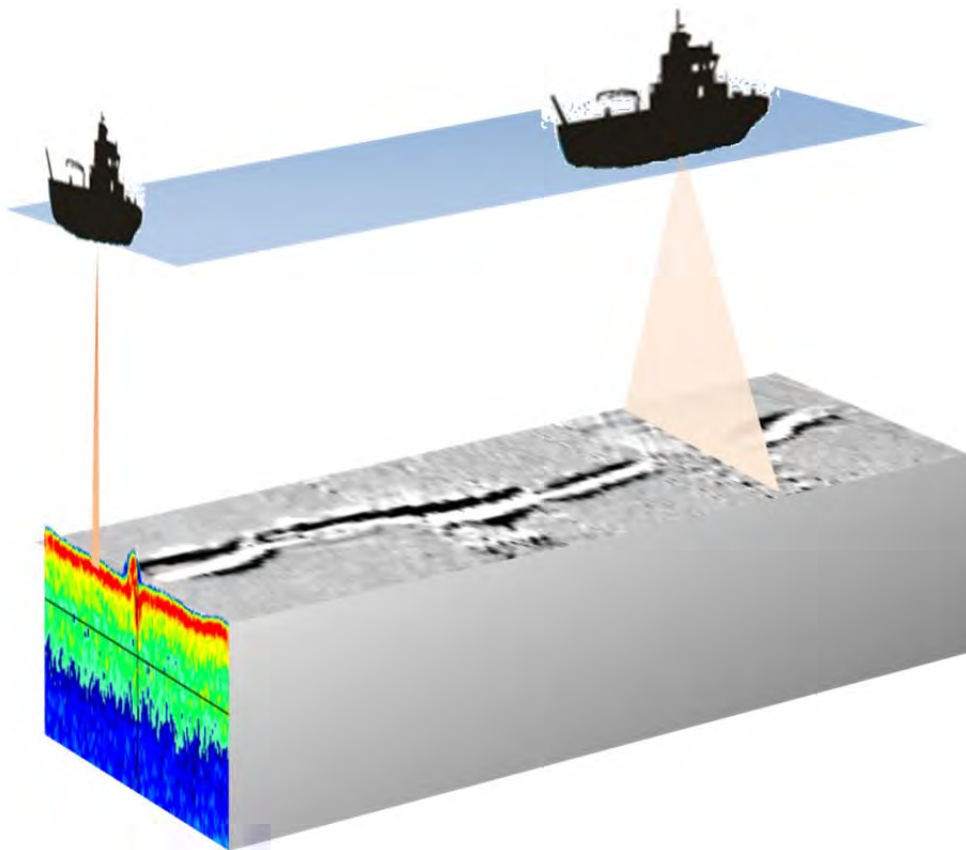


Abbildung 8: schematische Darstellung der Kombination aus SES - und SSS - Vermessung

Die Vermessung der Ankerspuren wurde für mehrere Ankerzüge gebündelt, so dass mehrere Ankerspuren mit einer Profillinie überfahren werden konnten. Abbildung 9 zeigt die Sonaraufnahme einer Ankerspur mit der Wurfposition und der Endposition des Zuges (rote Raute), sowie den quer zur Ankerspur verlaufenden SES – Profilen.

Der zeitliche Versatz zwischen Ankerzug und Vermessung der Ankerspur betrug nicht mehr als einen Tag (siehe zeitlicher Ablauf in Anlage 1).

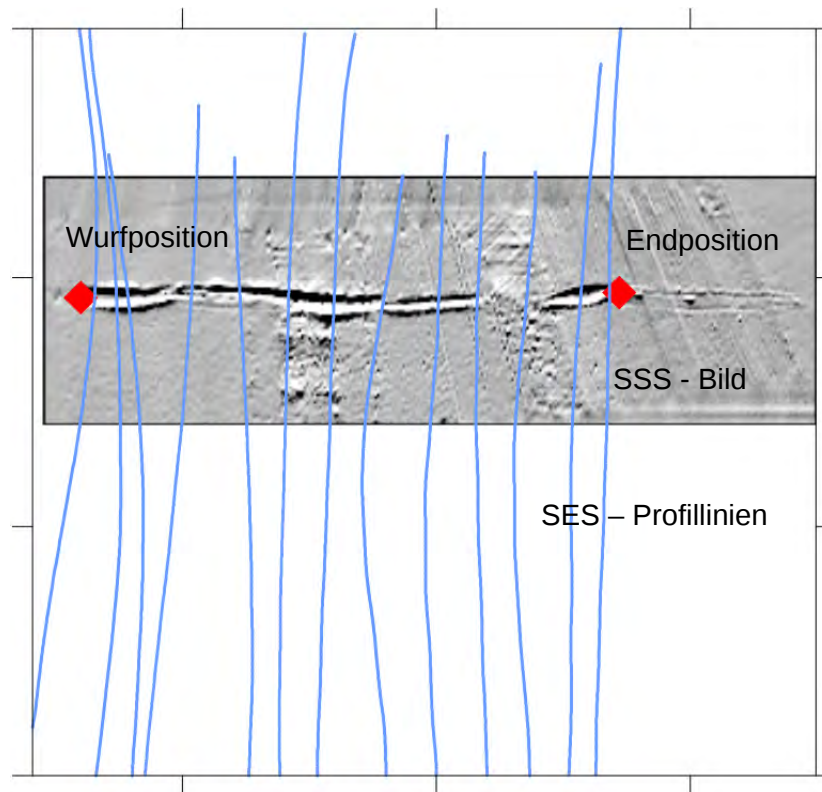


Abbildung 9: SES – Profillinien (blau) und SSS – Bild einer Ankerspurvermessung

5 Auswertung

Jede Ankerzugspur ist mit jeweils 2 parallelen SSS-Aufnahmen sowie mehreren (2-12) quer dazu liegenden Überfahrten mit SES vermessen worden. Die SSS – Darstellung ist bereits an Bord des VWFS Wega ausgewertet worden. Hierfür ist in der Vermessungsanlage die Sonarprozessing - Software SonarWiz (Chesapeak Technologies) installiert. Das Prozessing besteht im Wesentlichen aus einer Entzerrung und einem eventuellen Zusammenfügen (Mosaicing) der Sonarbilder. Vor Ort dienten die Aufnahmen der Festlegung der Ankerwurf- und Endpositionen (Abbildung 9). In einem weiteren Schritt wurden die Sonarbilder in georeferenzierte TIF – Bilder (GeoTIF) exportiert und dienen im weiteren der Darstellung der Oberflächenstruktur der von dem gezogenen Anker auf dem Seeboden erzeugten Spur². Das

² Wegen technischer Probleme beim Export georeferenzierter TIF – Bilder mit der Software SonarWiz sind für die Darstellung in diesem Bericht (z.B. Anlage N1-6, S1-S6 und V1-V6) teilweise auch die MBES – Aufnahmen der Guardian in einer sogenannten „shaded relief Darstellung“ verwendet worden. Diese Bilder zeigen eine den SSS – Aufnahmen sehr ähnliche Darstellung. Wegen der Softwareprobleme haben die Abbildungen in den genannten Anlagen auch nicht die Qualität erreicht, wie in der Echtzeitdarstellung an Bord des VWFS Wega während der Vermessung.

Muster der Oberflächenstruktur ist bei allen Ankerzügen sehr ähnlich: Einem mittigen „Graben“ (durch den Ankerstock) und zwei seitlich links und rechts verlaufenden „Wällen“ aus Sediment welche durch die Ankerfluken aufgeschoben werden (Abbildung 9). Wie unter 4.5 dargestellt lässt die Analyse der Oberflächenstruktur allerdings keinen Schluss über die maximale Eindringtiefe des Ankers zu. Die maximale Eindringung des Ankers entsteht im Regelfall nämlich nicht durch den Stock und damit in dem mittig verlaufenden Graben, sondern durch die Wirkung der Ankerfluken, die verdeckt unterhalb der beschriebenen „Wälle“ liegen.

5.1 Bearbeitung der SES – Daten

Die maximale Eindringung des Ankers wurde aus den quer zur Ankerspur verlaufenden SES – Profilen ermittelt. Für die Auswertung wurde die zu dem eingesetzten System SES 2000 Standard (Innomar Technologie GmbH) mitgelieferte Auswertesoftware ISE verwendet. Die SES – Profilmfahrten wurden in einem ersten Schritt gesichtet und bewertet. In allen Profilmfahrten war die Wirkung des Ankers im Seeboden zu identifizieren.

Abbildung 10 zeigt ein Beispiel für ein SES – Profil, welches 2 Ankerspuren gekreuzt hat. Die ISE-Software bietet zwei verschiedene Echogramm-Darstellungen. Bei der "AMP" Darstellung wird der Betrag der Amplitude des demodulierten Empfangssignals (Einhüllende) farblich dargestellt (Abbildung 10 unten). Bei der "1P" Darstellung werden positive Änderungen der Amplitude des demodulierten Empfangssignals (Gradient der Einhüllenden) farblich dargestellt. Diese Darstellung hebt Impedanzsprünge und damit Sedimentschichten hervor (Abbildung 10 oben). Die relativ kleinen Reflektoren der Ankerspuren sind in der "AMP" Darstellung besser erkennbar, daher wurde für die folgenden Auswertungen ausschließlich diese Darstellung gewählt.

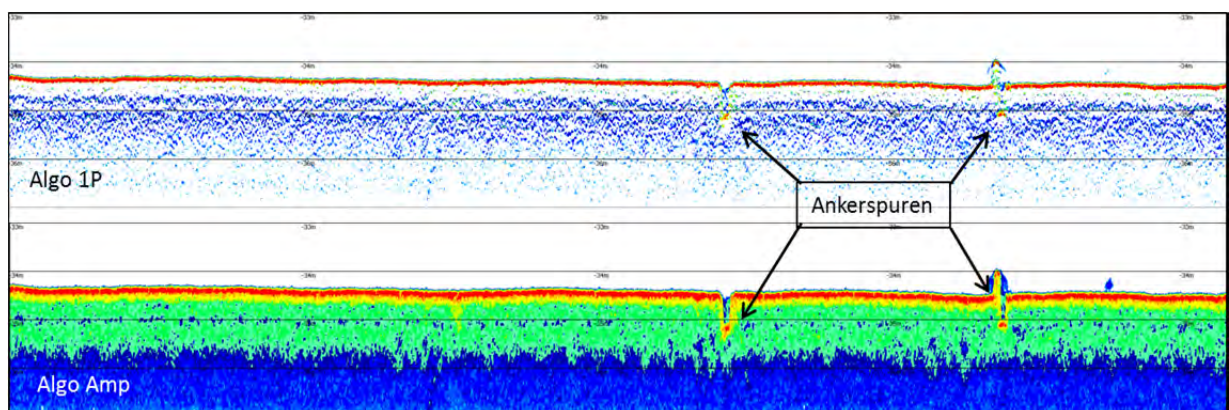


Abbildung 10: Darstellung eines SES – Profils in der Algo 1P – Darstellung (oben) und in der Algo Amp Darstellung (unten)

Vor der Ermittlung der Ankereindringtiefe sind die SES – Rohdaten zunächst um einige messbedingte Einflüsse korrigiert, bzw. interpoliert worden.

Ohne weitere Erläuterungen waren dies:

- a. Filtern der Positionsdaten (grobe Ausreißer und Positionssprünge)
- b. Interpolation der Positionsdaten auf die „Ping“-Zeitpunkte (exakte Synchronisierung von Echolot- und Positionsdaten)
- c. Digitalisieren der Wassertiefe (Bodenerkennung)
- d. Anwendung eines Schwellfilters
- e. Reduzierung des Wassersäulen-Rauschens
- f. Tidekorrektur (nur bei Basisvermessungen in den Untersuchungsgebieten relevant)

Die so bereinigten SES – Rohdaten standen so für eine Analyse der Ankereindringtiefe bereit.

5.2 Analyse der Ankereindringtiefe

Ziel der Analyse der SES - Daten war es, die „tiefste Wirkung des Ankers im Seeboden“ festzustellen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein Anker, der über den, bzw. im Seeboden gezogen wird örtlich durch Auflockerung, Verdichtung und Umlagerung von Sedimenten eine Veränderung des Seebodens verursacht. Diese örtliche Veränderung des ursprünglich homogenen Bodenaufbaus wird dann durch einen Amplitudensprung im akustischen Signal detektiert und lässt sich als Tiefenwert digitalisieren. Als Bezugshorizont für diesen Tiefenwert wurde das Niveau des „ungestörten Seebodens“ festgelegt, also das Niveau des Seebodens VOR der Durchführung des Ankerzuges an derselben Stelle. Das Niveau des ungestörten Seebodens wurde hierbei durch eine nachträgliche Digitalisierung des angenommenen Seebodenprofils ohne die Einwirkung des Ankers festgelegt, indem der ungestörte Sohlhorizont beidseits der Ankerspur durch lineare Interpolation auf die Ankerspur berechnet wurde.

Somit ergibt sich folgende Definition der Ankereindringtiefe:

Als Ankereindringtiefe wird die vertikale Entfernung des Punktes mit der tiefsten feststellbaren Wirkung im Seeboden zum Niveau des als „ungestört“ geltenden Seebodens an derselben Stelle VOR der Durchführung des Ankerzuges definiert.

Abbildung 11 a bis d verdeutlicht das Vorgehen bei der Auswertung mit der Software ISE:

- a. Digitalisierung der Wassertiefe (Grenzschicht Wasser – Boden), automatischer Algorithmus in ISE. → schwarze Linie in Abbildung 11a
- b. Identifizieren der Ankerspuren (N1 / N2 in Abbildung 11a)
- c. Manuelles Digitalisieren des angenommenen Verlaufs des „ungestörten Seebodens“ im Bereich der Ankerspuren (pinke Linie in Abbildung 11b)

- d. Verwerfen der ursprünglichen Digitalisierung (Schritt a.). → das angenommene Niveau des ungestörten Seebodens verläuft durch die Ankerspuren (Abbildung 11c).
- e. Digitalisieren der tiefsten feststellbaren Wirkung des Ankers im Seeboden (N1 und N2 in Abbildung 11d)
- f. Berechnung der vertikalen Distanz zwischen dem Niveau des ungestörten Seebodens (Abbildung 11c.) zum Punkt der tiefsten feststellbaren Wirkung (Abbildung 11d.) = Ankereindringtiefe. Das Ergebnis wird mit Hilfe der Targetpicker – Toolbox in der ISE-Software berechnet.

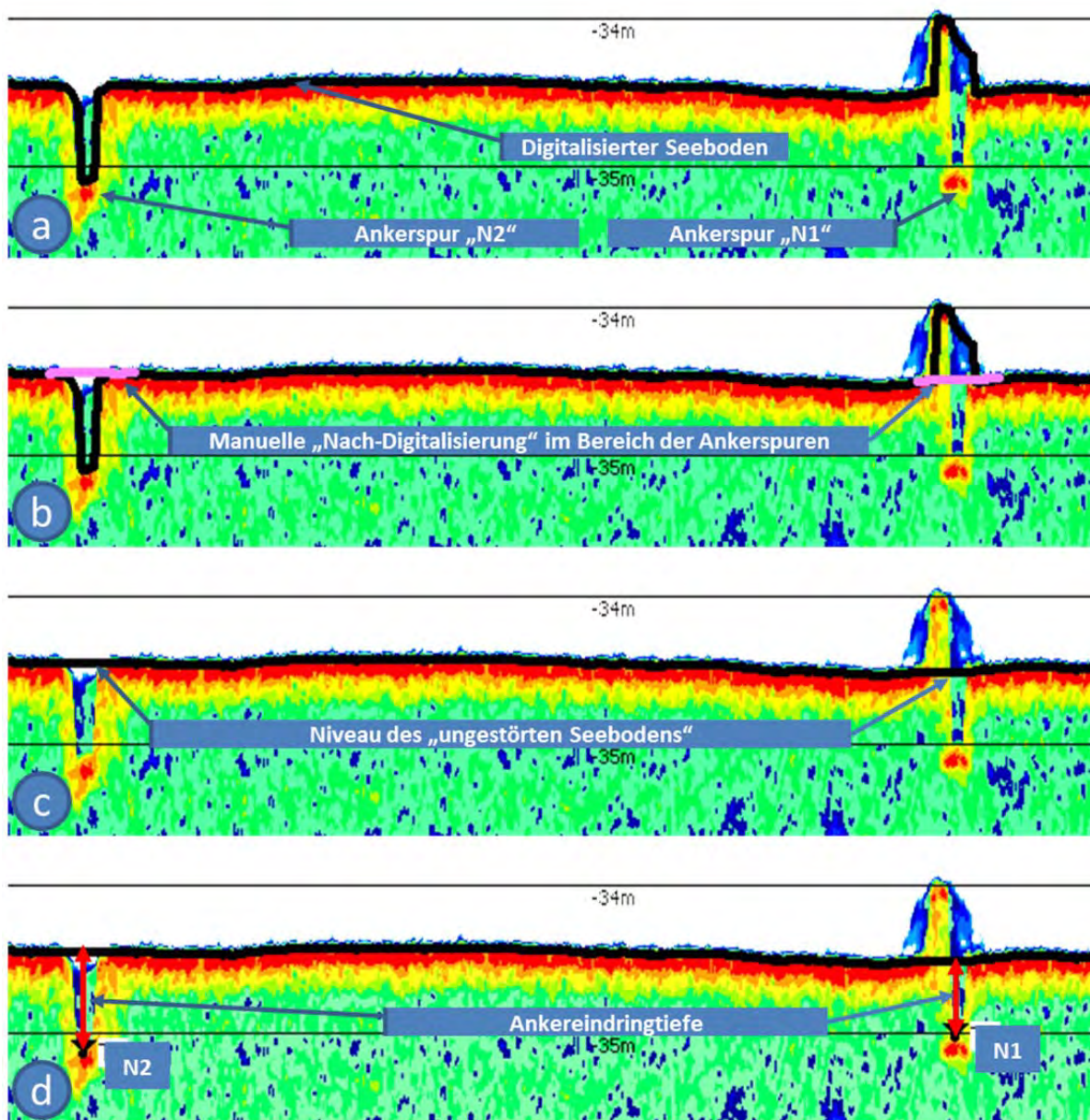


Abbildung 11: Ermittlung der Ankereindringtiefe aus SES - Profilen

Entscheidend bei der manuellen Digitalisierung des Niveaus des „ungestörten Seebodens“ (Schritt c.) sowie des „tiefsten Wirkpunktes“ (Schritt e.) ist es, die manuelle Digitalisierung immer an derselben Stelle der Signalamplitude durchzuführen. Üblich bei hydrographischen Vermessungen ist hier ein Wert von ca. 20-30% der ansteigenden Flanke. Abbildung 12 verdeutlicht die Zusammenhänge und zeigt a. die manuelle Digitalisierung des Seeboden und b. des tiefsten Wirkpunktes jeweils auf der ansteigenden Flanke der Amplitude. Die Differenz aus beiden Punkten ergibt dann die Ankereindringtiefe.

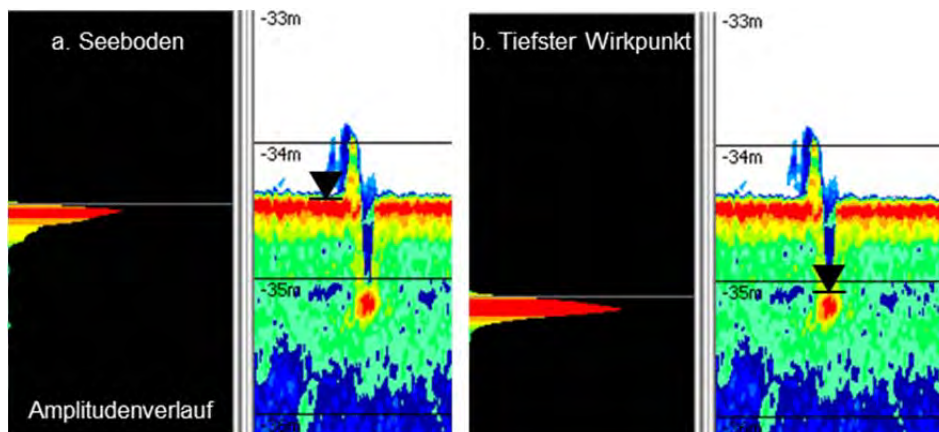


Abbildung 12: Digitalisierung von SES - Signalamplituden

In der dargestellten Weise sind alle detektieren Ankerspuren ausgewertet worden. Dadurch, dass als ergänzende Information die Oberflächenaufnahmen der Ankerspuren aus der SSS – Vermessung vorlagen und die Identifizierung der Ankerwirkung im Seeboden sicher möglich war, ist das gewählte Verfahren als robust und belastbar zu bewerten.

5.2.1 Fehlerbetrachtung

Bei der Abschätzung der Unsicherheit in der Festlegung der Ankereindringtiefe kommen im Wesentlichen zwei Fehlerquellen in Betracht:

- a. Ungenauigkeiten, bzw. individuelle Abweichungen bei der Digitalisierung („human factor“):
 - i. des ungestörten Seebodens
 - ii. des „tiefsten Wirkpunktes“

Die Festlegung des „tiefsten Wirkpunktes“ und der Niveaulinie des „ungestörten Seebodens“ erfolgt manuell im Auswerteprogramm ISE. Wiederholungsversuche und Versuche mit verschiedenen Bearbeitern haben gezeigt, dass eine Digitalisierung in der Algo-AMP- Darstellung (Abbildung 12) mit ca. $\pm 2-3$ cm möglich ist.

- b. Fehler aufgrund veränderter Schallgeschwindigkeit im Sediment
Da die Echolotung (wie mit einem SES) im Prinzip eine Laufzeitmessung ist, muss

die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallsignale bekannt sein, um Tiefen zu bestimmen. Die Schallgeschwindigkeit im Wasser lässt sich mit entsprechenden Sensoren sicher bestimmen. Dringen die Signale jedoch in den Seeboden ein, gilt eine abweichende Schallgeschwindigkeit, die abhängig von der Beschaffenheit der Sedimente ist. Die Ankereindringtiefe wird als Differenz eines Signals von der Seebodenoberfläche zu einem Punkt (tiefster Wirkpunkt) bestimmt, der zumindest teilweise mit Sedimenten überdeckt sein kann. Hier ist die Schallgeschwindigkeit nicht genau bekannt und geht als Fehler in die Differenzbestimmung ein.

Für die Bestimmung der Wassertiefe (Seebodenoberfläche) gilt die Schallgeschwindigkeit durchs Wasser. Diese beträgt im Untersuchungsgebiet ca. 1470 m/s.

Die Schallgeschwindigkeit im Sediment kann nicht exakt gemessen werden, kann aber mit 1500 (leicht konsolidiert) bis 1600 m/s (fester konsolidiert) abgeschätzt werden. Tiefen mit einer zu gering angenommenen Schallgeschwindigkeit enthalten für obige Verhältnisse einen Tiefenfehler in der Größenordnung von 2 – 8 %. Bei maximalen Ankereindringtiefen von < 1m beträgt der Fehler demzufolge maximal ca.

8 cm. Da die Schallgeschwindigkeit im Sediment immer höher ist, als im Wasser, werden die gemessenen (Ankereindring-)Tiefen im Sediment zu gering ermittelt.

Anmerkung: Bei dem abgeleiteten Fehler von 8 cm handelt es sich um einen Maximal-Wert bei 1 Meter Ankereindringtiefe und komplett mit konsolidiertem Sand überlagerter Ankerspur. Die tatsächlichen Verhältnisse waren überwiegend jedoch deutlich günstiger anzunehmen. Aufgrund der sicherheitsrelevanten Fragestellung ist jedoch dieser Maximalwert für die Fehlerbetrachtung im Folgenden angesetzt worden.

Bei einer Gesamt – Fehlerbetrachtung ergibt sich somit eine maximale Unsicherheit von ca. 11 cm bei der Bestimmung der Ankereindringtiefe.

Zu beachten ist, dass für die Ermittlung der tatsächlichen Ankereindringtiefen diese 11cm zu den gemessenen Ankereindringtiefen hinzuaddiert werden müssen. Dadurch ergibt sich eine auf der sicheren Seite liegende „rechnerische“ Ankereindringtiefe, d.h. die tatsächliche Ankereindringtiefe wird höchstwahrscheinlich nie größer als die rechnerische Ankereindringtiefe gewesen sein.

6 Ergebnisse

Eine detaillierte Einzeldarstellung aller Ankerzugversuche findet sich in folgenden Anlagen:

Untersuchungsgebiet	Anlagennummer = Ankerwurfposition
BSH Nord	N1 – N6 (ohne N4)
BSH Süd	S1 – S6
VTG	V1 – V6

Diese Anlagen bilden quasi das Kernstück der Auswertung der Ankerzugversuche. Hinsichtlich der gemessenen Ankereindringtiefe ist jeder der 17 ausgewerteten Zugversuche in seinen wesentlichen Kenngrößen dokumentiert.

Abbildung 13 zeigt ein verkleinertes, erläutertes Beispiel der Position V1.

