

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Fachzeitschrift für Hydrographie und Geoinformation

Ankeruntersuchungen in
der Deutschen Bucht –
Vermessung der Eindring-
tiefe von Schiffsankern
in den Seeboden

Alexander Behm und
100 Jahre Echolotpatente

Besuch der Ausstellung
»100 Jahre Echolot –
Die Tiefe hören« im
Kieler Rathaus

Alexander Behm –
Der Erfinder des Echolots?

»Und so habe ich immer
etwas zu tun« –
Ein Wissenschaftsgespräch
mit Siegfried Fahrenholz



Ankeruntersuchungen in der Deutschen Bucht