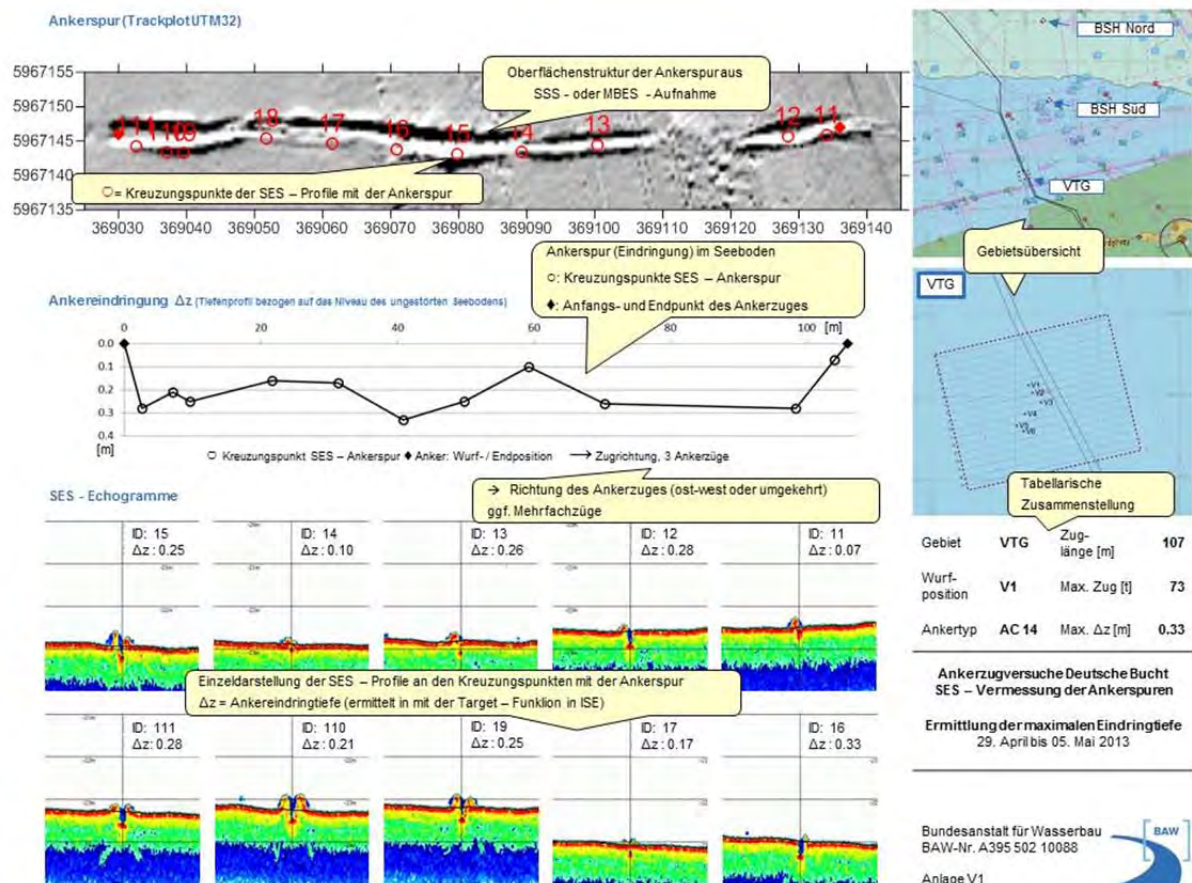


Abbildung 13: Erläuterung der Anlagen N1-6, S1-6 und V1-6

Die Koordinaten der Untersuchungsgebiete, die Ankerwurfpositionen sowie die Anfangs- und Endpunkte der ausgewerteten Ankerzüge sind in Anlage „2N, 2S, 2V (Koordinatenverzeichnis und Gebietsübersicht) dokumentiert.

Abbildung 14 bis Abbildung 16 (auch Anlagen 4N, 4S, 4V) zeigen die Spur des Ankers im Seeboden aus den Einzeldarstellungen der Ankerzüge (Anlage S1-6, N1-N6 und V1-V6) für jedes der drei Untersuchungsgebiete noch einmal zusammengefasst. Hierbei markiert „0“ immer den Startpunkt des Ankerzuges (schwarze Raute) und die zweite schwarze Raute das Ende des Zuges. Die Kreise markieren die Kreuzungspunkte mit dem SES – Profil, an denen eine Ankereindringtiefe ermittelt wurde. Die Verbindung dieser Punkte ergibt dann die Ankerspur im Seeboden, wobei der Start- und der Endpunkt „per Definition“ auf „0“ gesetzt wurden – d.h. der Anker liegt zu Beginn und zum Ende des Zuges auf dem Seeboden.

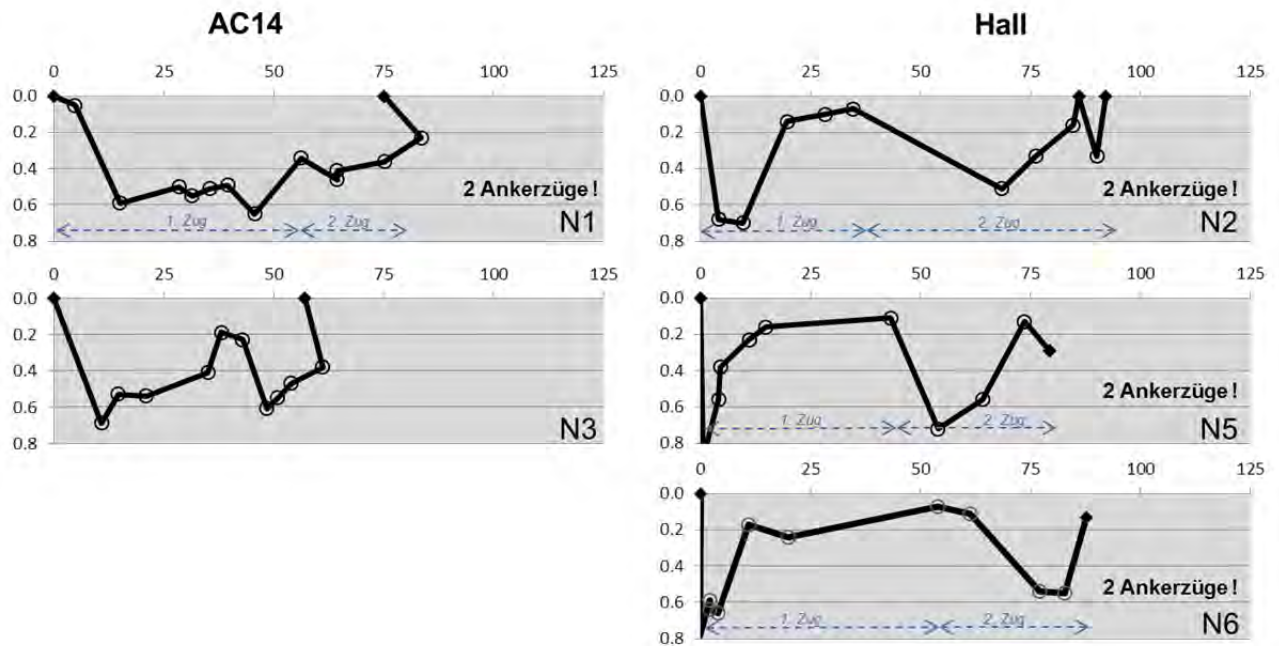


Abbildung 14: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet BSH Nord

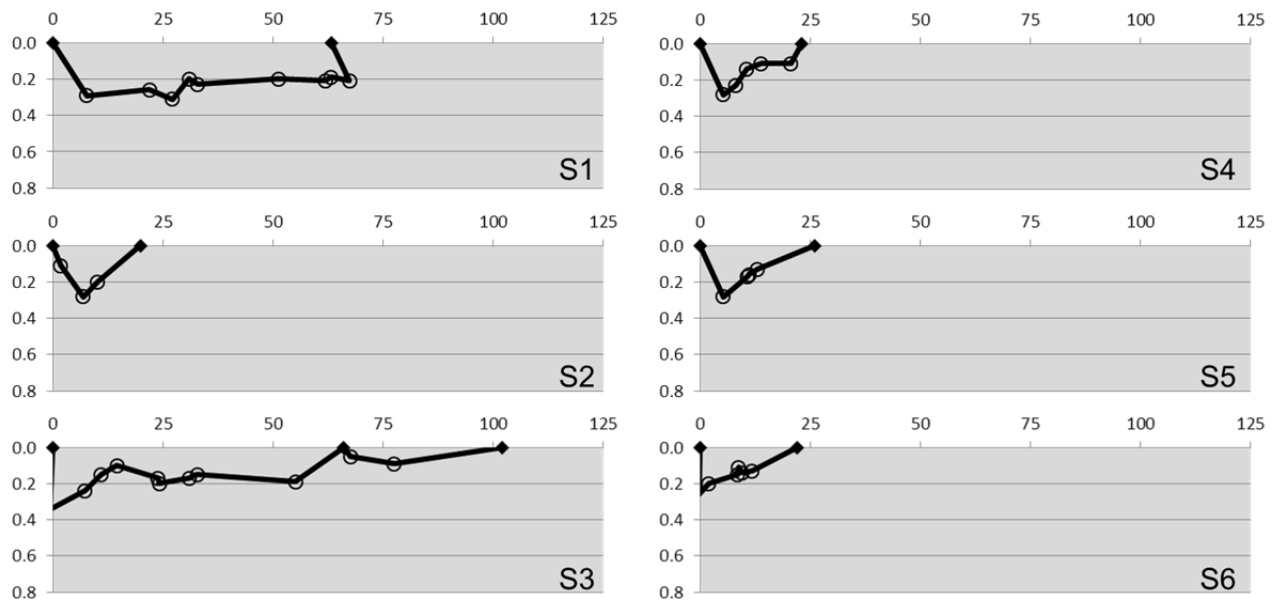


Abbildung 15: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet BSH Süd

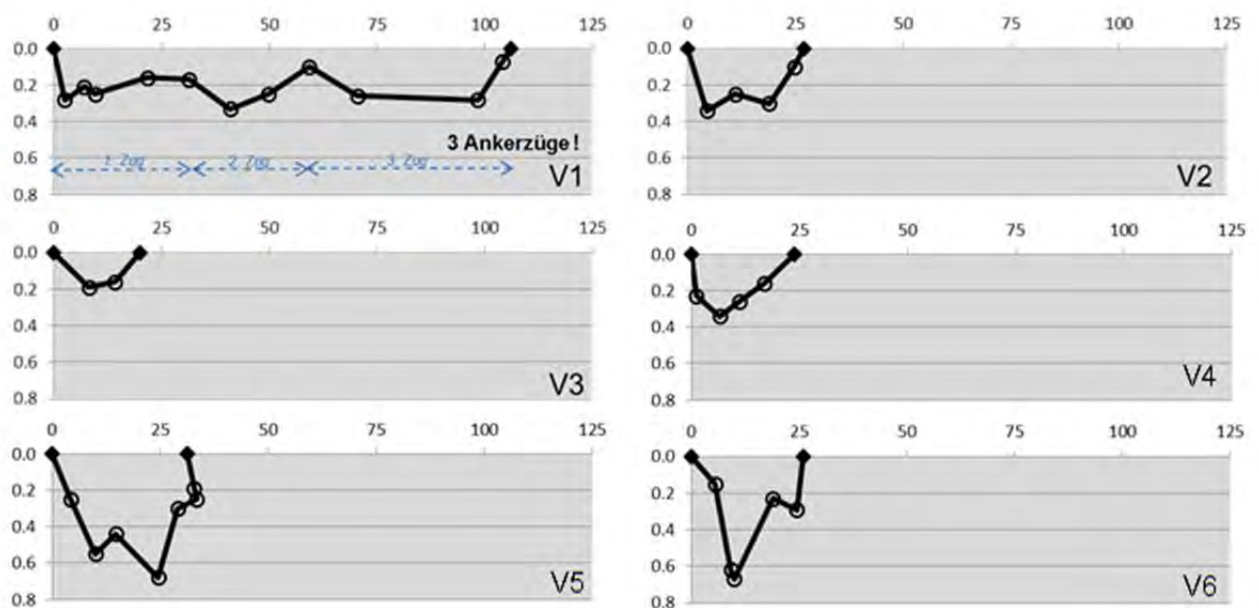


Abbildung 16: Zusammenstellung aller Ankerspuren (Tiefenprofil) im Untersuchungsgebiet VTG

Die Länge des Ankerzuges als Differenz zwischen dem im Sonarbild identifizierten Abwurf-punkt des Ankers und dem Endpunkt des Ankerzuges stellt sich in den drei Untersuchungs-gebieten unterschiedlich dar. Zunächst muss man die Ankerzüge gesondert betrachten, in denen aus den in 4.2 erläuterten Gründen der Anker zweimal (N1,N2,N5,N6) bzw. dreimal (V1) gezogen wurde. Die Länge der Einzelzüge lässt sich hier aus den SES – Aufzeichnun-

gen nicht genau bestimmen, sondern kann aus dem Bild der Ankerspur (Abbildung 14 - Abbildung 16, bzw. Anlagen 4N, 4S, 4V) nur abgeschätzt werden (blaue Markierung). Betrachtet man nun die Zugspuren (unter Berücksichtigung der Mehrfachzüge, s.o.) so ergibt sich für die beiden betrachteten Anker ein unterschiedliches Bild: Die Ankerzüge mit dem Hall-Anker erzeugen in den jeweils 3 Versuchen pro Untersuchungsgebiet ein sehr ähnliches Zugbild, sowohl bei der Eindringtiefe, als auch in der Länge des Ankerzuges. So wurde bei den Ankerzügen mit dem Hall - Anker in den Untersuchungsbioten mit fester gelagerten Sedimenten (BSH Süd und VTG) schon nach ca. 25m das Abbruchkriterium erreicht (Zugkraft > 80 t oder Anker bricht aus, siehe Messkonzept). Im Untersuchungsgebiet BSH Nord wurden mit dem Hall – Anker auf allen drei Wurfpositionen 2 Zugversuche durchgeführt. Hier sieht der Verlauf der Ankerspur im Seeboden sehr ähnlich aus.

Die Zuglänge der Ankerspuren des HHP AC14 – Anker verhalten sich nicht ganz so gleichmäßig wie die des hall - Ankers, insbesondere im Untersuchungsgebiet BSH Süd. Hier variiert die Zuglänge von 25 bis 100 m. Im Untersuchungsgebiet VTG waren auf der Position V1 3 Züge erforderlich (Gesamtlänge 100m), um den Ankerzug so abzuschließen, dass seitens der Schiffsführung der *Esvagt Connector* der Eindruck eines ordnungsgemäßen Versuchs entstanden ist (max. Zugkraft erreicht).

Hinsichtlich der zu untersuchenden Ankereindringtiefe liefern allerdings alle ausgewerteten Ankerzugversuche ein eindeutiges Ergebnis.

Dieses Ergebnis ist in Tabelle 4 bis Tabelle 6 für die drei Untersuchungsgebiete zahlenmäßig zusammen gestellt. Neben der gemessenen Ankereindringtiefe (Max. Δz) sind die weiteren Kenngrößen Zuglänge (s.o.) und max. Zug aufgeführt.

Der max. Zug stammt hierbei aus den Aufzeichnungen des Zugaufnehmers (load cell) der *Esvagt Connector*.

Position	Ankertyp	Zuglänge	Max. Zug	Max. Δz	Bemerkungen
		[m]	[t]	[m]	
N1	AC14	67 (52+12)	62	0.65	2 Ankerzüge
N2	Hall	92 (35+57)	64	0.70	2 Ankerzüge
N3	AC14	57	82	0.69	
N5	Hall	87 (45+42)	58	0.88	2 Ankerzüge
N6	Hall	92 (55+37)	65	0.78	2 Ankerzüge

Tabelle 4: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet BSH Nord

Position	Ankertyp	Zuglänge	Max. Zug	Max. Δz	Bemerkungen
		[m]	[t]	[m]	
S1	AC14	63	86	0.33	
S2	AC14	20	95	0.28	
S3	AC14	102	64	0.34	
S4	Hall	23	76	0.28	
S5	Hall	27	72	0.28	
S6	Hall	22	80	0.26	

Tabelle 5: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet BSH Süd

Position	Ankertyp	Zuglänge	Max. Zug	Max. Δz	Bemerkungen
		[m]	[t]	[m]	
V1	AC14	107 (30+30+47)	73	0.33	3 Ankerzüge
V2	Hall	27	75	0.34	
V3	AC14	20	78	0.19	
V4	Hall	24	79	0.26	
V5	AC14	31	80	0.67	
V6	Hall	26	80	0.67	

Tabelle 6: Kenngrößen der durchgeführten Ankerzüge im Untersuchungsgebiet VTG

Die maximale gemessene Eindringtiefe aller durchgeführten Zugversuche ist für den Hall - Anker mit 0.88 m auf Position N5 im Gebiet BSH Nord festgestellt worden. In dem für das angestrebte Genehmigungsverfahren relevanten Untersuchungsgebiet VTG beträgt die maximal festgestellte gemessene Eindringtiefe 0.68 m mit dem HHP AC14 – Anker. Berücksichtigt man die in der Fehlerbetrachtung (5.2.1) abgeleitete Unsicherheit von 0.11m und schlägt diese den gemessenen Werten zu, lassen sich die vorgestellten Untersuchungsergebnisse wie folgt zusammenfassen:

Bei keinem der durchgeführten Ankerzüge ist mit der vorgestellten Methode eine Eindringtiefe des Ankers von mehr als 1 Meter festgestellt worden. Im Verkehrstrennungsgebiet (VTG) liegt dieser Wert sogar nur bei knapp 0.8 m.

7 Diskussion und Ausblick

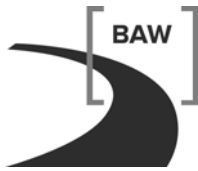
Aufgrund des Umfangs der Untersuchungen, der präzisen Vorplanungen und disziplinierten Durchführung der Versuche leisten die erhobenen Messdaten einen wichtigen Beitrag zur Beurteilung der möglichen Ankereindringtiefen und die Wechselwirkung mit dem Seeboden in dem betrachteten Gebiet. Derartig aufwändige und detaillierte Feldversuche sind bisher nicht bekannt und ermöglichen eine weitere, auch wissenschaftliche Bewertung der Ergebnisse. Ziel dieses Berichtes war es jedoch zunächst, die maximal feststellbare Wirtktiefe des Ankers im Seeboden mit Hilfe einer hoch auflösenden SES – Vermessung der Ankerspur zu untersuchen und zu dokumentieren.

Die Qualität der erzielten Messergebnisse ist als sehr gut zu bewerten. Hierfür sind maßgeblich folgende Gründe zu nennen:

- Professionelle Arbeitsumgebung auf der VWFS Wega
- Auf kleinräumige Such- und Vermessungsaufgaben spezialisierte Besatzung, insbesondere Schiffsführung
- Einsatz einer für die untersuchte Fragestellung sehr gut geeigneten Geräteausstattung, insbesondere der Einsatz des Sedimentecholotes SES2000 Standard hat die Erwartungen voll erfüllt.
- Gute Integration des gesamten hydrographischen Messsystems, also SSS, SES, die Schiffsbewegungs- und positionierungssensoren sowie die dazugehörige Software.

Auf Basis dieser guten Messergebnisse konnte mit den dargestellten Auswertetechniken, insbesondere der SES – Auswertesoftware ISE eine sichere Detektion und Festlegung der Ankerspuren im Seeboden erreicht werden. Die erzielten Ergebnisse sind somit als robust und belastbar zu bewerten.

Über die im Rahmen dieses Berichtes behandelte Fragestellung der Eindringtiefe von Ankern hinaus bietet der Umfang der Untersuchungen eine gute Grundlage für die weitergehende wissenschaftliche Analyse und Bewertung. Eine solche Verwendung ist in Kooperation mit den beteiligten oder weiteren Institutionen anzustreben.



Bundesanstalt für Wasserbau
Hamburg, August 2013

Im Auftrag

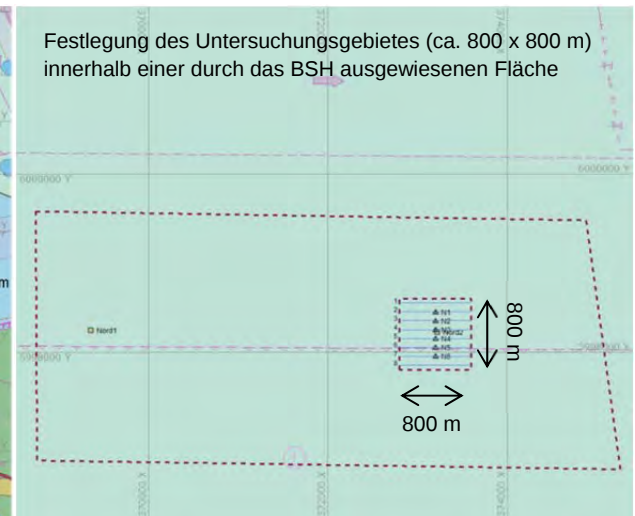
Bearbeiter

gez.
BDir Dipl.-Ing. H. Rahlf

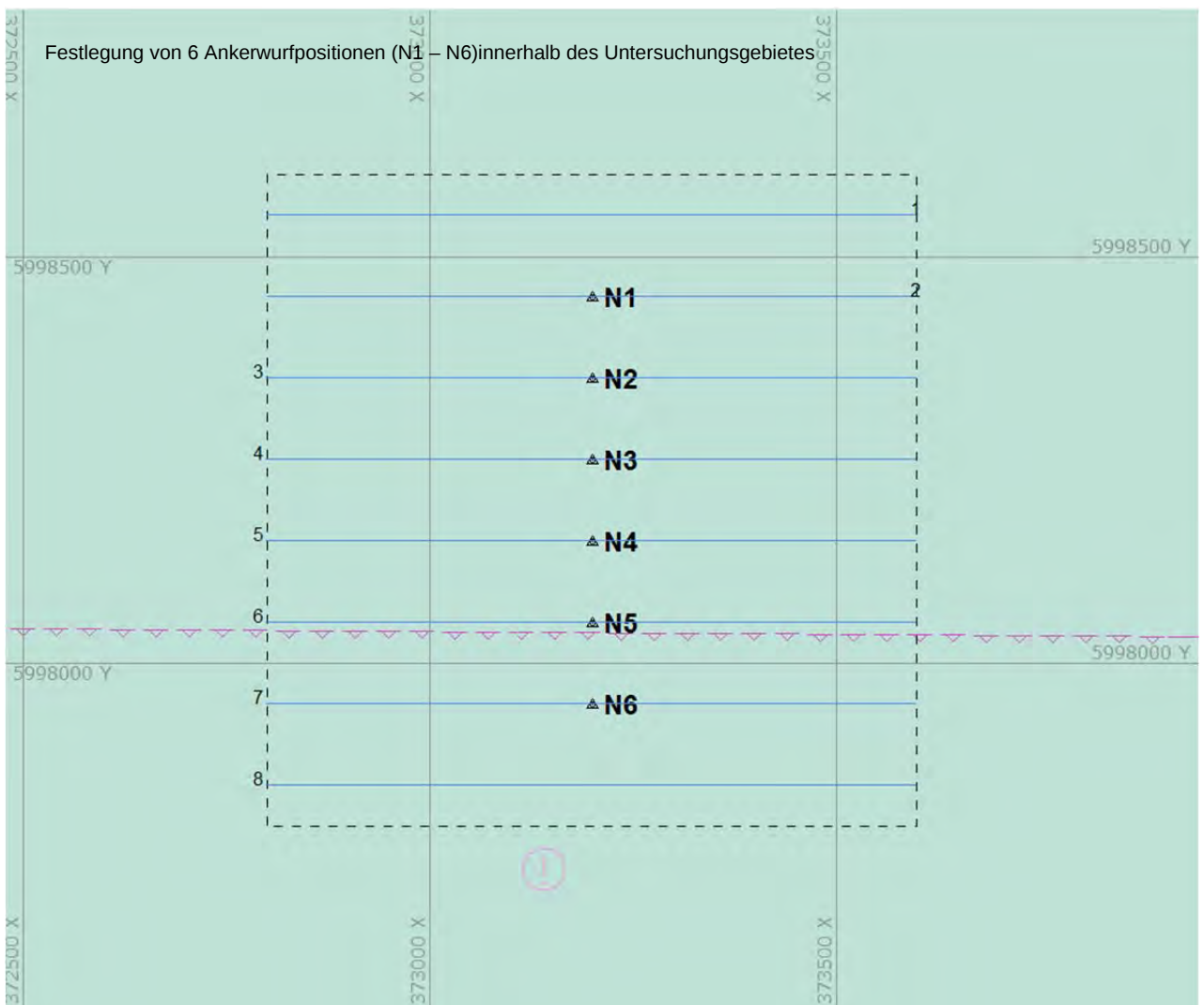
gez.
TA Dipl.-Ing. C. Maushake



Festlegung des Untersuchungsgebietes (ca. 800 x 800 m)
innerhalb einer durch das BSH ausgewiesenen Fläche



Festlegung von 6 Ankerwurfpositionen (N1 – N6) innerhalb des Untersuchungsgebietes

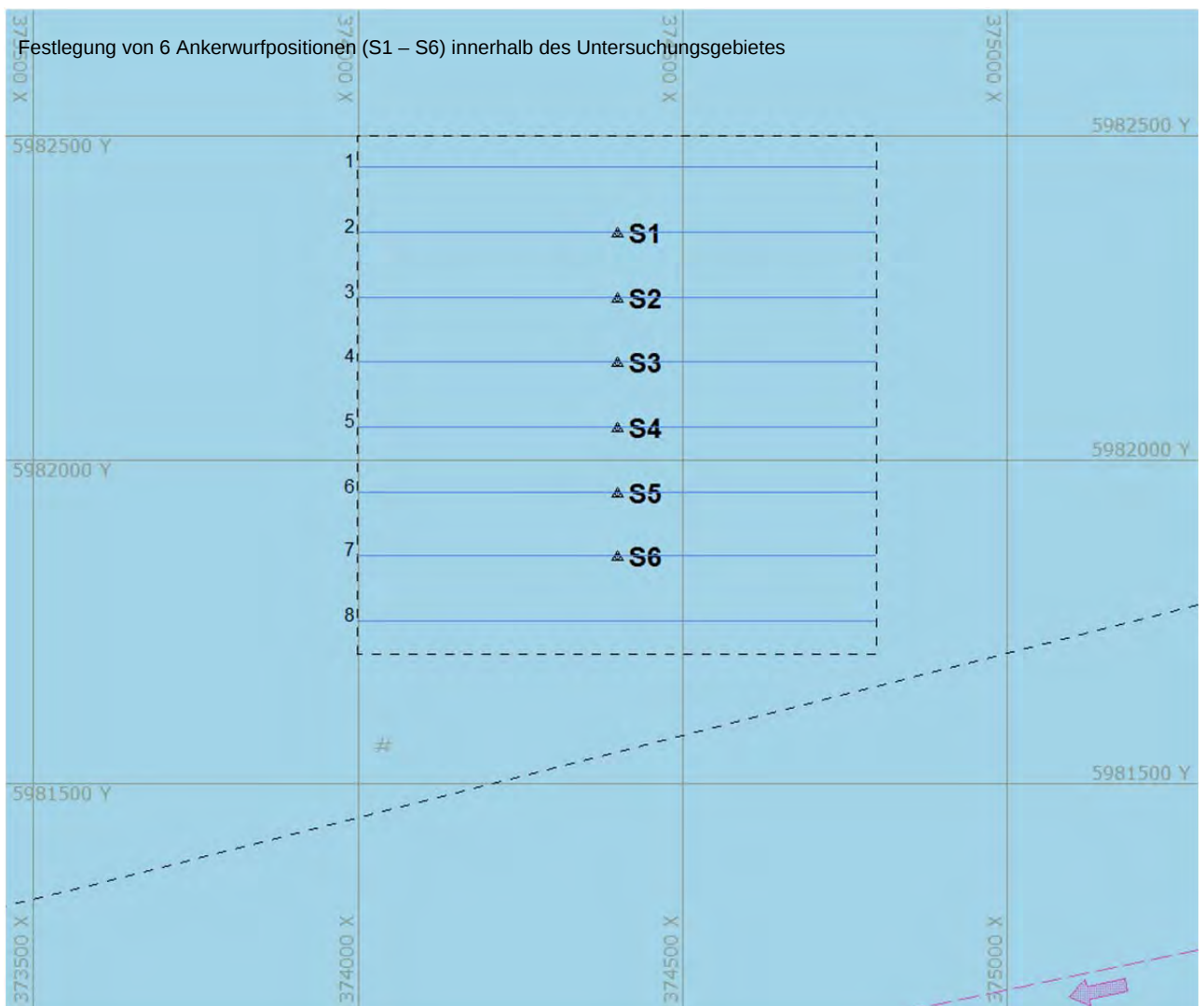
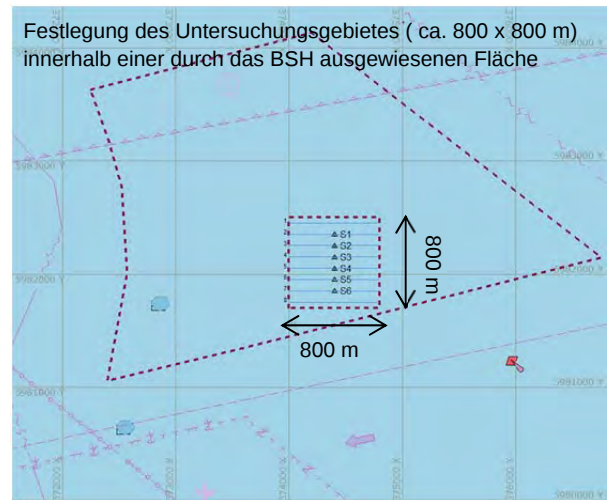


Ankerzugversuche Deutsche Bucht	Gebietsübersicht und Koordinatenverzeichnis BSH Nord	BAW-Nr. A395 502 10088 Anlage 2Nb	
------------------------------------	---	--------------------------------------	---

Gebietsgrenzen Untersuchungsgebiet „BSH Nord“			
WGS 84		UTM (32)	
Latitude	Longitude	Easting	Northing
54 6.756023 N	007 3.246693 E	372800	5997800
54 7.187185 N	007 3.226489 E	372800	5998600
54 7.199019 N	007 3.960450 E	373600	5998600
54 6.767853 N	007 3.980527 E	373600	5997800

Soll - Koordinaten Ankerwurfpositionen Untersuchungsgebiet „BSH Nord“				
Position	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
N1	54 7.112268 N	007 3.597245 E	373200	5998450
N2	54 7.058373 N	007 3.599763 E	373200	5998350
N3	54 7.004477 N	007 3.602281 E	373200	5998250
N4	54 6.950582 N	007 3.604798 E	373200	5998150
N5	54 6.896686 N	007 3.607316 E	373200	5998050
N6	54 6.842791 N	007 3.609833 E	373200	5997950

Soll - Koordinaten der Profillinien für die Basisvermessung Untersuchungsgebiet „BSH Nord“				
Peillinie	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
1	54 7.160238 N	007 3.227752 E	372800	5998550
	54 7.172071 N	007 3.961705 E	373600	5998550
2	54 7.106342 N	007 3.230278 E	372800	5998450
	54 7.118176 N	007 3.964215 E	373600	5998450
3	54 7.052447 N	007 3.232804 E	372800	5998350
	54 7.064280 N	007 3.966725 E	373600	5998350
4	54 6.998552 N	007 3.235329 E	372800	5998250
	54 7.010384 N	007 3.969235 E	373600	5998250
5	54 6.944656 N	007 3.237855 E	372800	5998150
	54 6.956489 N	007 3.971744 E	373600	5998150
6	54 6.890761 N	007 3.240380 E	372800	5998050
	54 6.902593 N	007 3.974254 E	373600	5998050
7	54 6.836866 N	007 3.242905 E	372800	5997950
	54 6.848697 N	007 3.976763 E	373600	5997950
8	54 6.782970 N	007 3.245403 E	372800	5997850
	54 6.794801 N	007 3.979272 E	373600	5997850

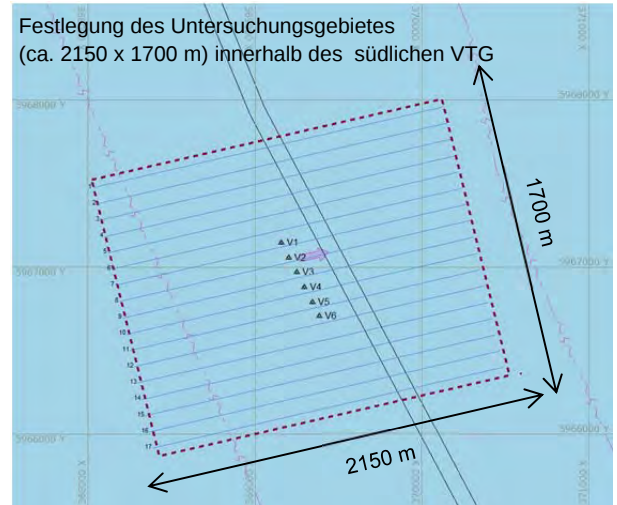


Ankerzugversuche Deutsche Bucht	Gebietsübersicht und Koordinatenverzeichnis BSH Süd	BAW-Nr. A395 502 10088 Anlage 2Sb	
------------------------------------	--	--------------------------------------	---

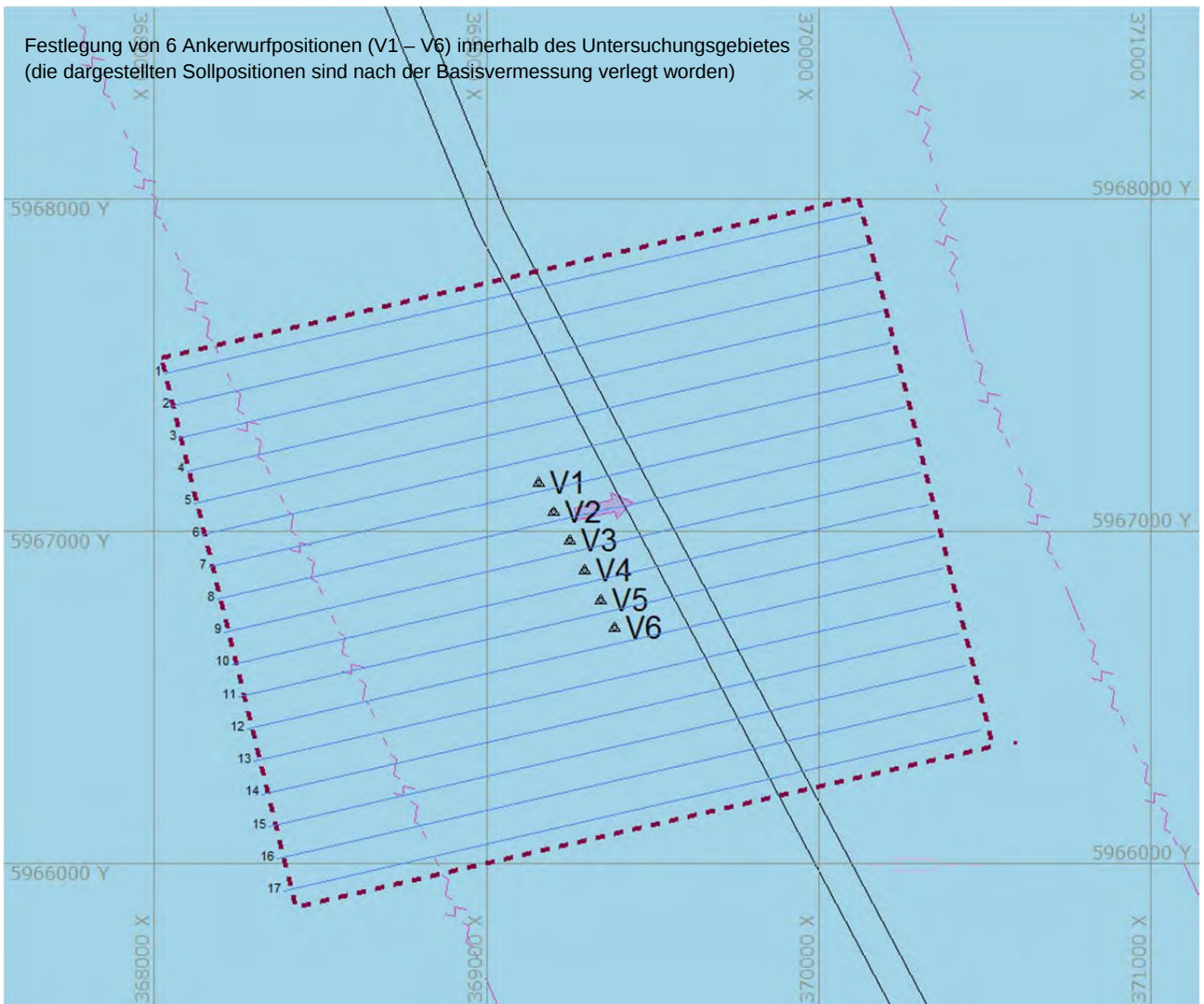
Gebietsgrenzen Untersuchungsgebiet „BSH Süd“			
WGS 84		UTM (32)	
Latitude	Longitude	Easting	Northing
53 58.096371 N	007 4.748367 E	374000.00	5981700.00
53 58.527551 N	007 4.728529 E	374000.00	5982500.00
53 58.539211 N	007 5.459961 E	374800.00	5982500.00
53 58.108029 N	007 5.479674 E	374800.00	5981700.00

Soll - Koordinaten Ankerwurfpositionen Untersuchungsgebiet „BSH Süd“				
Position	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
S1	53 58.452544 N	007 5.097953 E	374400.00	5982350.00
S2	53 58.398646 N	007 5.100425 E	374400.00	5982250.00
S3	53 58.344749 N	007 5.102897 E	374400.00	5982150.00
S4	53 58.290851 N	007 5.105369 E	374400.00	5982050.00
S5	53 58.236953 N	007 5.107841 E	374400.00	5981950.00
S6	53 58.183056 N	007 5.110312 E	374400.00	5981850.00

Soll - Koordinaten der Profilinien für die Basisvermessung Untersuchungsgebiet „BSH Süd“				
Peillinie	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
1	53 58.500602 N	007 4.729769 E	374000	5982450
	53 58.512262 N	007 5.461194 E	374800	5982450
2	53 58.446705 N	007 4.732249 E	374000	5982350
	53 58.458364 N	007 5.463658 E	374800	5982350
3	53 58.392807 N	007 4.734729 E	374000	5982250
	53 58.404467 N	007 5.466123 E	374800	5982250
4	53 58.338910 N	007 4.737209 E	374000	5982150
	53 58.350569 N	007 5.468587 E	374800	5982150
5	53 58.285012 N	007 4.739689 E	374000	5982050
	53 58.296671 N	007 5.471051 E	374800	5982050
6	53 58.231115 N	007 4.742169 E	374000	5981950
	53 58.242773 N	007 5.473515 E	374800	5981950
7	53 58.177218 N	007 4.744648 E	374000	5981850
	53 58.188875 N	007 5.475979 E	374800	5981850
8	53 58.123320 N	007 4.747128 E	374000	5981750
	53 58.134978 N	007 5.478443 E	374800	5981750



Festlegung von 6 Ankerwurfpositionen (V1 – V6) innerhalb des Untersuchungsgebietes
(die dargestellten Sollpositionen sind nach der Basisvermessung verlegt worden)



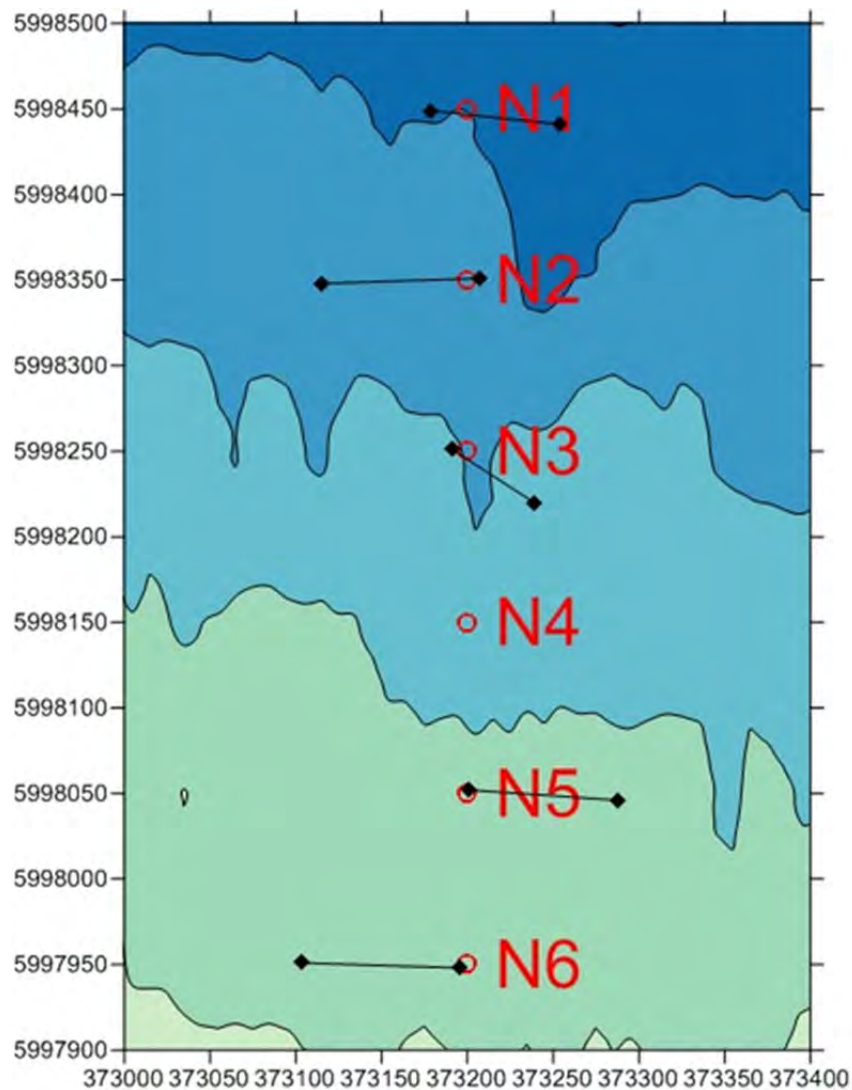
Ankerzugversuche Deutsche Bucht	Gebietsübersicht und Koordinatenverzeichnis VTG	BAW-Nr. A395 502 10088 Anlage 2Vb	
------------------------------------	--	--------------------------------------	---

Gebietsgrenzen Untersuchungsgebiet „VTG“			
WGS 84		UTM (32)	
Latitude	Longitude	Easting	Northing
53 50.364856 N	006 59.652096 E	368023.50	5967520.48
53 50.657149 N	007 01.550676 E	370120.36	5968003.98
53 49.771758 N	007 01.961078 E	370524.79	5966350.00
53 49.479584 N	007 00.063111 E	368427.93	5965866.51

Soll - Koordinaten Ankerwurfpositionen Untersuchungsgebiet „VTG“				
Position	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
V1	53 50.180252 N	007 0.694296 E	369156.67	5967146.06
V2	53 50.133234 N	007 0.738919 E	369203.16	5967057.52
V3	53 50.086216 N	007 0.783531 E	369249.64	5966968.98
V4	53 50.039203 N	007 0.828151 E	369296.13	5966880.45
V5	53 49.992184 N	007 0.872769 E	369342.62	5966791.91
V6	53 49.947707 N	007 0.914183 E	369385.73	5966708.18
<i>Hinweis: im VTG sind die Sollkoordinaten nach der Basisvermessung noch einmal verlegt worden</i>				

Soll - Koordinaten Profillinien Basisvermessung Untersuchungsgebiet „VTG“				
Position	WGS 84		UTM (32)	
	Latitude	Longitude	Easting	Northing
1	53 50.338769 N	006 59.663584 E	368034.73	5967471.76
	53 50.631059 N	007 01.562147 E	370131.59	5967955.26
2	53 50.286595 N	006 59.686570 E	368057.20	5967374.32
	53 50.578879 N	007 01.585097 E	370154.06	5967857.82
3	53 50.234416 N	006 59.709556 E	368079.67	5967276.87
	53 50.526693 N	007 01.608046 E	370176.53	5967760.37
4	53 50.182242 N	006 59.732540 E	368102.14	5967179.43
	53 50.474513 N	007 01.630993 E	370199.00	5967662.93
5	53 50.130068 N	006 59.755523 E	368124.61	5967081.99
	53 50.422332 N	007 01.653940 E	370221.47	5967565.49
6	53 50.077888 N	006 59.778505 E	368147.08	5966984.54
	53 50.370147 N	007 01.676886 E	370243.94	5967468.04
7	53 50.025714 N	006 59.801487 E	368169.55	5966887.10
	53 50.317966 N	007 01.699831 E	370266.41	5967370.60
8	53 49.973540 N	006 59.824467 E	368192.02	5966789.66
	53 50.265785 N	007 01.722775 E	370288.88	5967273.16
9	53 49.921360 N	006 59.847437 E	368214.48	5966692.21
	53 50.213599 N	007 01.745709 E	370311.34	5967175.71
10	53 49.869185 N	006 59.870415 E	368236.95	5966594.77
	53 50.161418 N	007 01.768651 E	370333.81	5967078.27
11	53 49.817011 N	006 59.893393 E	368259.42	5966497.33
	53 50.109237 N	007 01.791591 E	370356.28	5966980.83
12	53 49.764831 N	006 59.916369 E	368281.89	5966399.88
	53 50.057051 N	007 01.814532 E	370378.75	5966883.38
13	53 49.712656 N	006 59.939344 E	368304.36	5966302.44
	53 50.004870 N	007 01.837471 E	370401.22	5966785.94
14	53 49.660481 N	006 59.962319 E	368326.83	5966205.00
	53 49.952688 N	007 01.860408 E	370423.69	5966688.50
15	53 49.608306 N	006 59.985292 E	368349.30	5966107.56
	53 49.900507 N	007 01.883345 E	370446.16	5966591.06
16	53 49.556125 N	007 00.008256 E	368371.76	5966010.11
	53 49.848320 N	007 01.906273 E	370468.62	5966493.61
17	53 49.503950 N	007 00.031227 E	368394.23	5965912.67
	53 49.796139 N	007 01.929208 E	370491.09	5966396.17

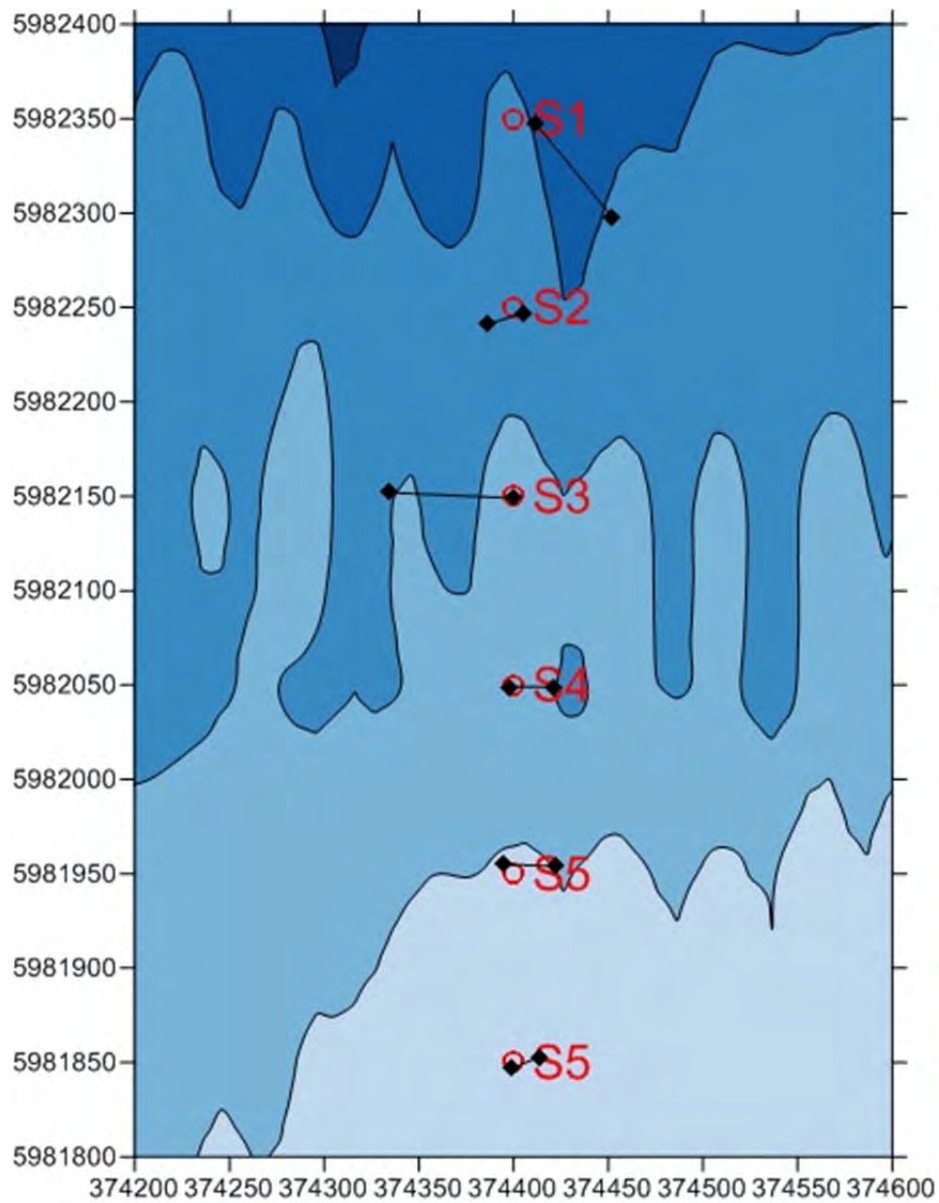
Ankerzugversuche Deutsche Bucht	Ankerwurfpositionen (Soll / Ist) BSH Nord	BAW-Nr. A395 502 10088 Anlage 3N
------------------------------------	--	-------------------------------------



○	Geplante Sollpositionen N1 – N6
◆ — ◆	Ankerzug (ist)

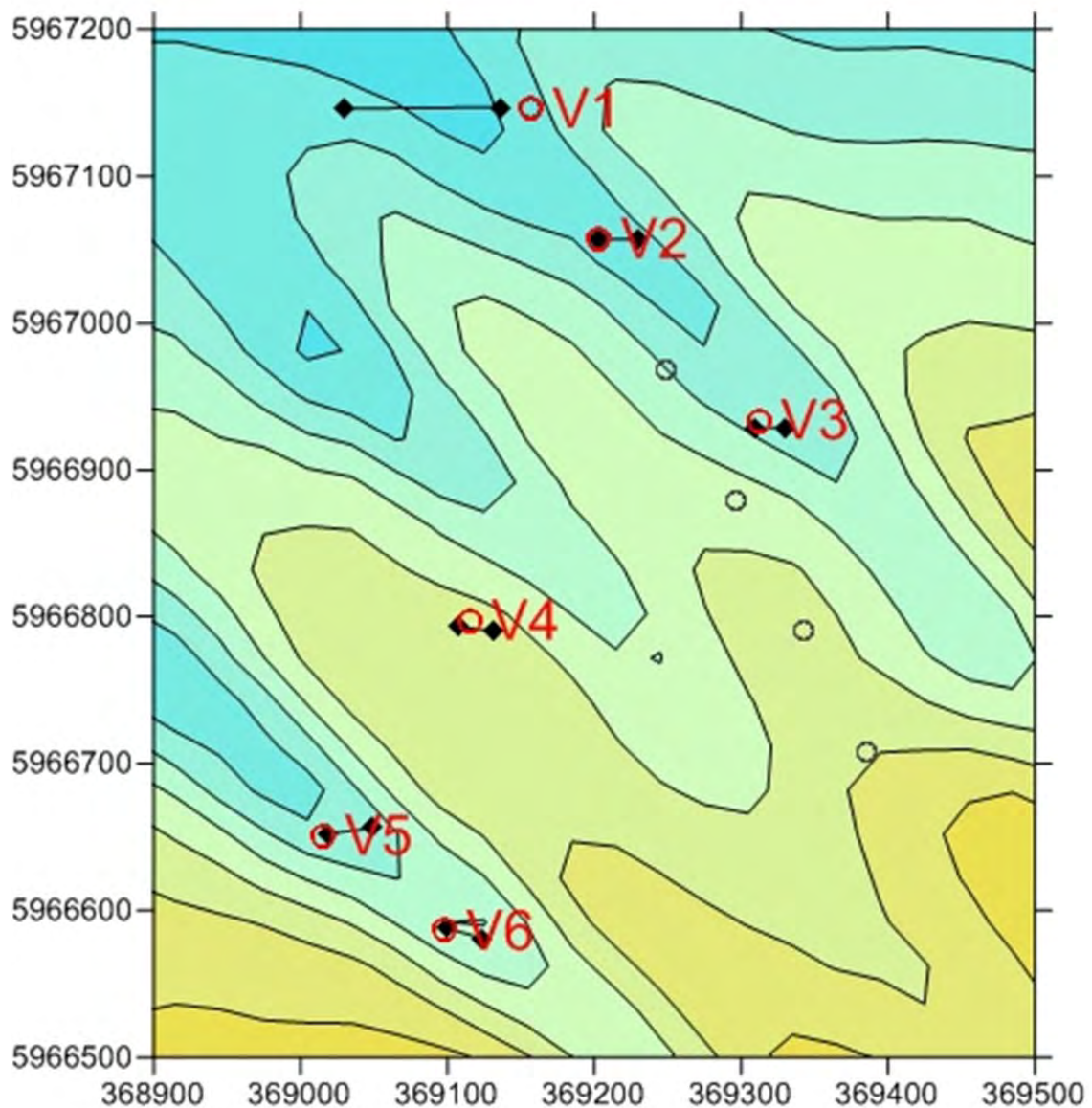
Pos.	Soll		Ist			
	Ankerwurfposition		Ankerwurfposition		Ankerendposition	
	Easting	Northing	Easting	Northing	Easting	Northing
N1	373200	5998450	373179	5998449	373254	5998441
N2	373200	5998350	373207	5998351	373115	5998348
N3	373200	5998250	373191	5998251	373239	5998220
N4	373200	5998150				
N5	373200	5998050	373201	5998052	373288	5998046
N6	373200	5997950	373195	5997948	373103	5997951

Ankerzugversuche Deutsche Bucht	Ankerwurfpositionen (Soll / Ist) BSH Süd	BAW-Nr. A395 502 10088 Anlage 3S
------------------------------------	---	-------------------------------------

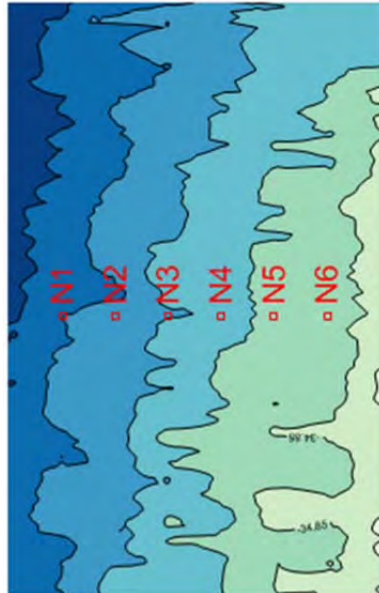
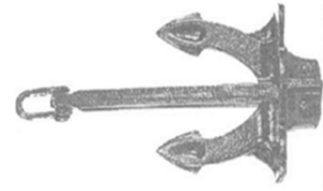


○	Geplante Sollpositionen S1 – S6
◆	Ankerzug (ist)

Pos.	Soll		Ist			
	Ankerwurfposition		Ankerwurfposition		Ankerendposition	
	Easting	Northing	Easting	Northing	Easting	Northing
S1	374400	5982350	374412	5982347	374452	5982298
S2	374400	5982250	374405	5982247	374386	5982241
S3	374400	5982150	374400	5982149	374334	5982152
S4	374400	5982050	374398	5982049	374421	5982049
S5	374400	5981950	374395	5981955	374422	5981954
S6	374400	5981850	374399	5981847	374414	5981853

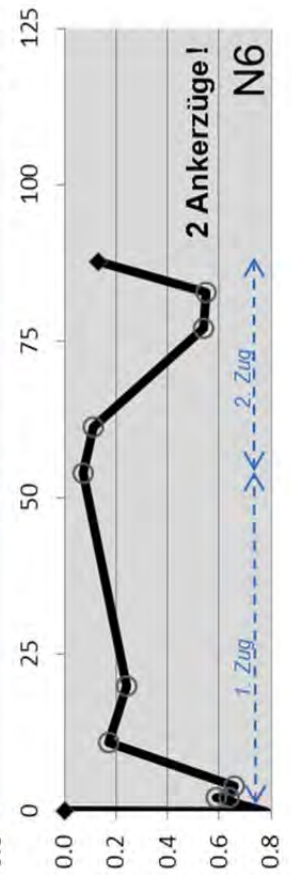
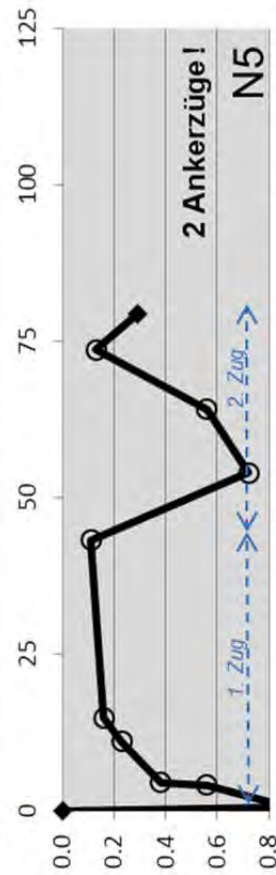
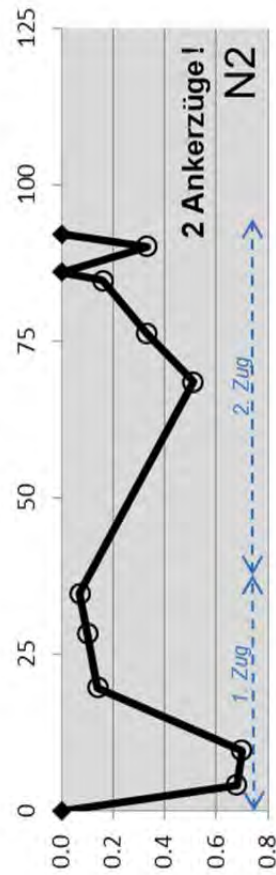
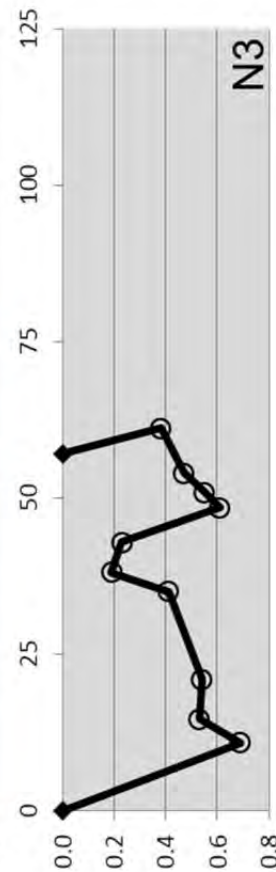
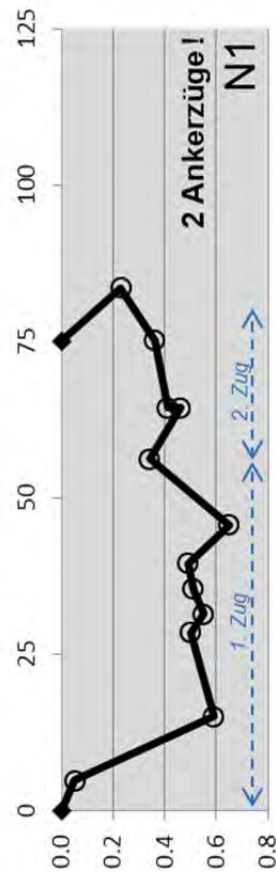


Pos.	Soll		Ist			
	Ankerwurfposition		Ankerwurfposition		Ankerendposition	
	Easting	Northing	Easting	Northing	Easting	Northing
V1	369156	5967146	369030	5967146	369136	5967147
V2	369203	5967057	369203	5967057	369230	5967057
V3	369312	5966934	369310	5966929	369330	5966929
V4	369115	5966797	369108	5966793	369132	5966790
V5	369015	5966651	369018	5966652	369049	5966656
V6	369098	5966586	369099	5966588	369124	5966581

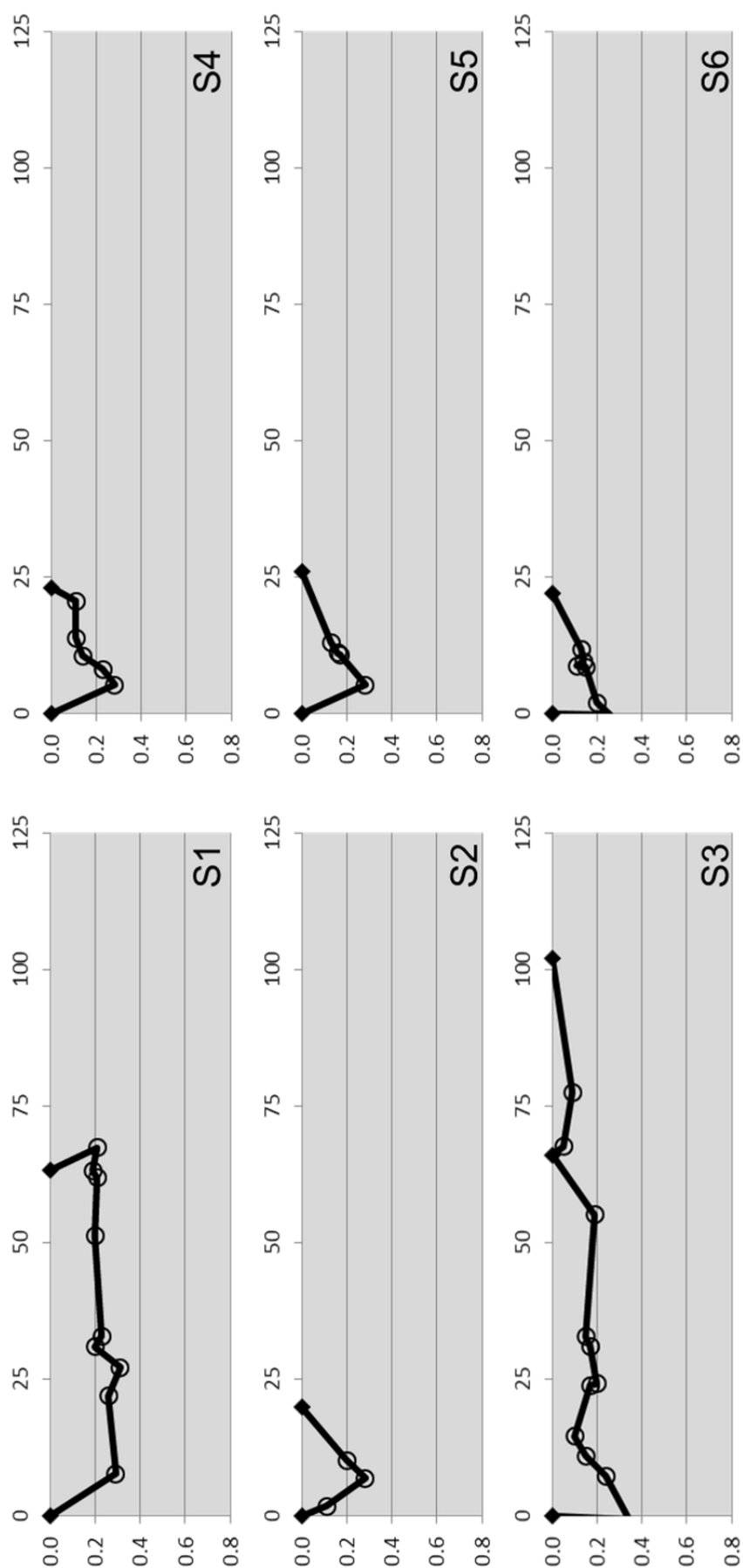
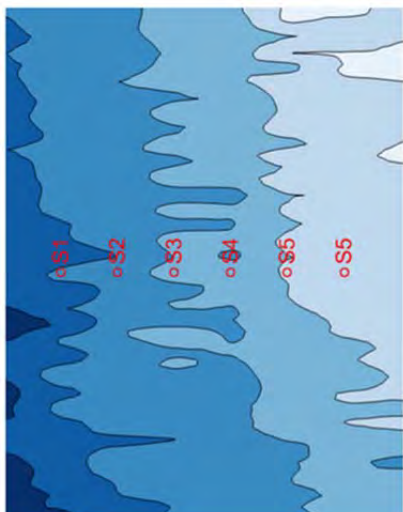


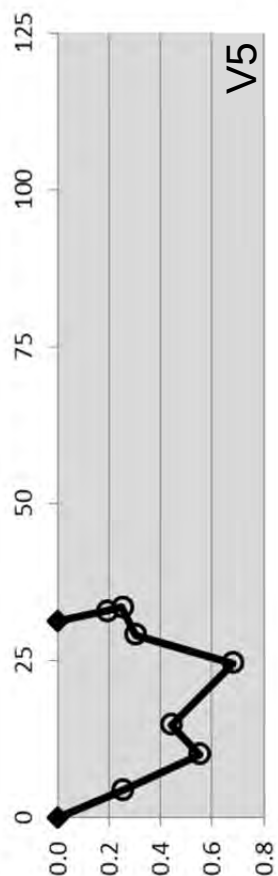
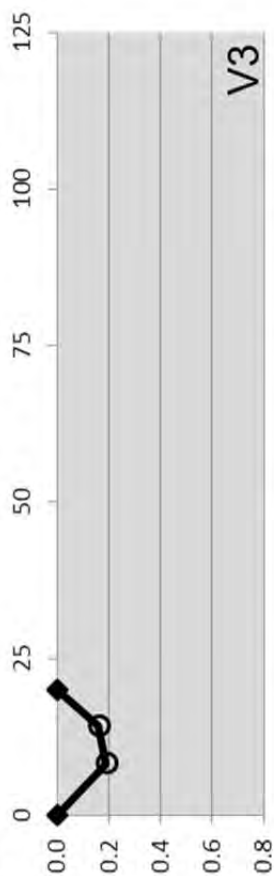
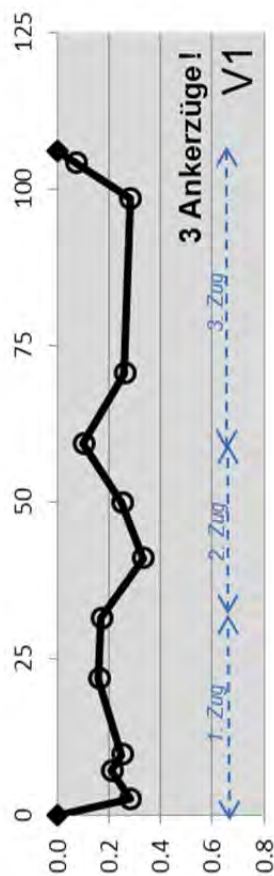
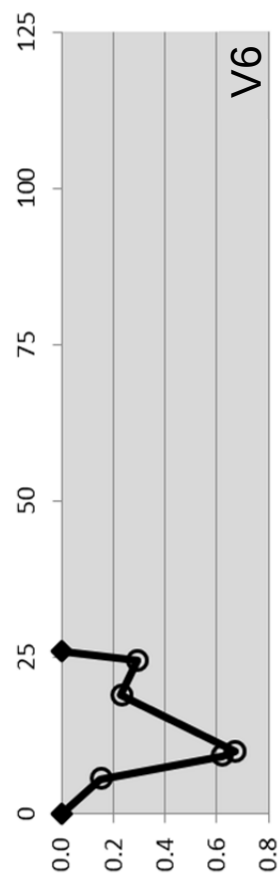
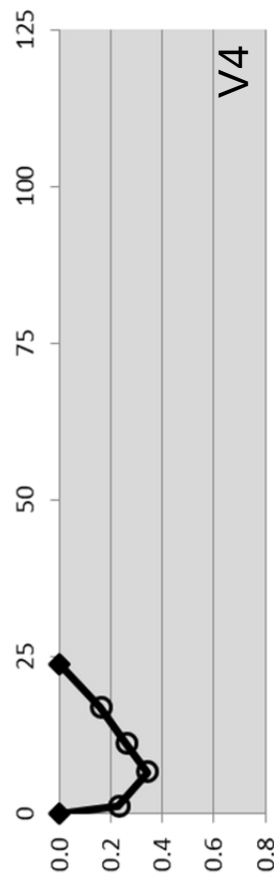
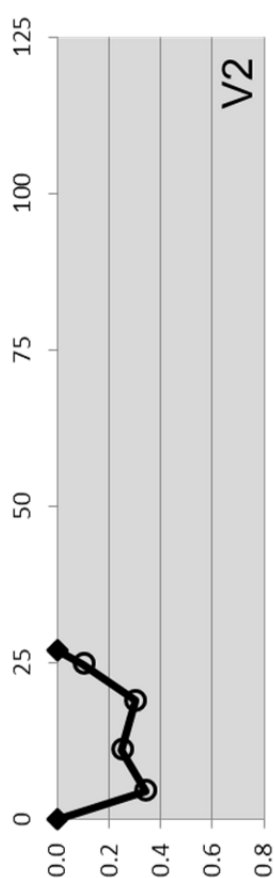
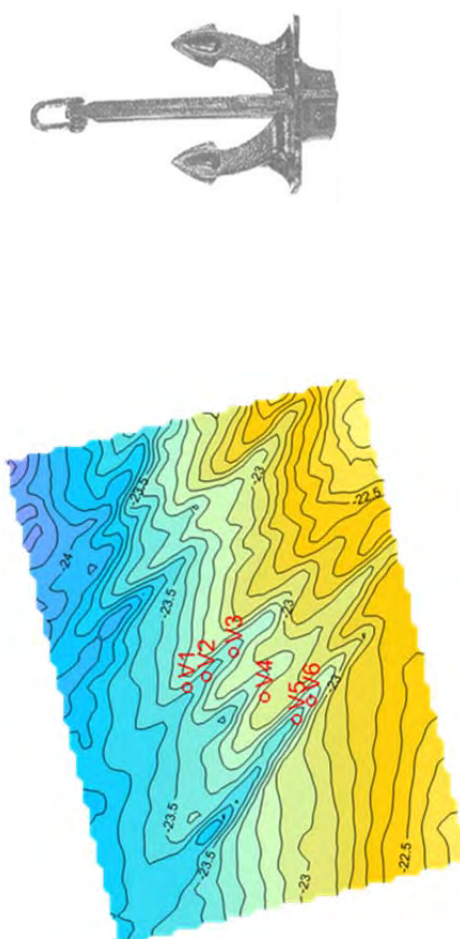
AC14

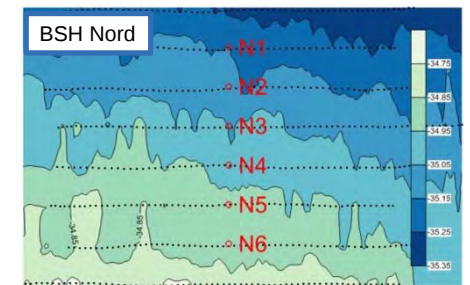
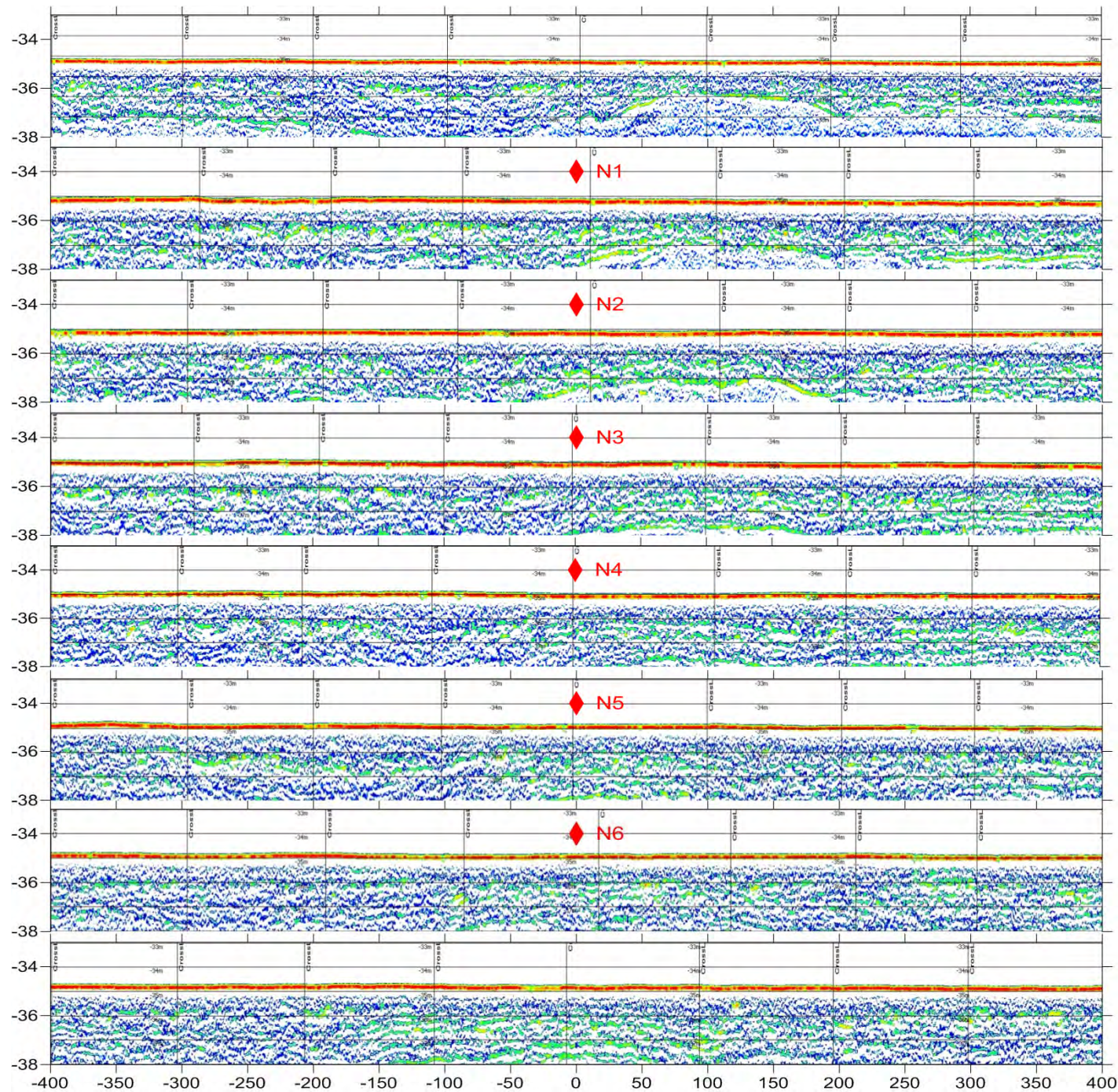
Hall



Anmerkung: Länge des 1. und des 2. Zuges aus Ankerspur abgeschätzt







N1 – N6: Lage der Ankerwurfpositionen

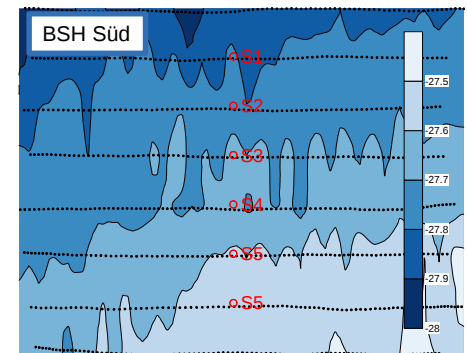
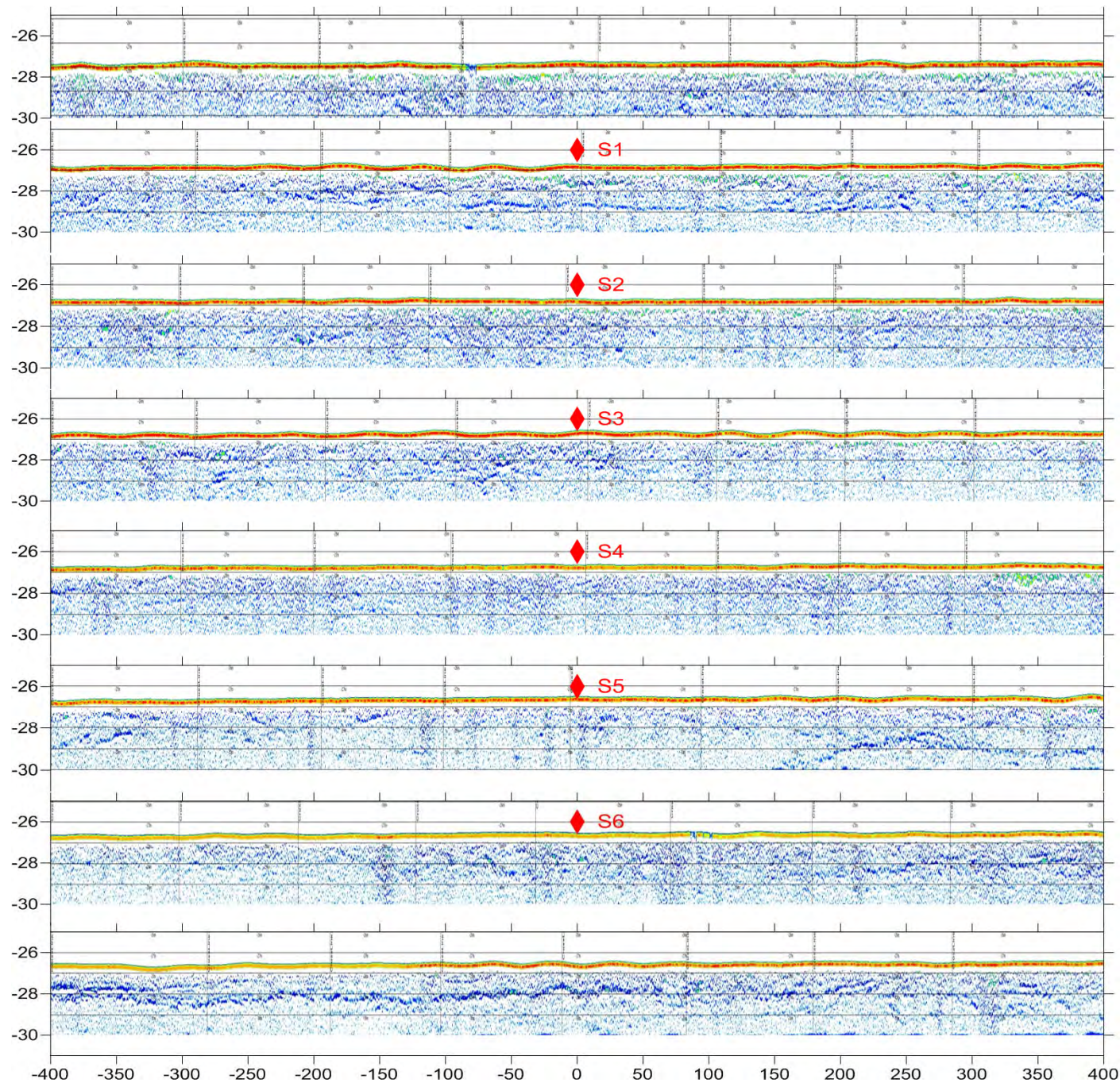
Ankerzugversuche Deutsche Bucht Basisvermessung mit SES

Untersuchungsgebiet BSH Nord
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

Anlage N0





S1 – S6: Lage der Ankerwurfpositionen

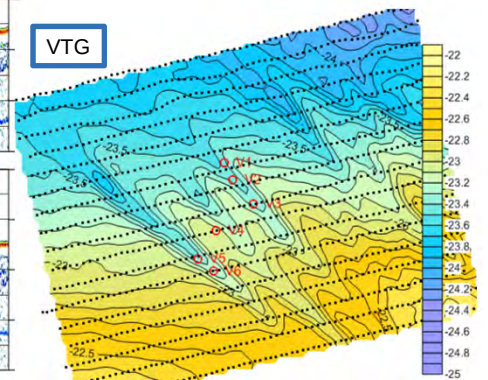
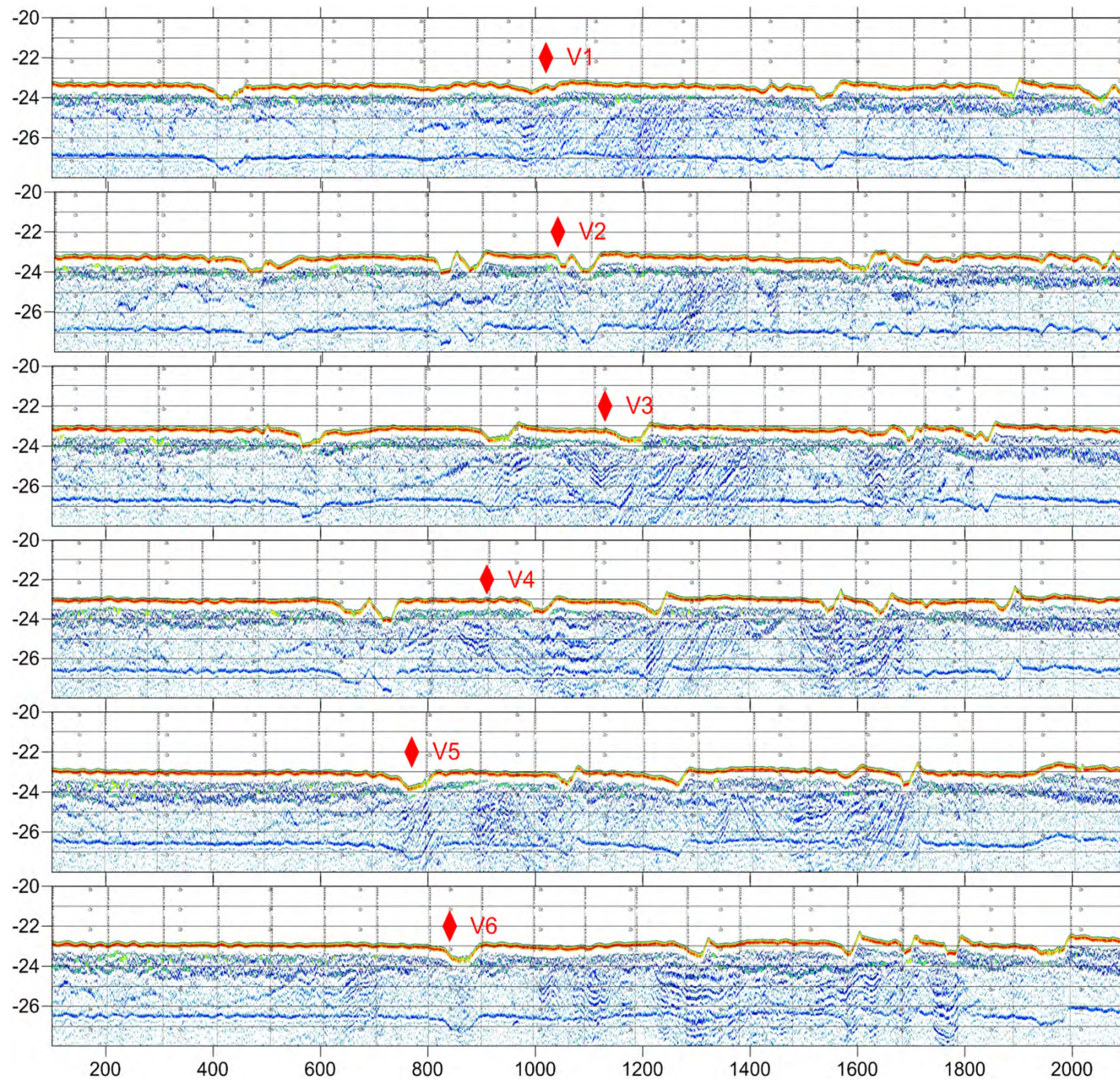
Ankerzugversuche Deutsche Bucht Basisvermessung mit SES

Untersuchungsgebiet BSH Süd
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

Anlage S0





V1 – V6: Lage der Ankerwurfpositionen

Ankerzugversuche Deutsche Bucht Basisvermessung mit SES

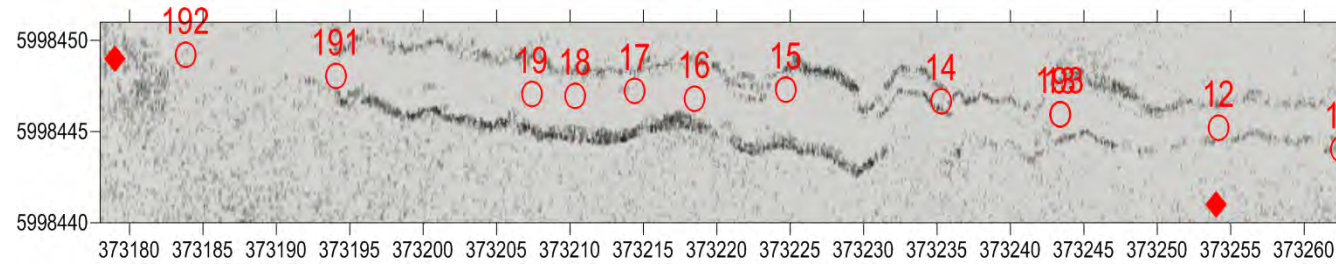
Untersuchungsgebiet VTG
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

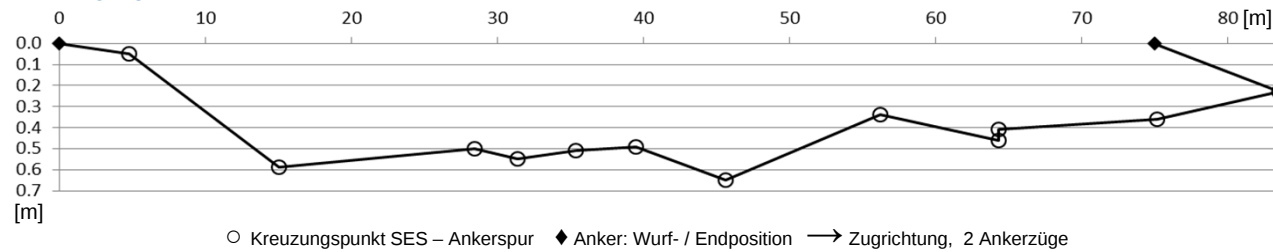
Anlage V0



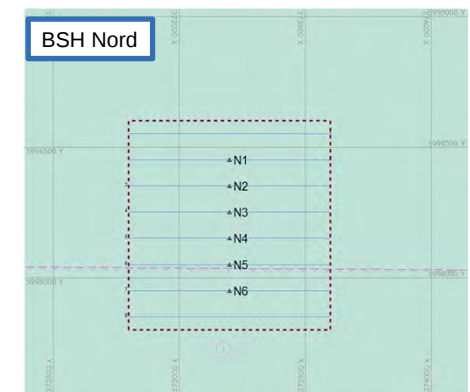
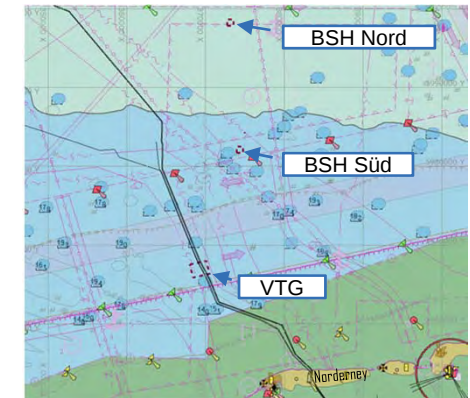
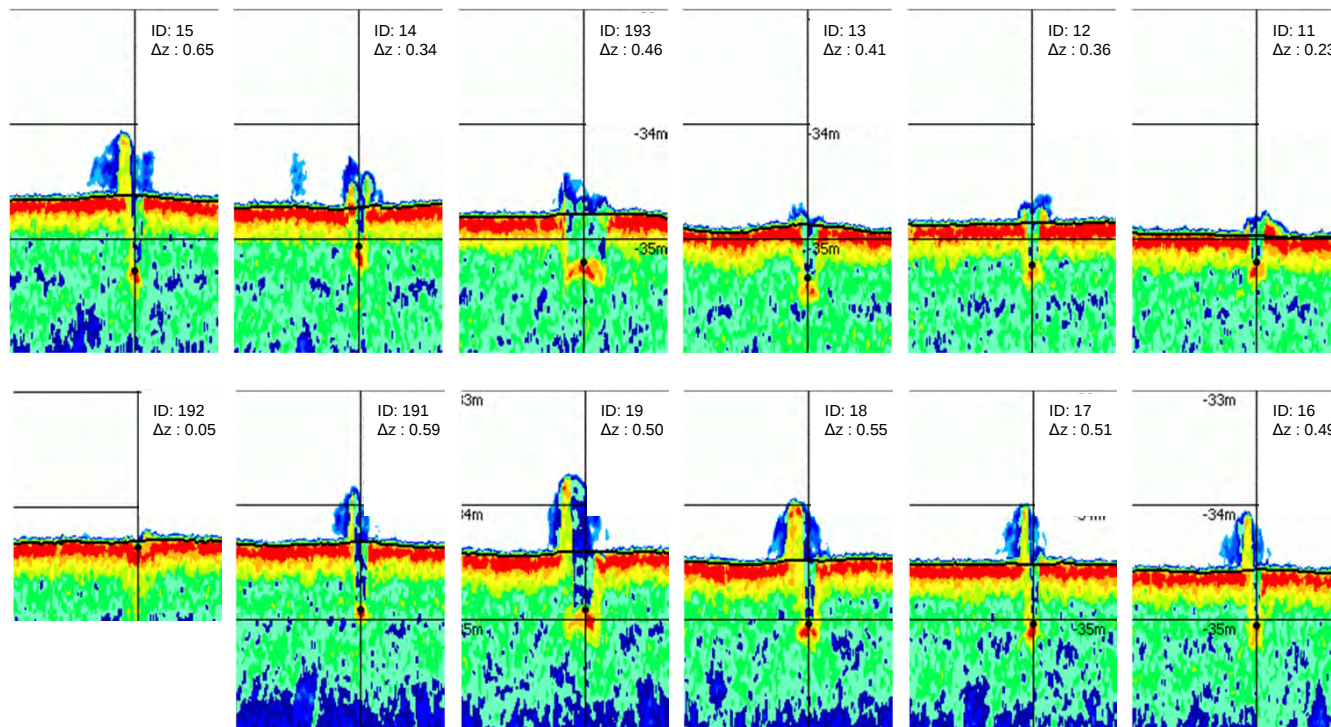
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Nord	Zuglänge [m]	67
Wurfposition	N1	Max. Zug [t]	62
Ankertyp	AC14	Max. Δz [m]	0.65

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

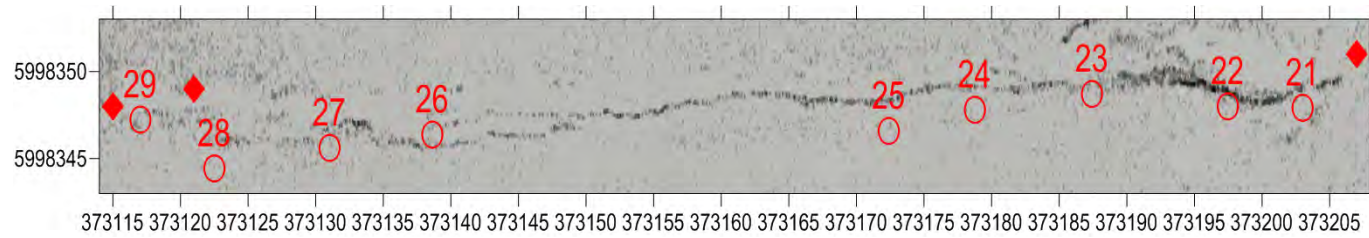
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

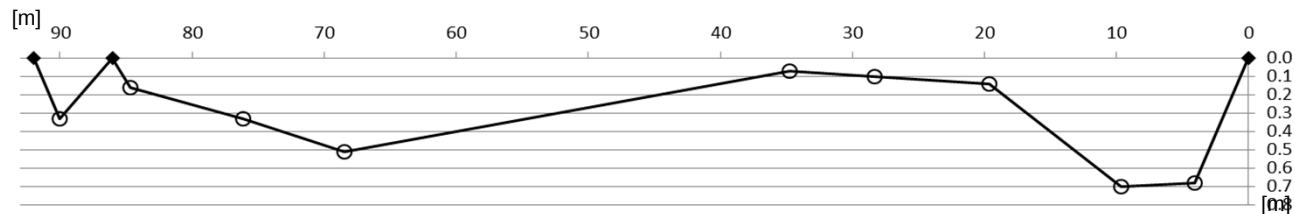
Anlage N1



Ankerspur (Trackplot UTM32)

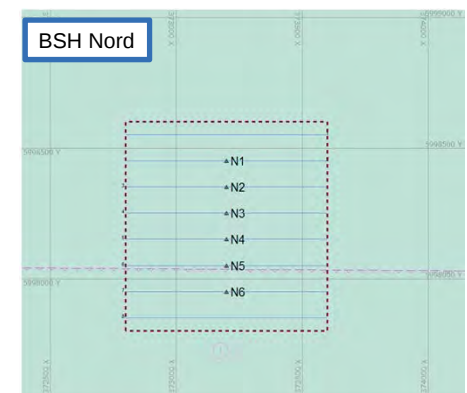
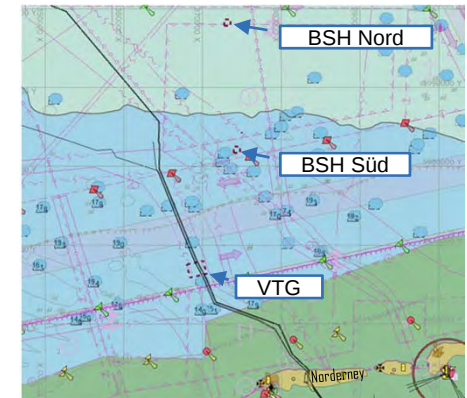
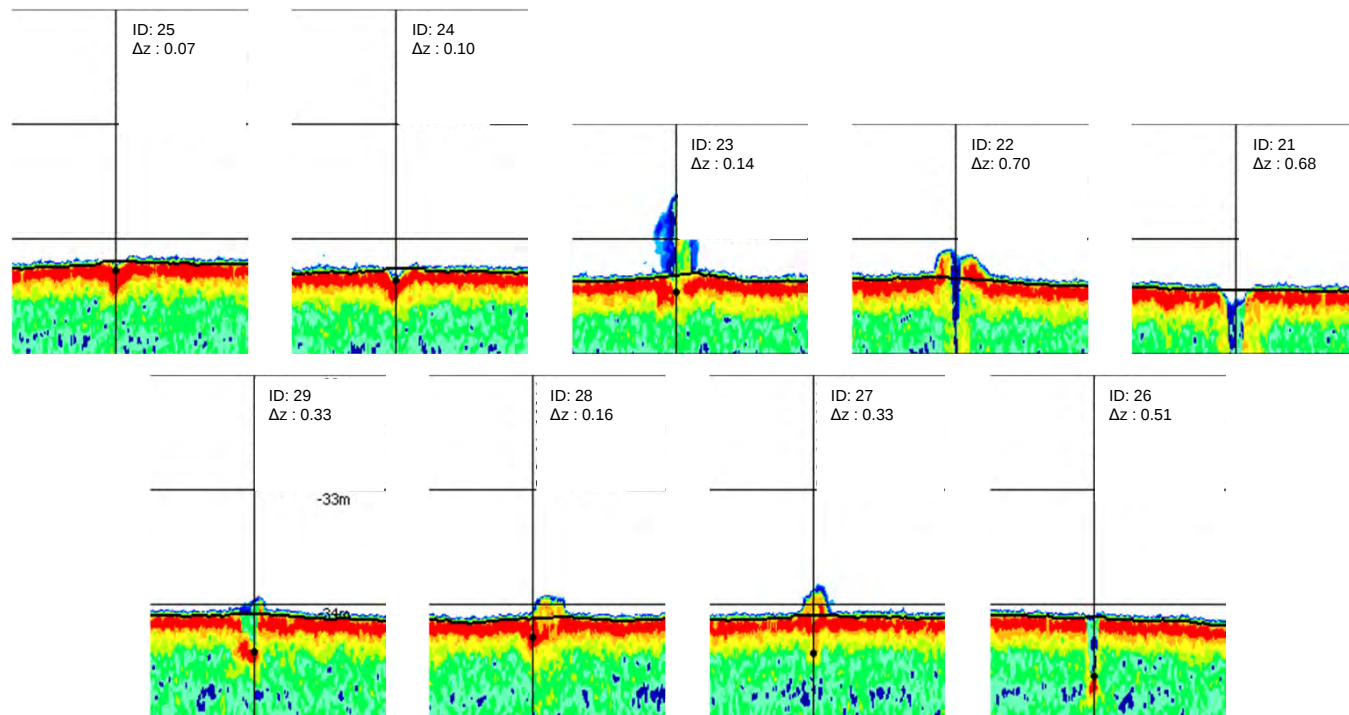


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition ← Zugrichtung, 2 Ankerzüge

SES - Echogramme



Gebiet	BSH Nord	Zuglänge [m]	92
Wurfposition	N2	Max. Zug [t]	64
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.70

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

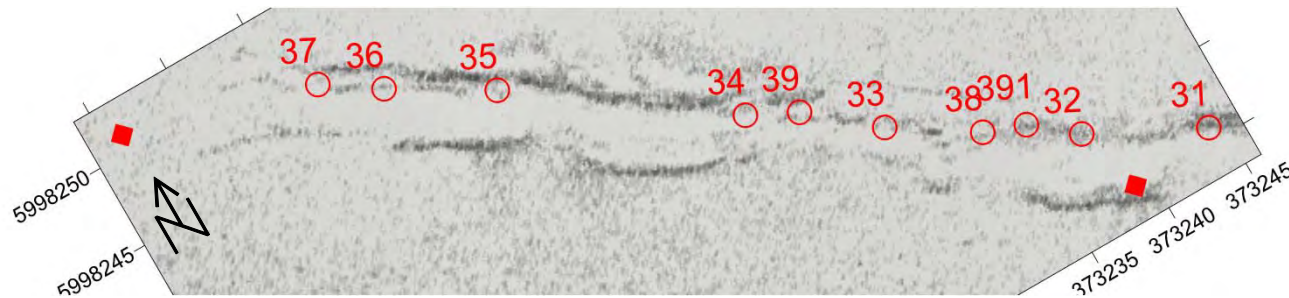
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

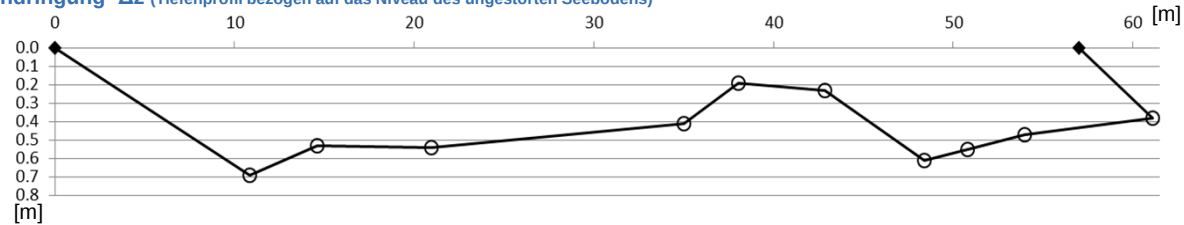
Anlage N2



Ankerspur (Trackplot UTM32)

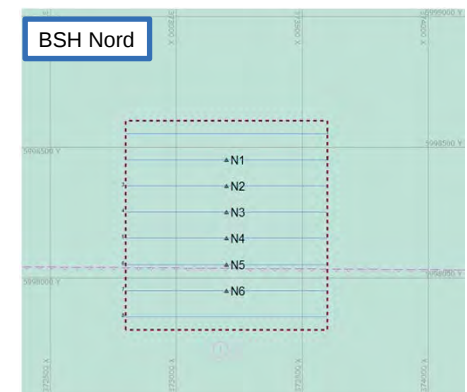
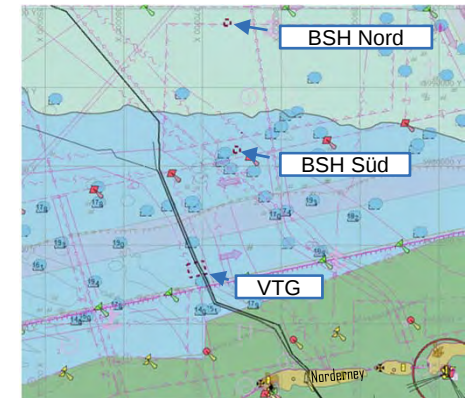
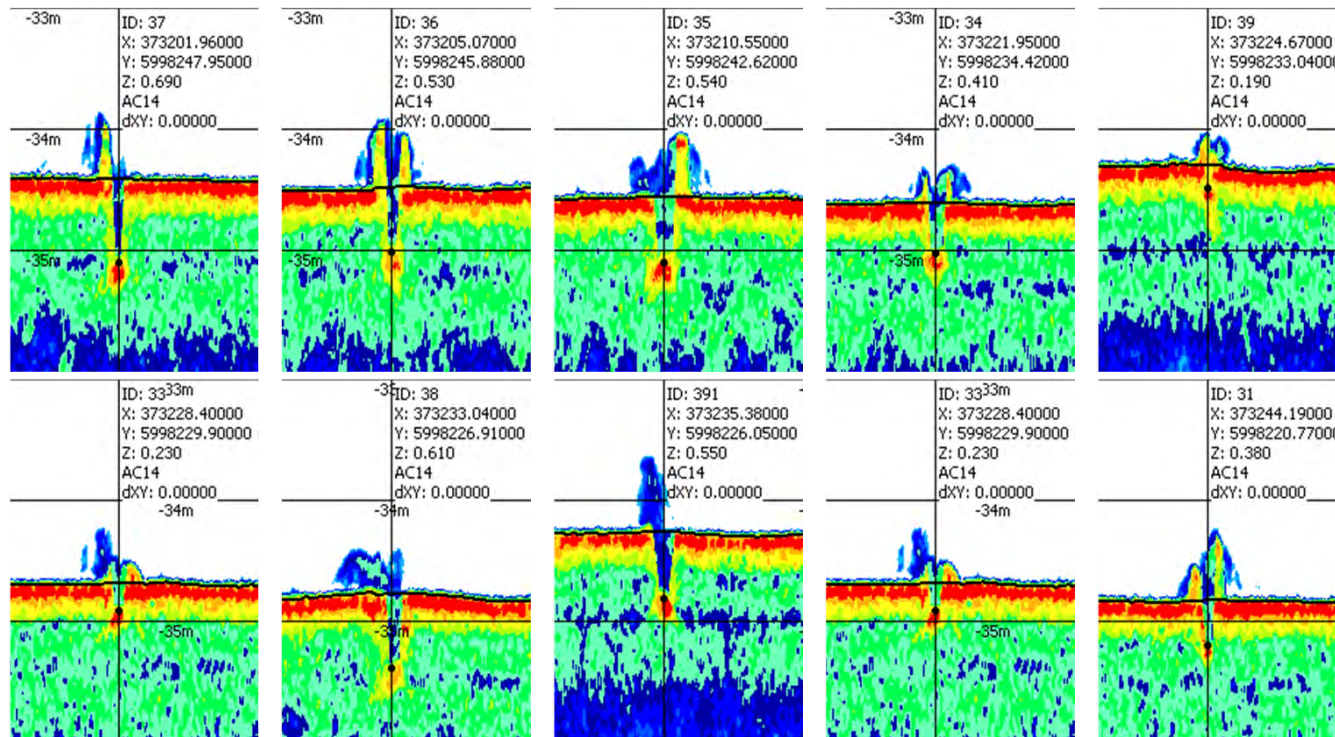


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES - Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung

SES - Echogramme



Gebiet	BSH Nord	Zuglänge [m]	57
Wurfposition	N3	Max. Zug [t]	82
Ankertyp	AC14	Max. Δz [m]	0.69

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

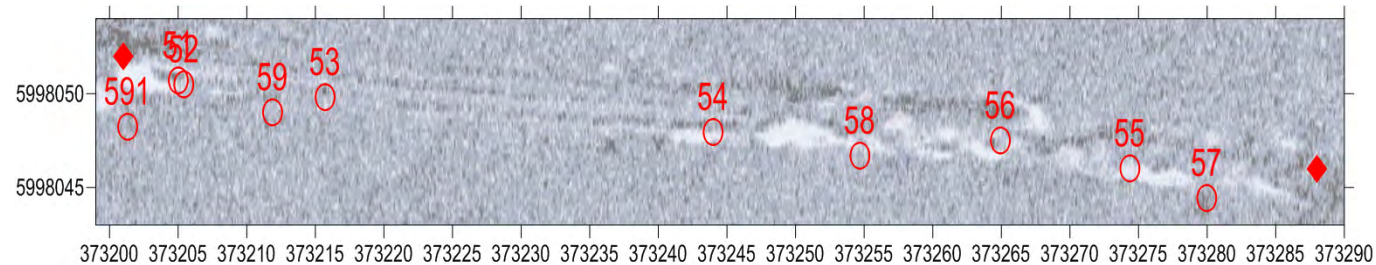
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

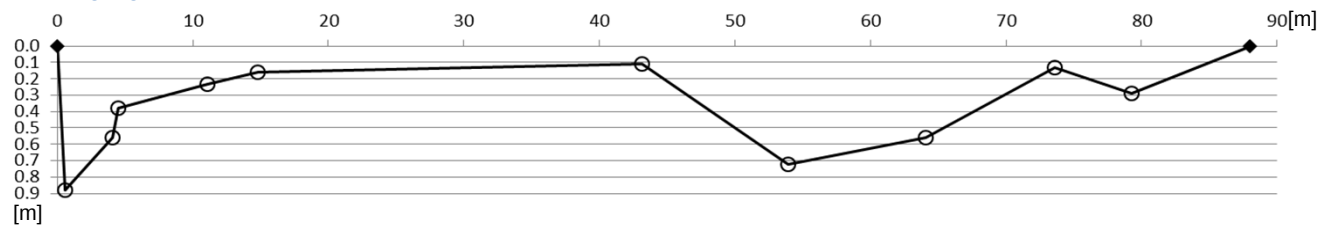
Anlage N3



Ankerspur (Trackplot UTM32)

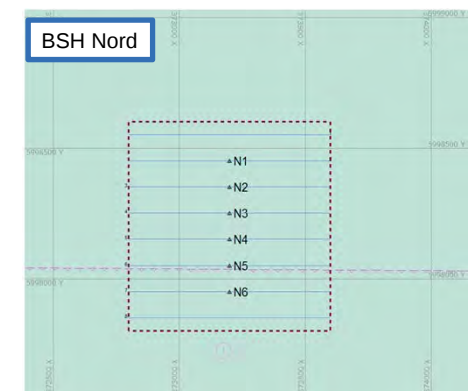
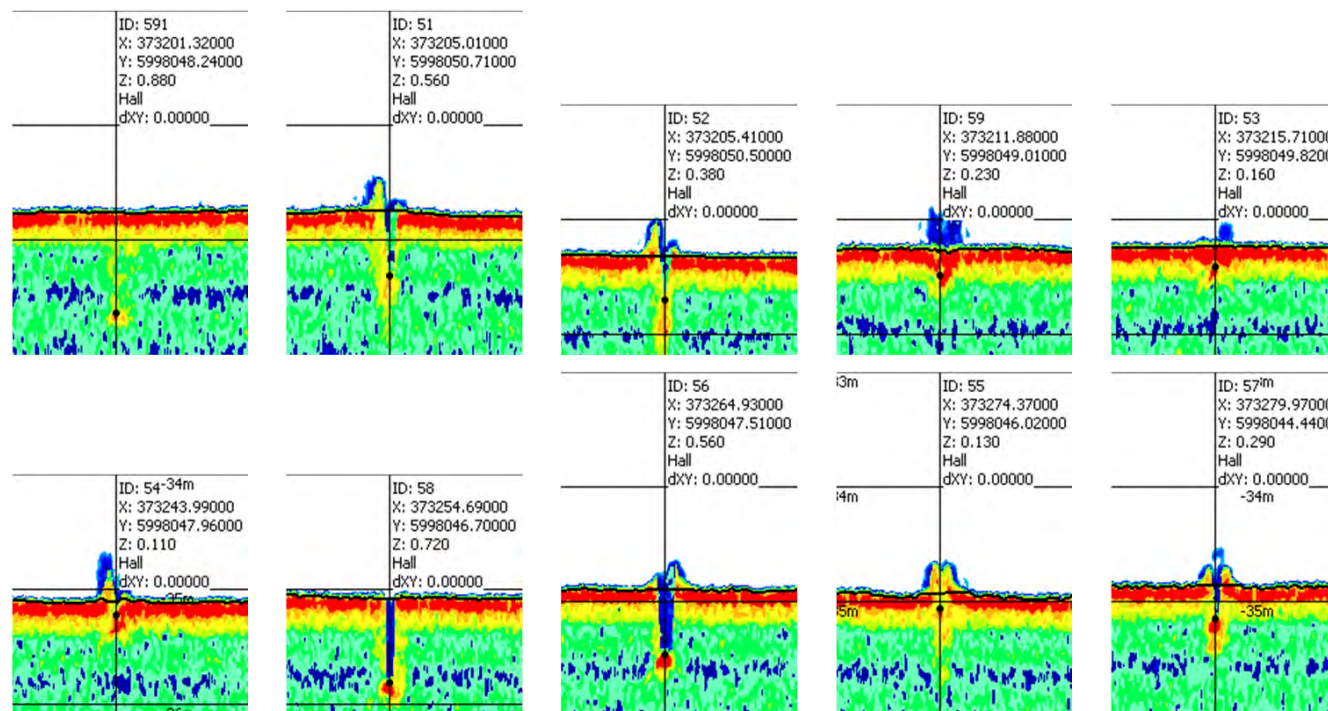


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung, 2 Ankerzüge

SES - Echogramme



Gebiet	BSH Nord	Zuglänge [m]	87
Wurfposition	N5	Max. Zug [t]	58
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.88

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

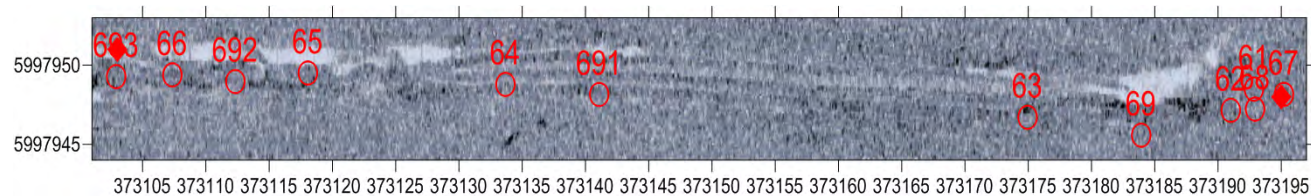
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

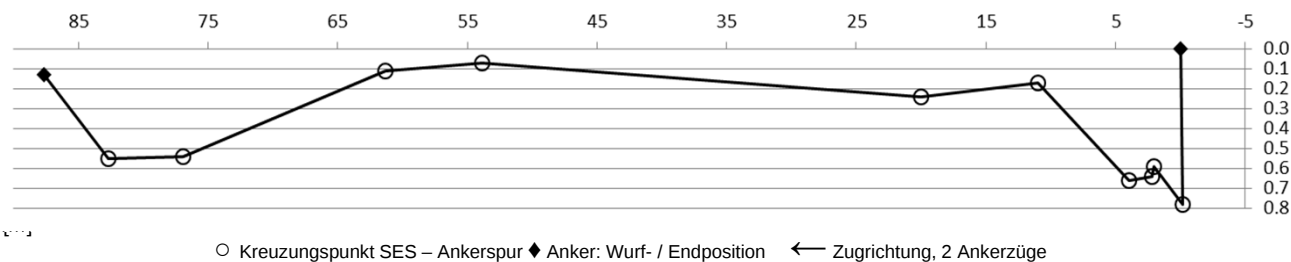
Anlage N5



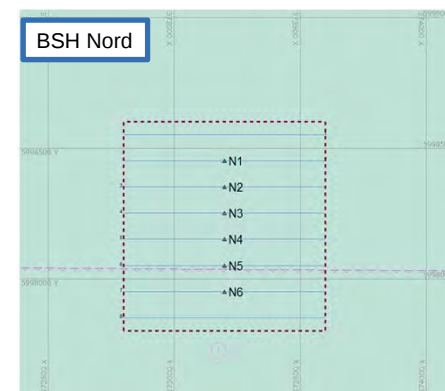
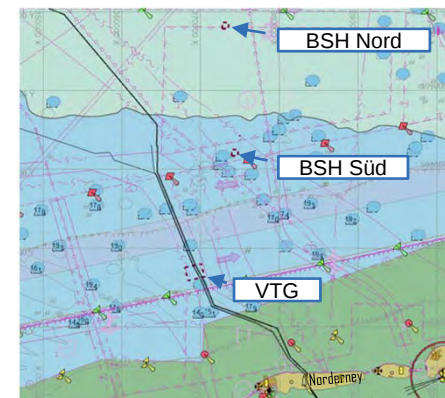
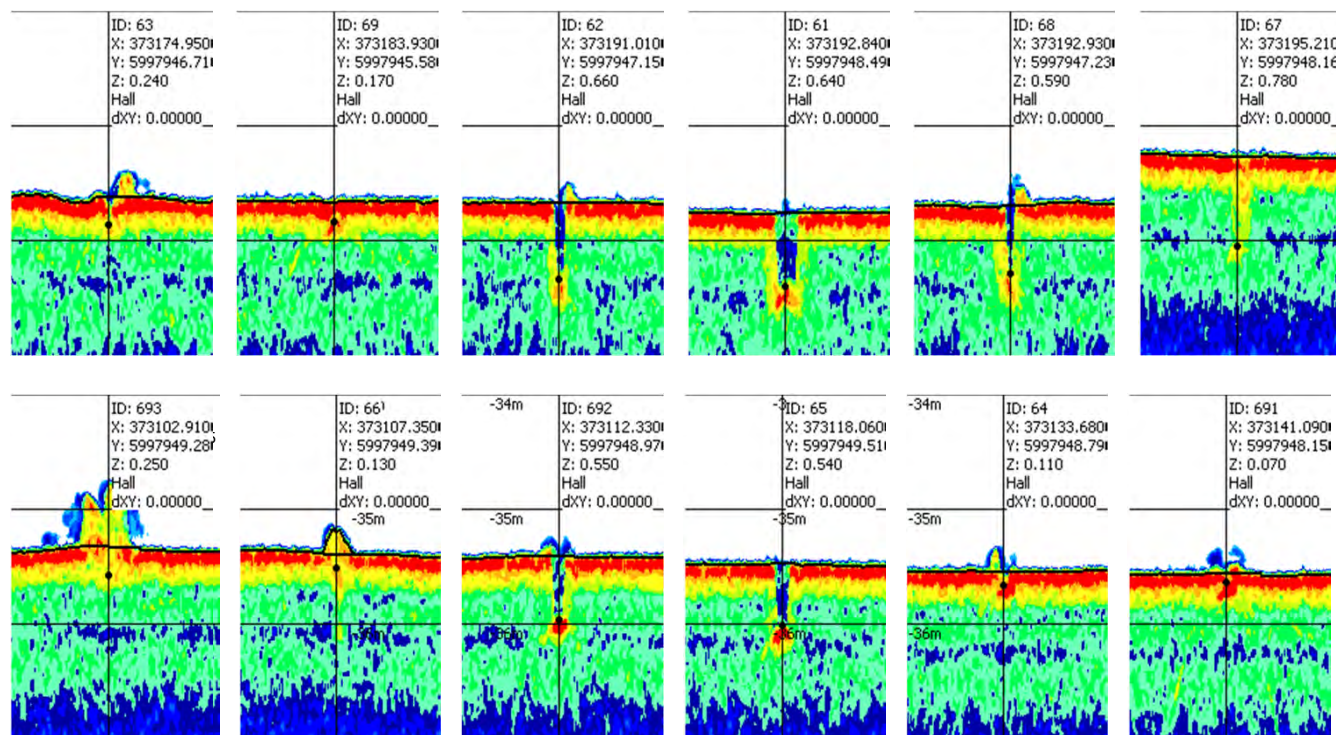
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Nord	Zuglänge [m]	92
Wurfposition	N6	Max. Zug [t]	65
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.78

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

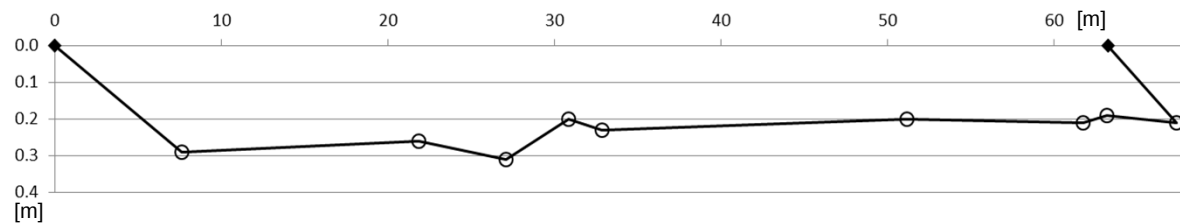
Anlage N6



Ankerspur (Trackplot UTM32)

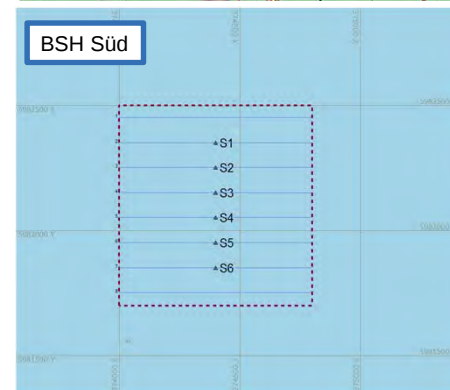
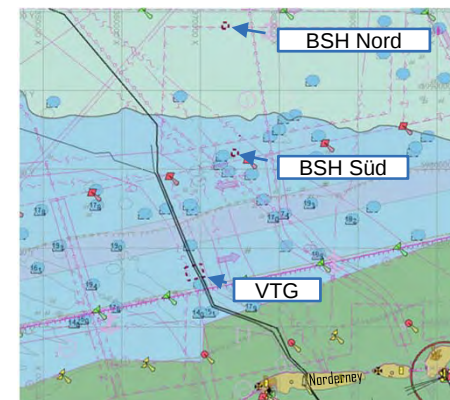
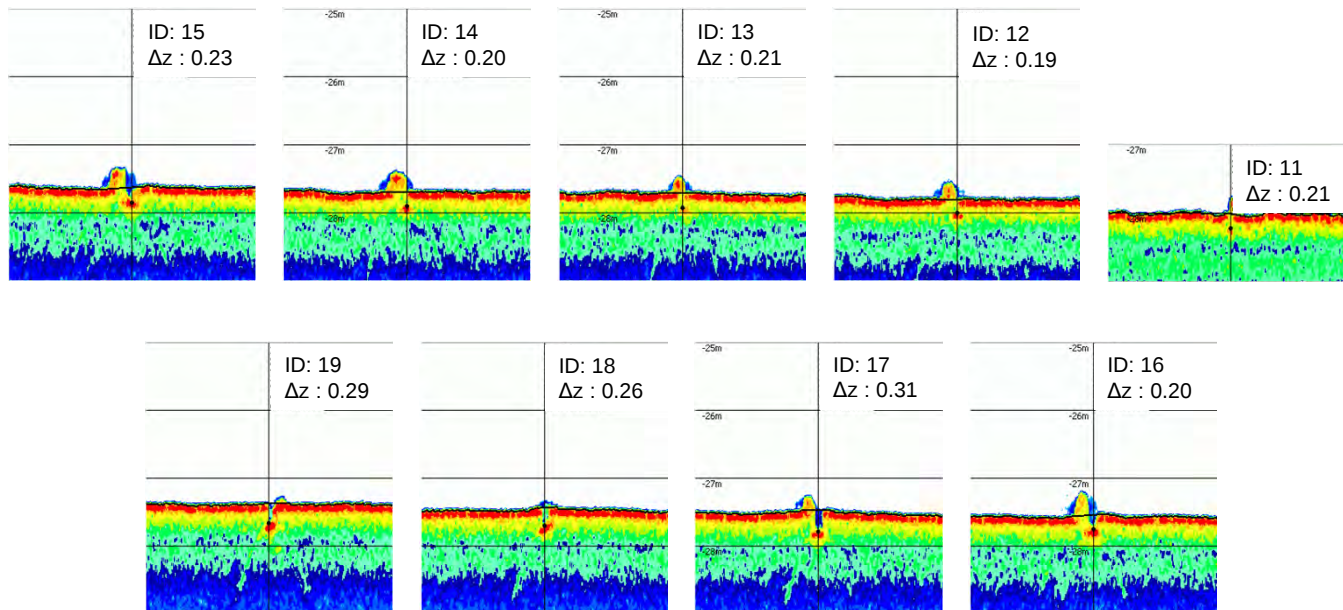


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung

SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	63
Wurfposition	S1	Max. Zug [t]	86
Ankertyp	AC 14	Max. Δz [m]	0.33

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

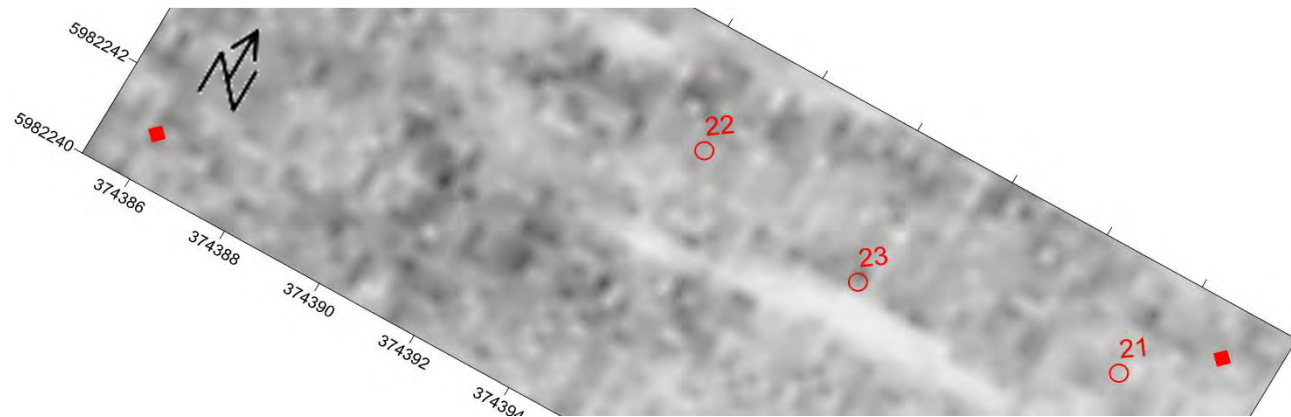
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

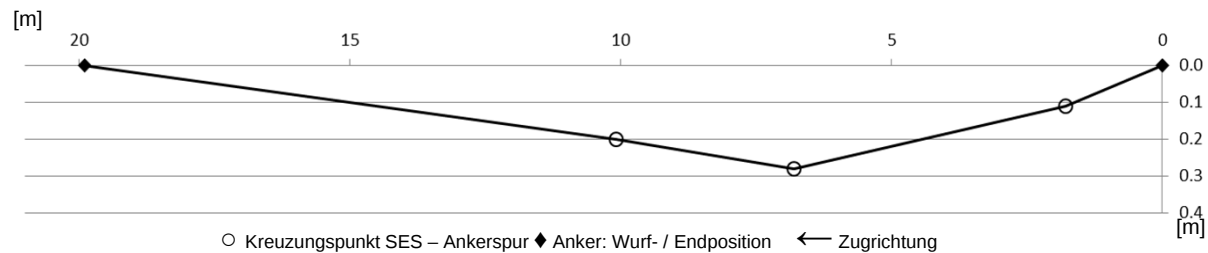
Anlage S1



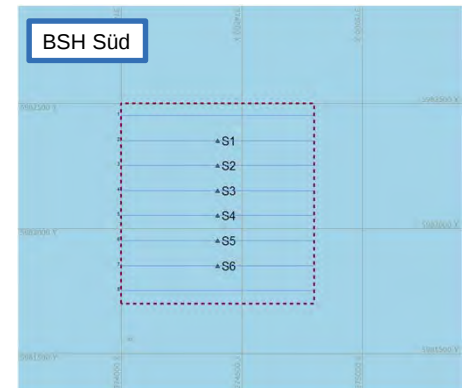
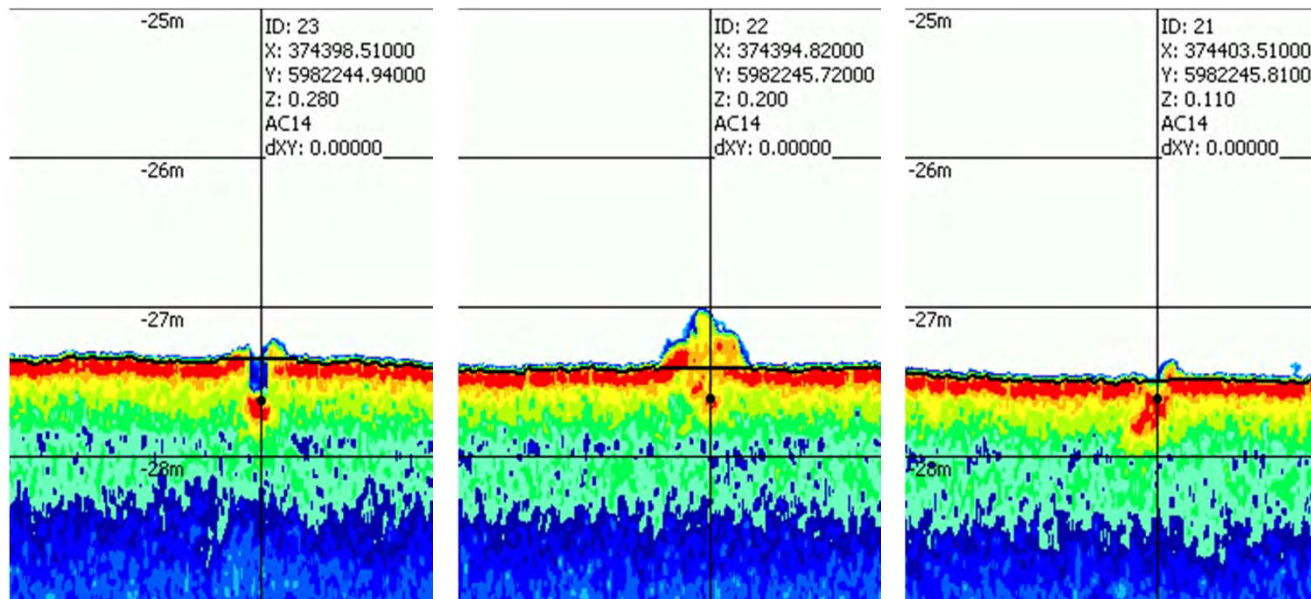
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	20
Wurfposition	S2	Max. Zug [t]	95
Ankertyp	AC 14	Max. Δz [m]	0.28

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

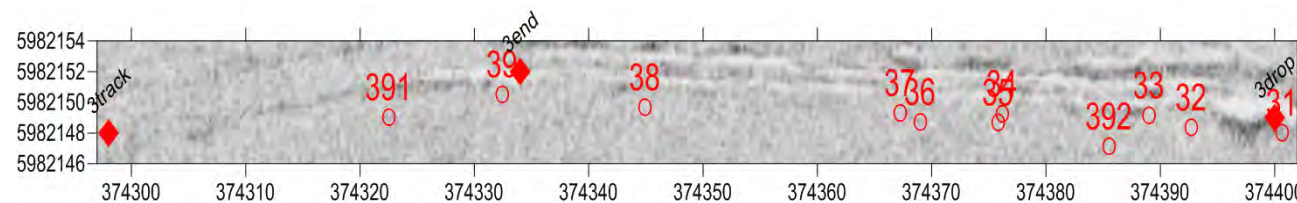
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

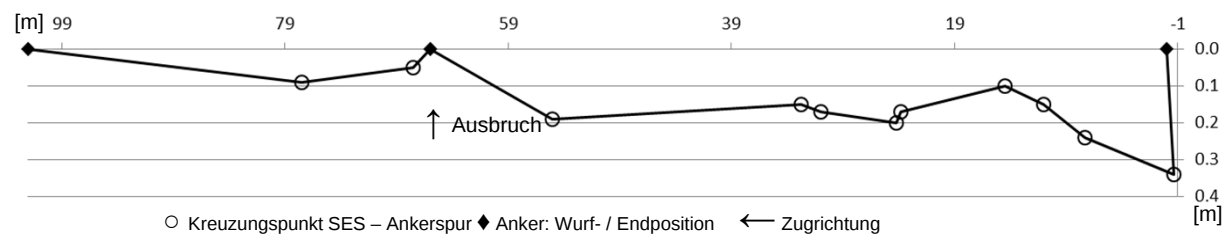
Anlage S2



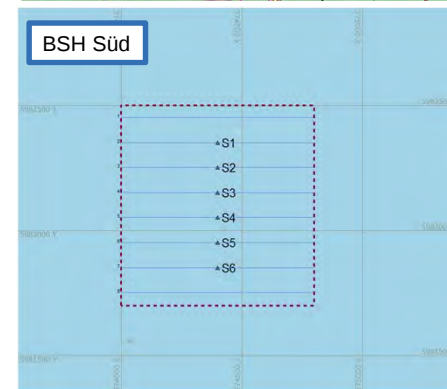
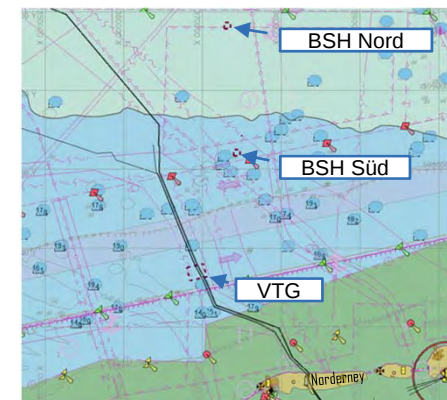
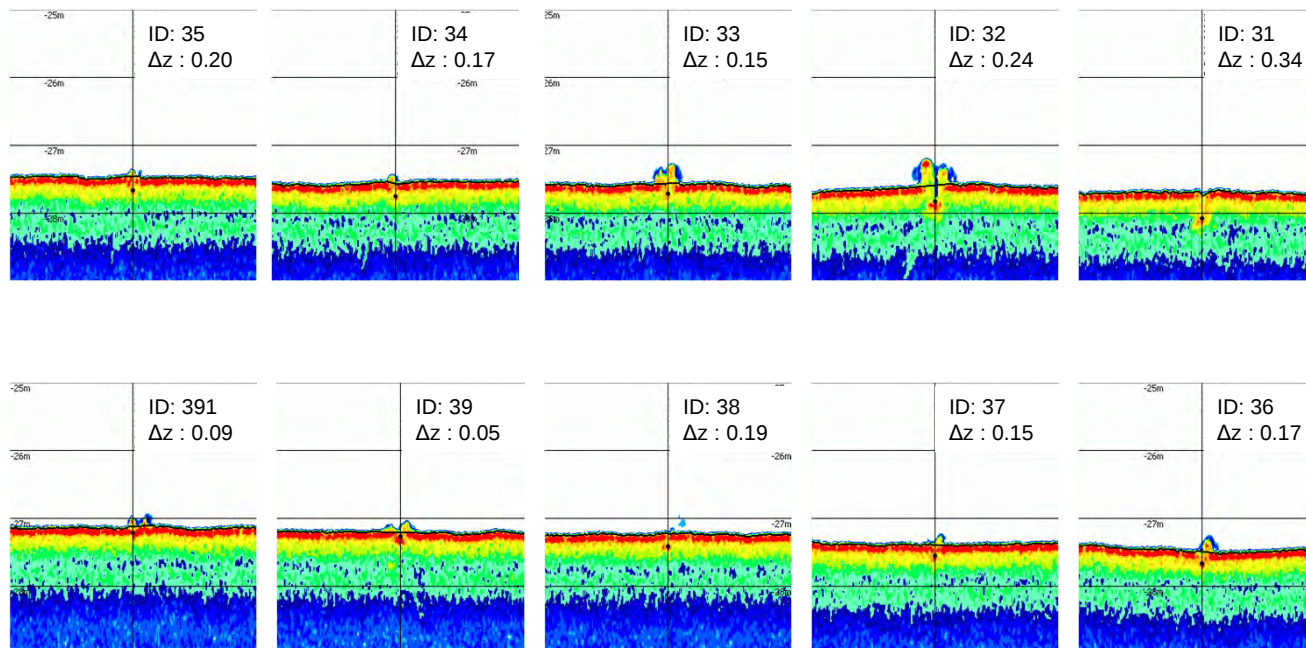
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	102
Wurfposition	S3	Max. Zug [t]	64
Ankertyp	AC 14	Max. Δz [m]	0.34

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

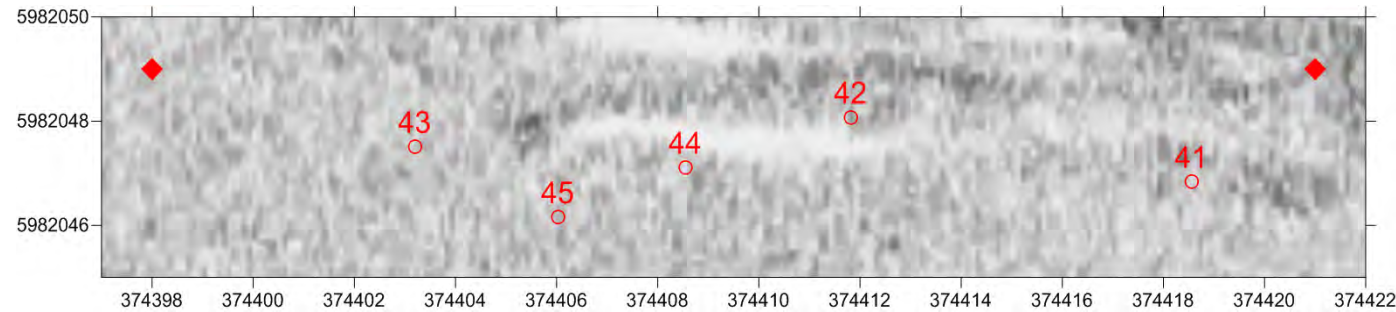
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

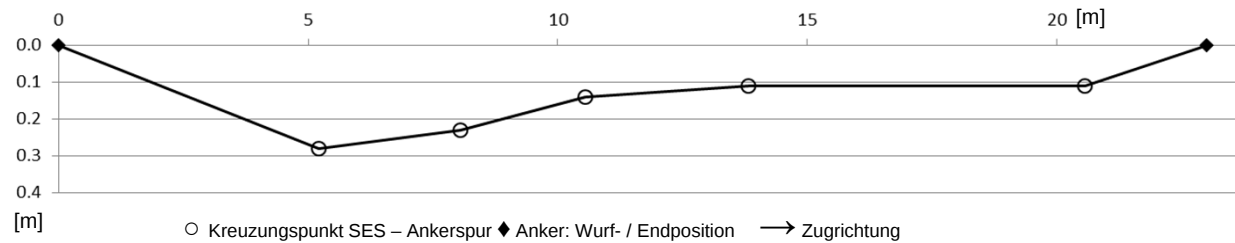
Anlage S3



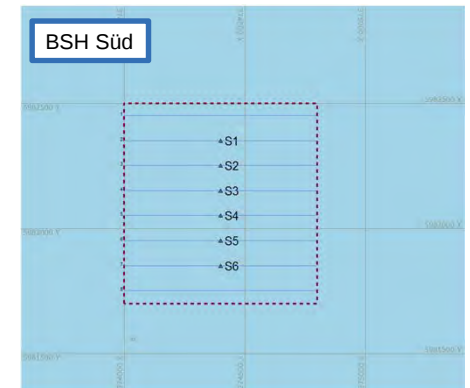
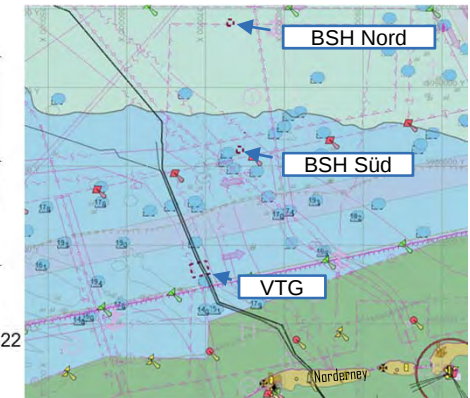
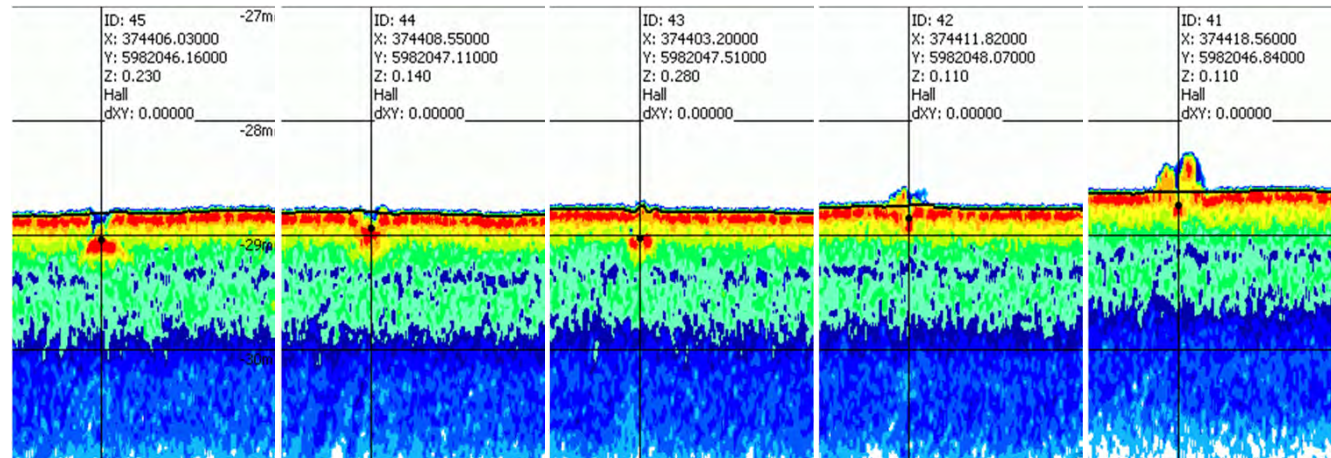
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	23
Wurfposition	S4	Max. Zug [t]	76
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.28

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

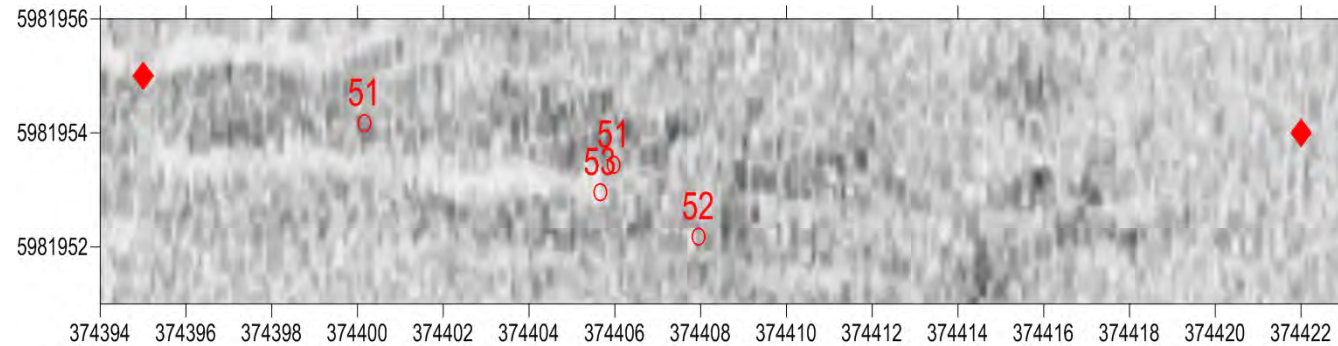
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

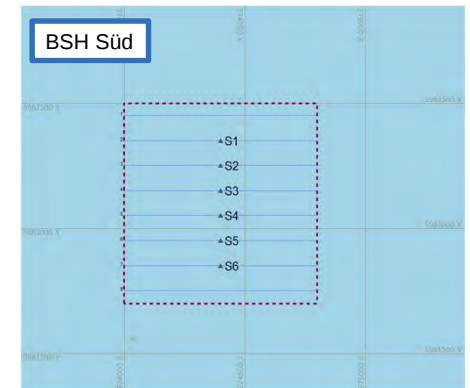
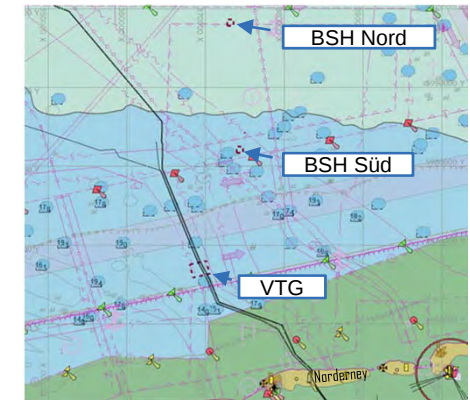
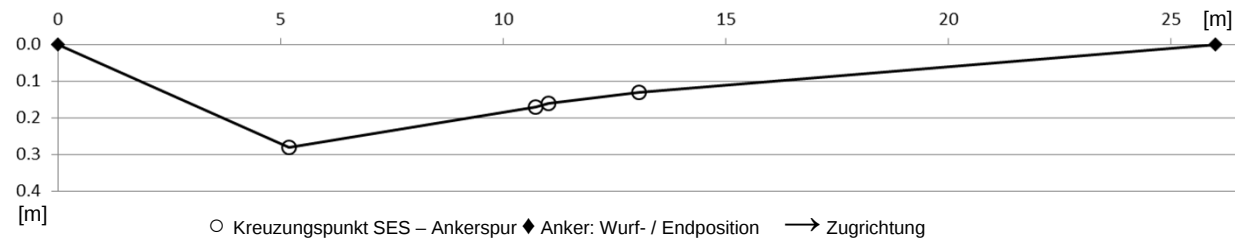
Anlage S4



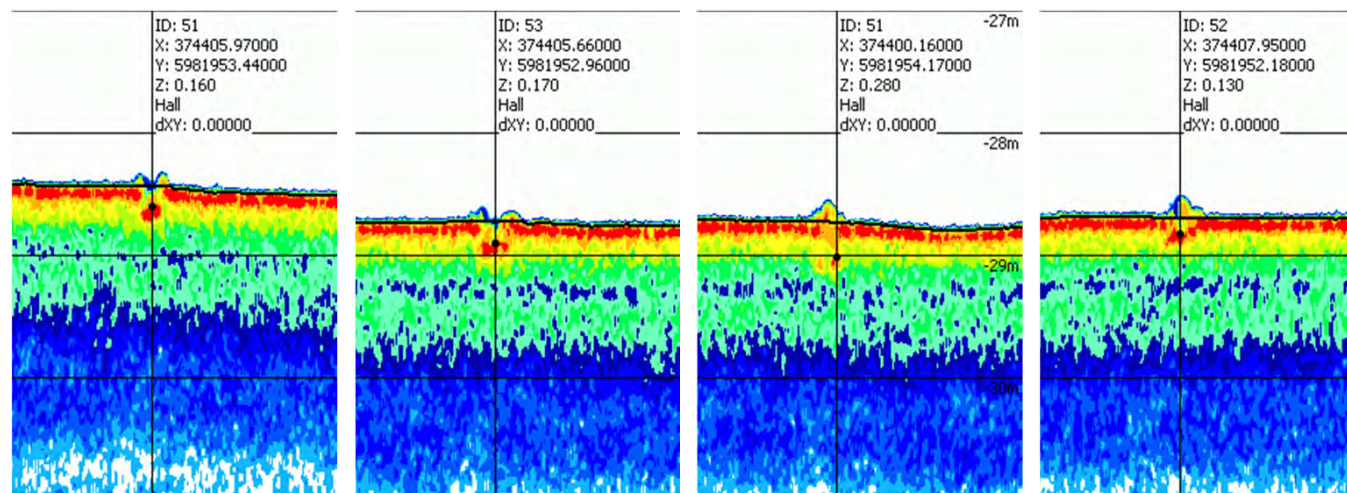
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	27
Wurfposition	S5	Max. Zug [t]	72
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.28

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

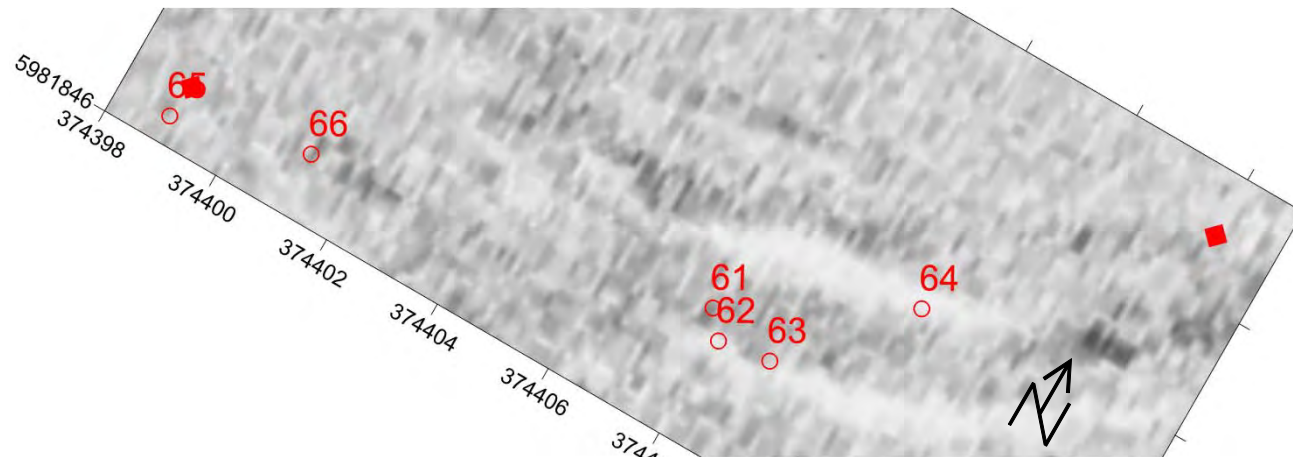
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

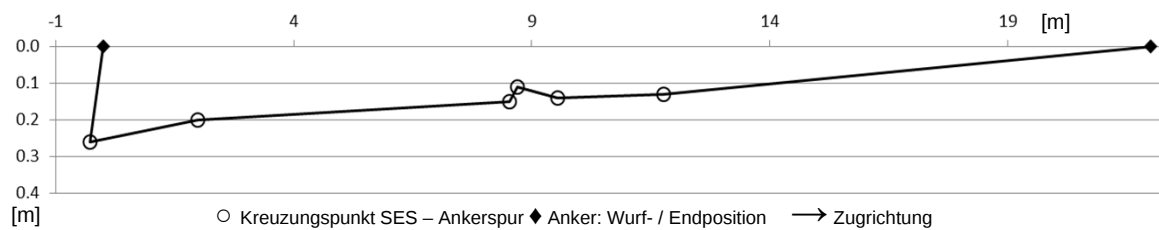
Anlage S5



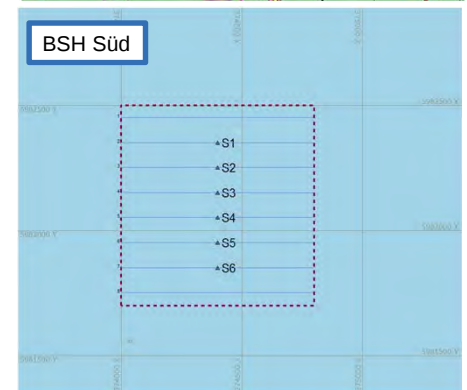
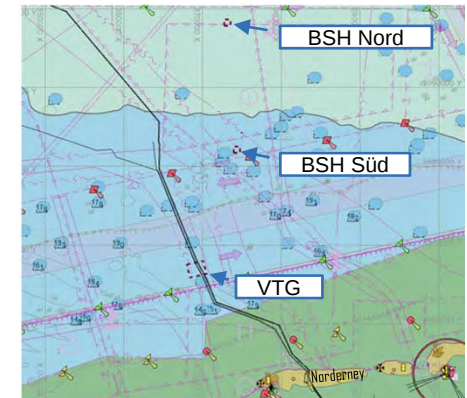
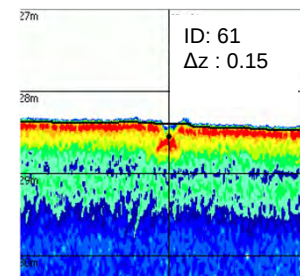
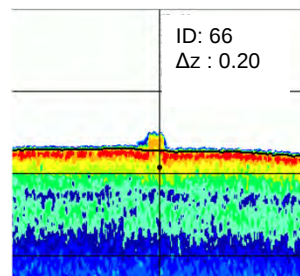
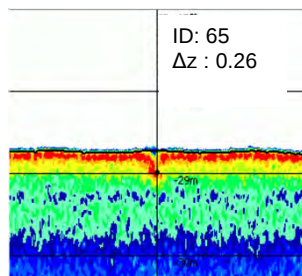
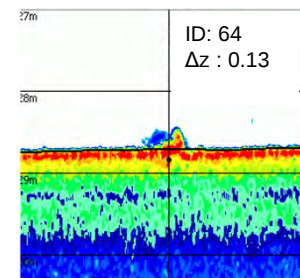
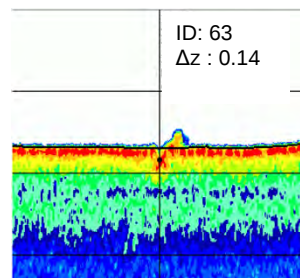
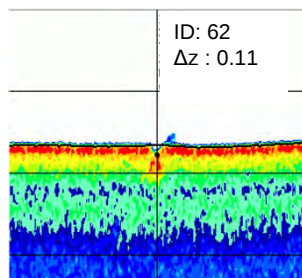
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	BSH Süd	Zuglänge [m]	22
Wurfposition	S6	Max. Zug [t]	80
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.26

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

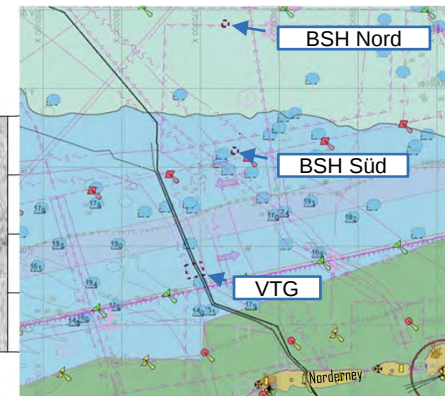
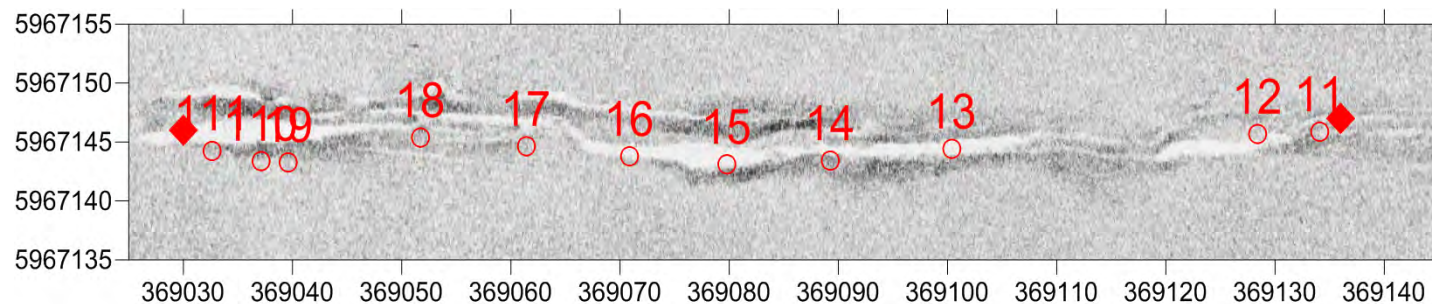
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

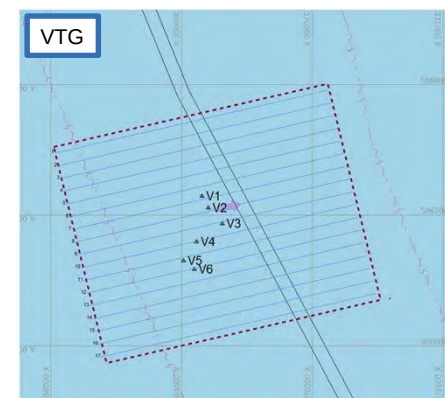
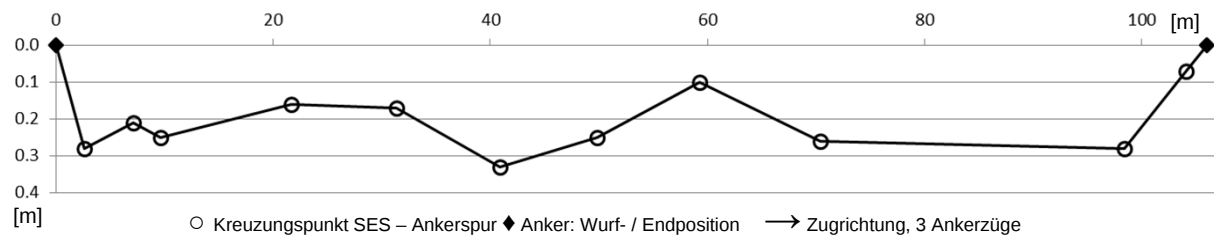
Anlage S6



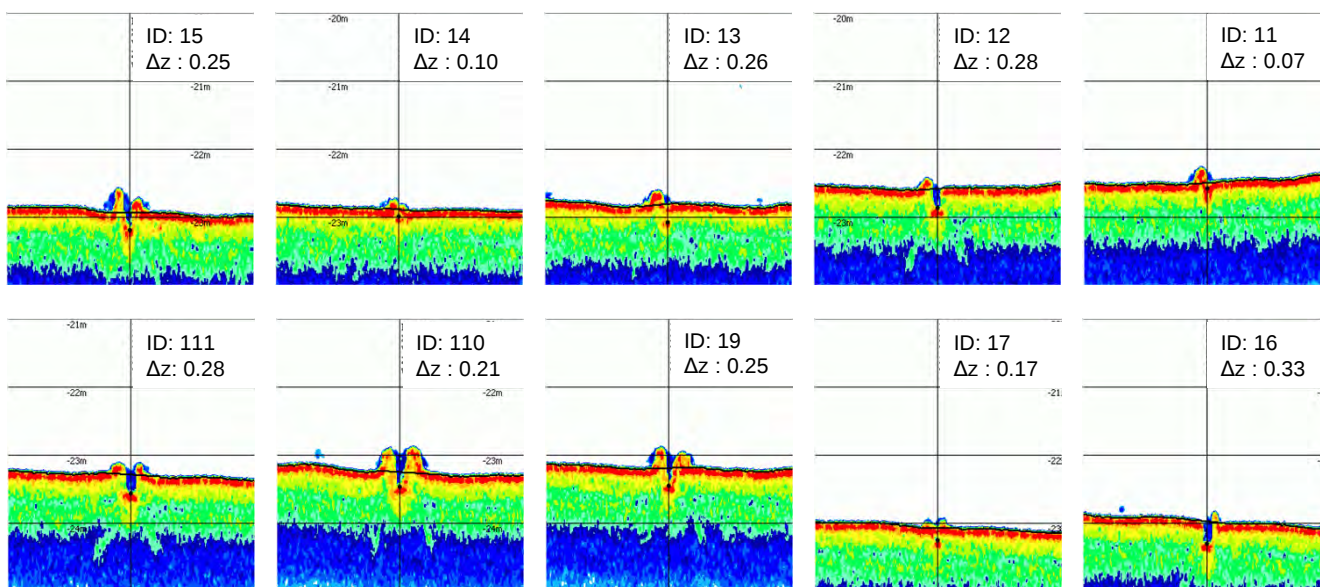
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	107
Wurfposition	V1	Max. Zug [t]	73
Ankertyp	AC 14	Max. Δz [m]	0.33

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

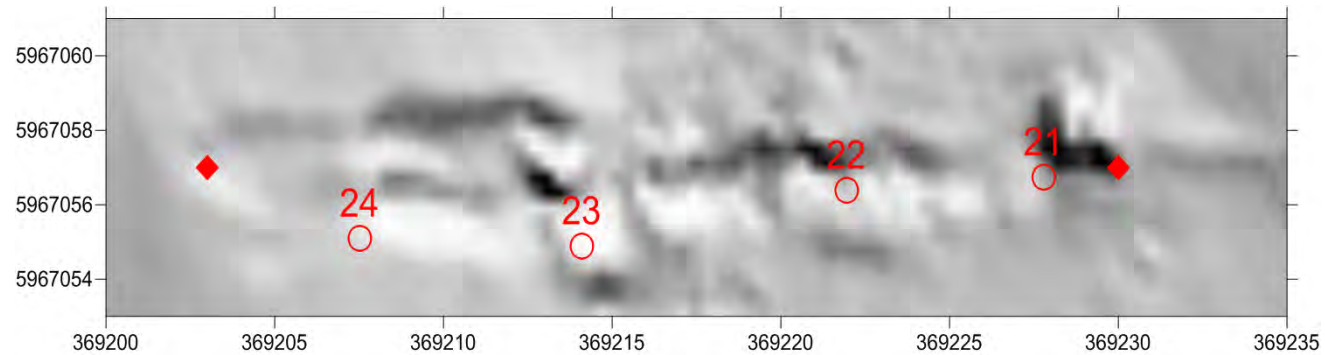
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

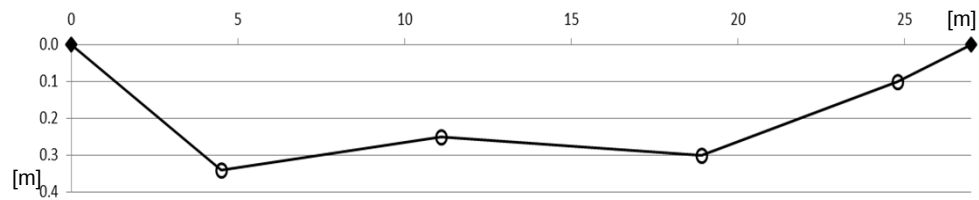
Anlage V1



Ankerspur (Trackplot UTM32)

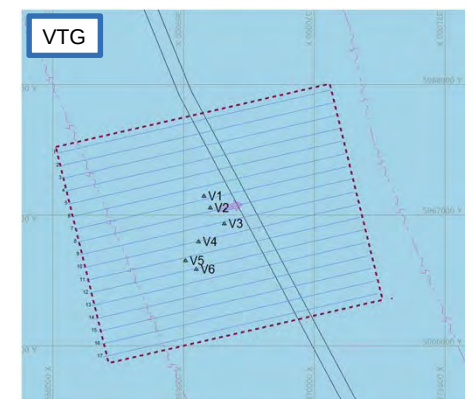
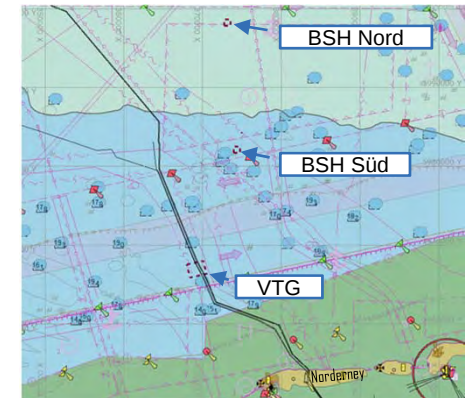
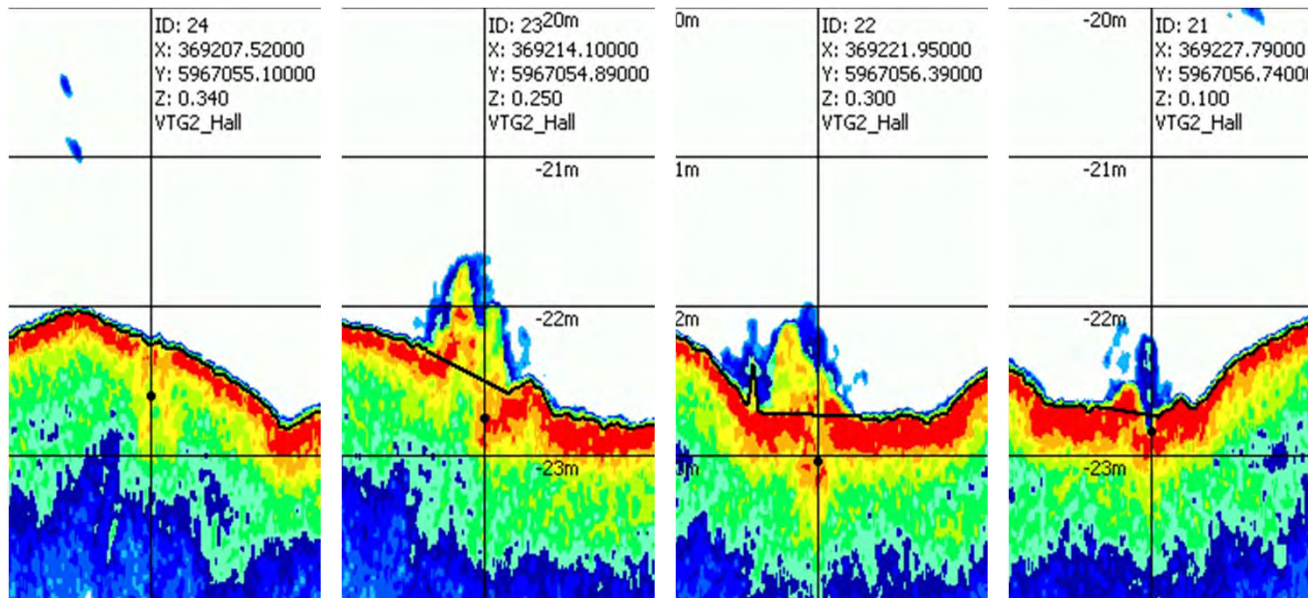


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf / Endposition → Zugrichtung

SES - Echogramme



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	27
Wurfposition	V2	Max. Zug [t]	75
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.34

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

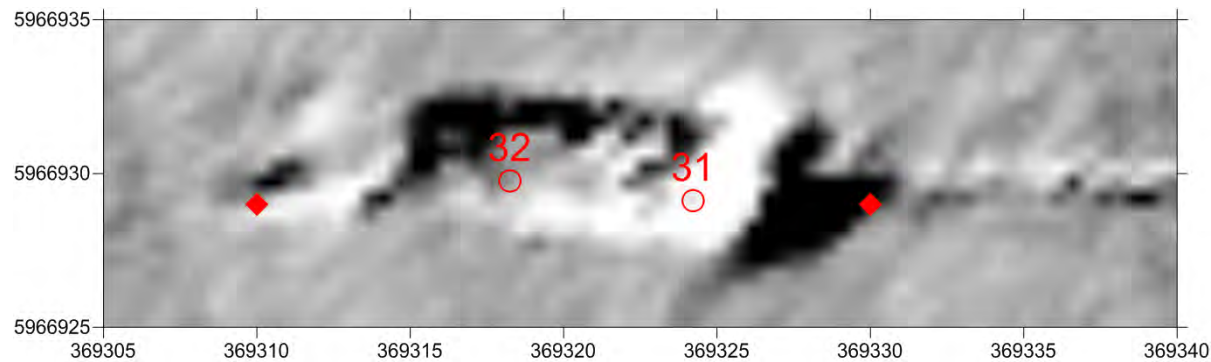
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

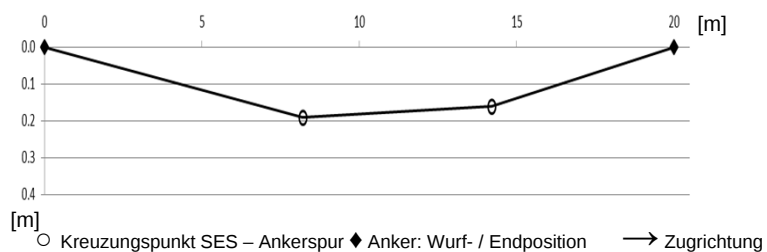
Anlage V2



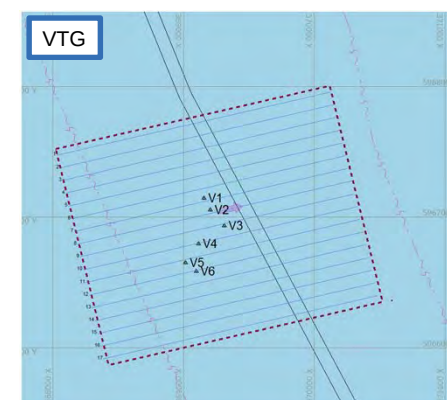
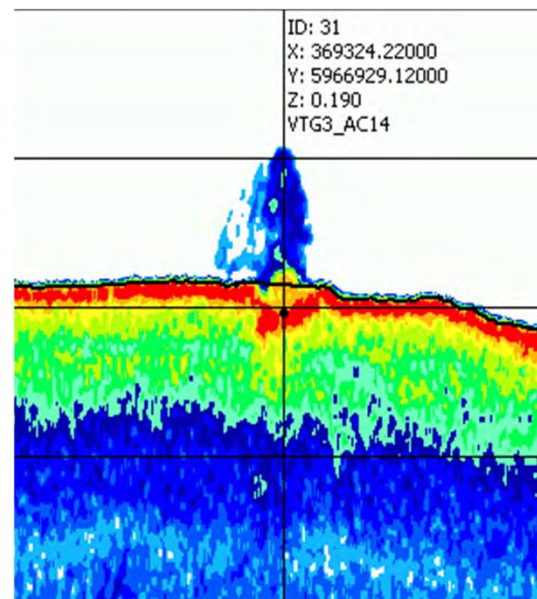
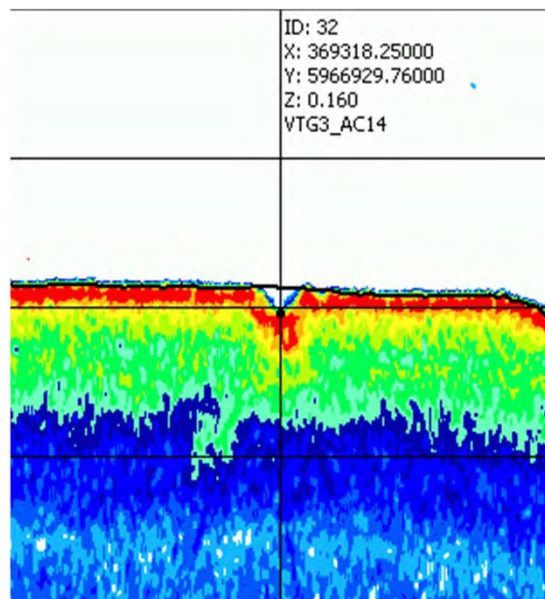
Ankerspur (Trackplot UTM32)



Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	20
Wurfposition	V3	Max. Zug [t]	78
Ankertyp	AC14	Max. Δz [m]	0.19

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

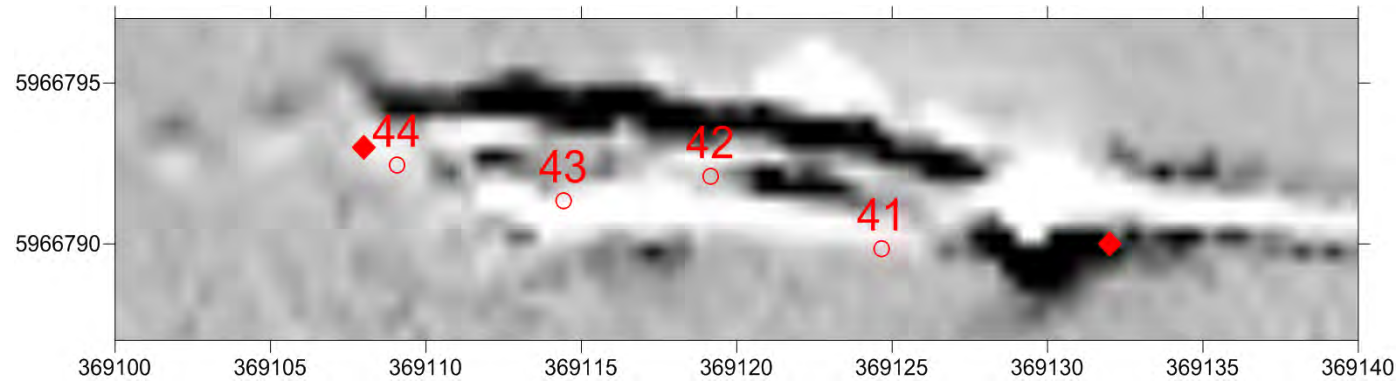
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

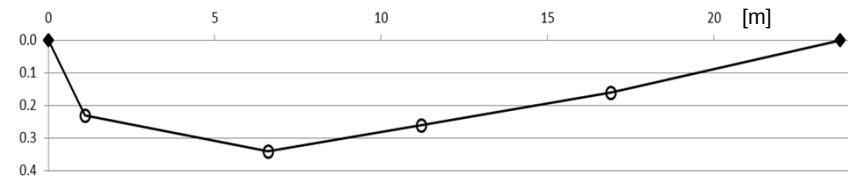
Anlage V3



Ankerspur (Trackplot UTM32)

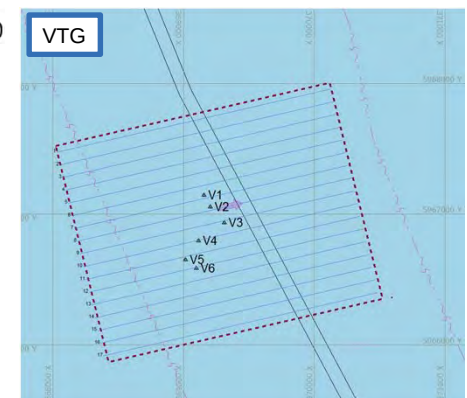
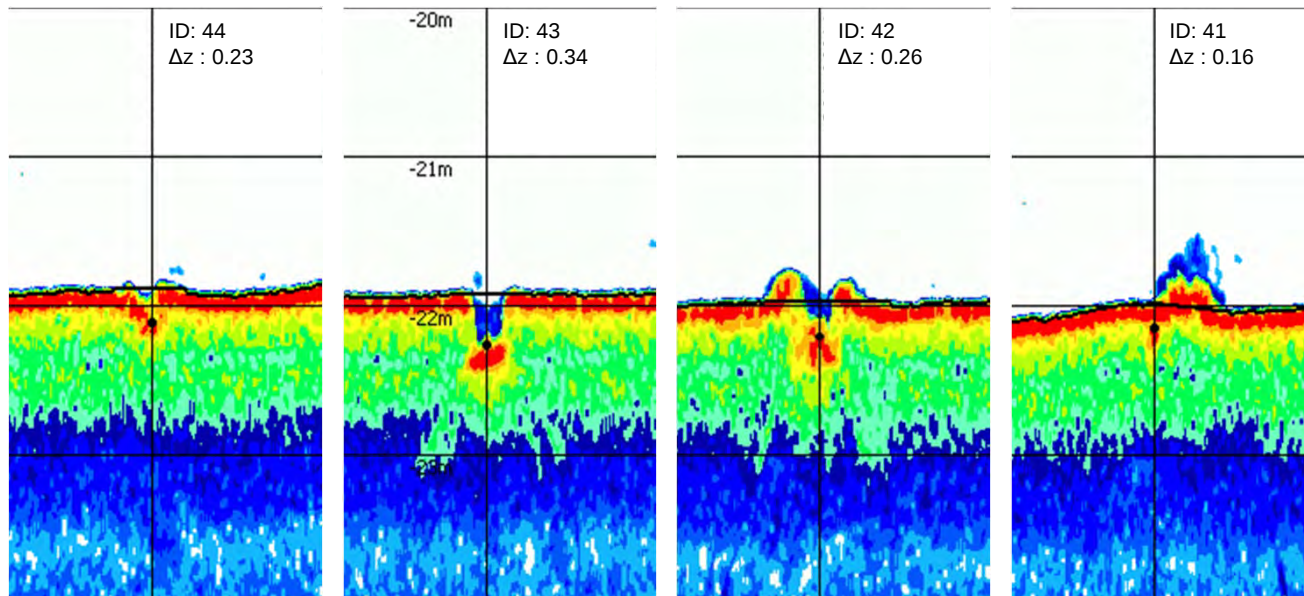


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung

SES - Echogramme



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	24
Wurfposition	V4	Max. Zug [t]	79
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.34

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

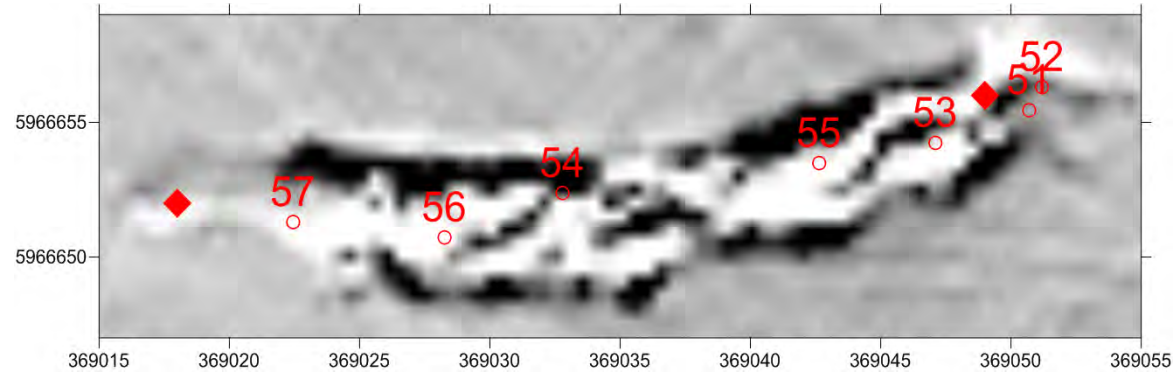
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

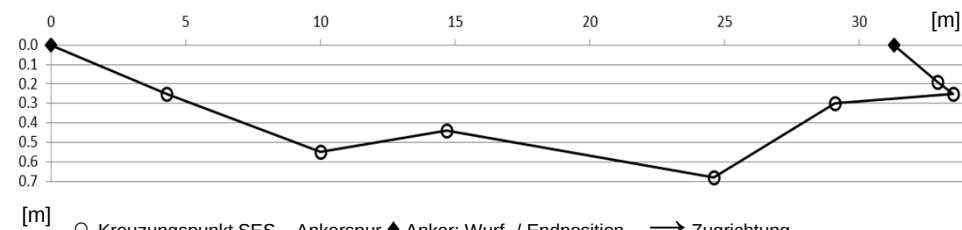
Anlage V4



Ankerspur (Trackplot UTM32)

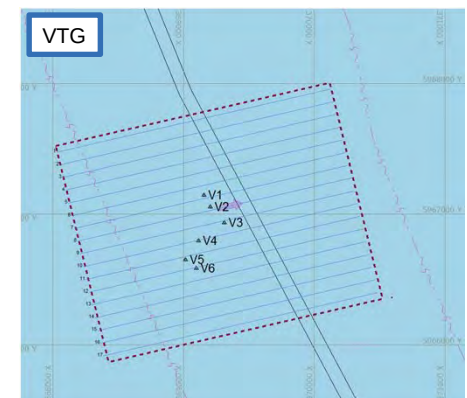
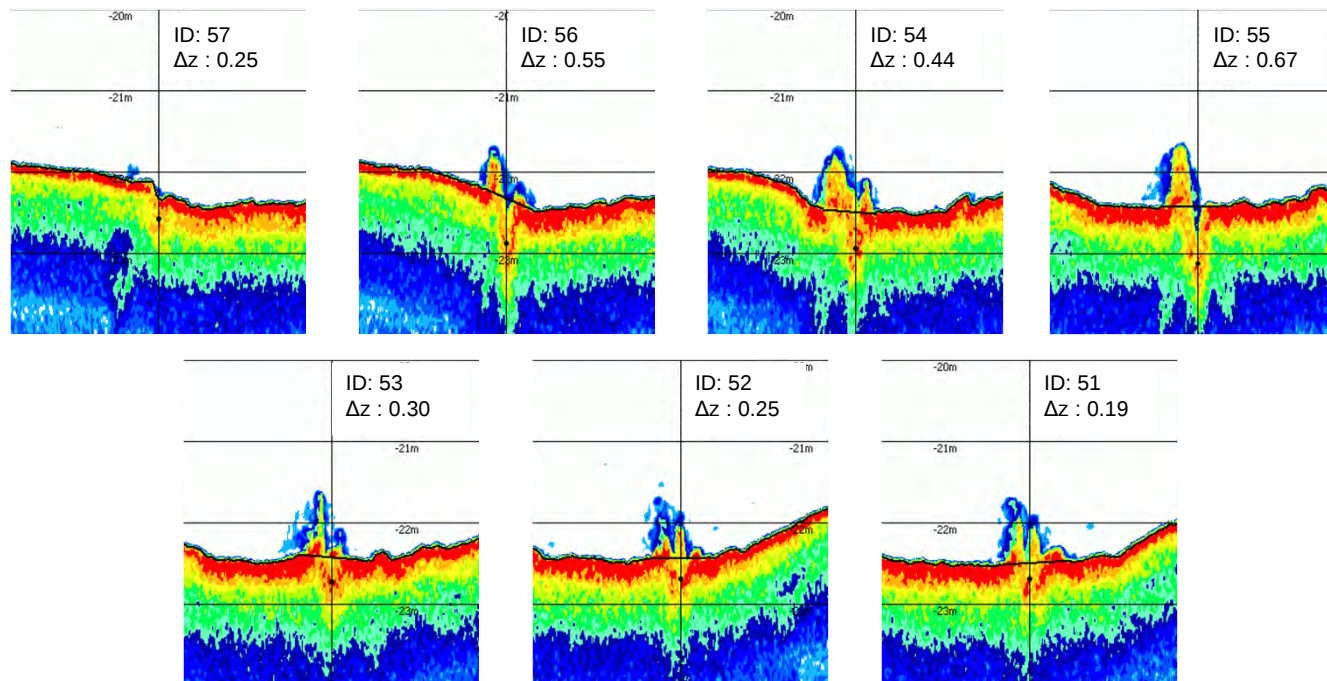


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



SES - Echogramme

○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	31
Wurfposition	V5	Max. Zug [t]	80
Ankertyp	AC14	Max. Δz [m]	0.67

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

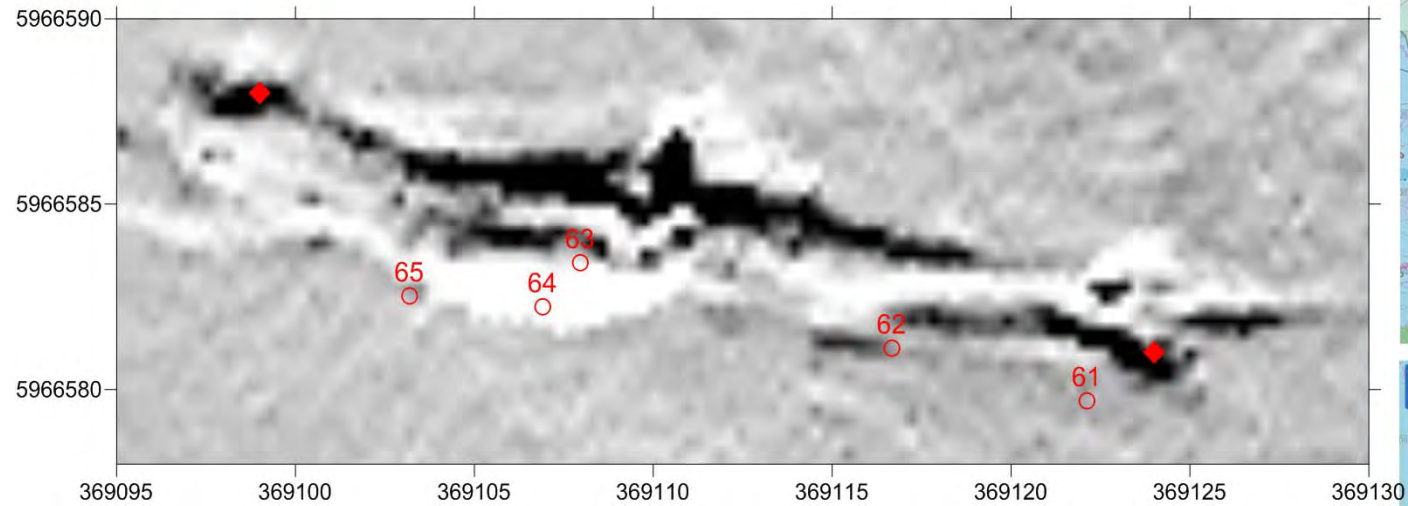
Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

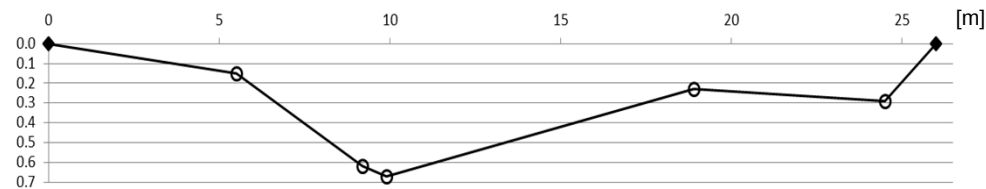
Anlage V5



Ankerspur (Trackplot UTM32)

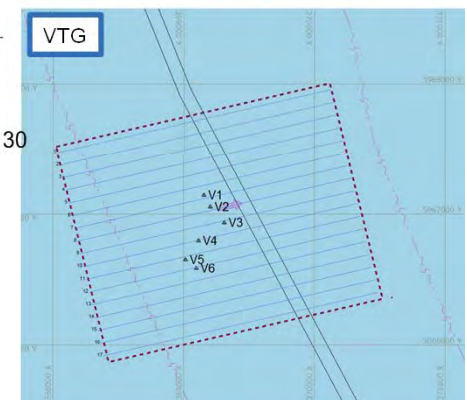
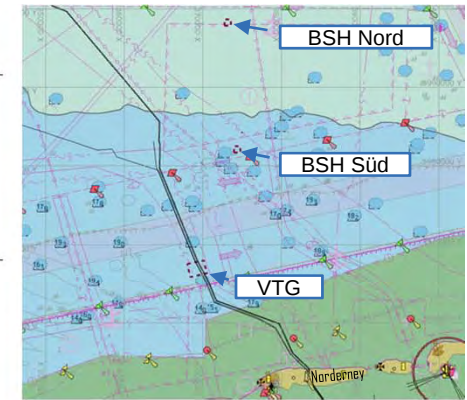
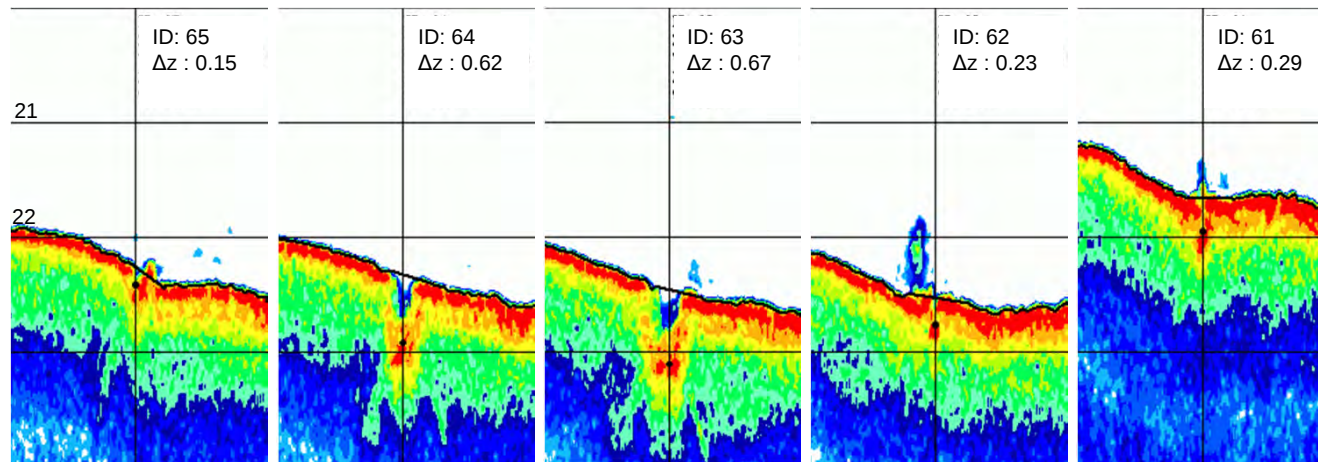


Ankereindringung Δz (Tiefenprofil bezogen auf das Niveau des ungestörten Seebodens)



[m] ○ Kreuzungspunkt SES – Ankerspur ◆ Anker: Wurf- / Endposition → Zugrichtung

SES - Echogramme



Gebiet	VTG	Zuglänge [m]	26
Wurfposition	V6	Max. Zug [t]	80
Ankertyp	Hall	Max. Δz [m]	0.67

Ankerzugversuche Deutsche Bucht SES – Vermessung der Ankerspuren

Ermittlung der maximalen Eindringtiefe
29. April bis 05. Mai 2013

Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr. A395 502 10088

Anlage V6





Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. 0721 97 26-0 · Fax 0721 97 26-45 40

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. 040 81 908-0 · Fax 040 81 908-373

Am Ehrenberg 8 · 98693 Ilmenau
Tel. 03677 669-0 · Fax 03677 669-33 33

www.baw.de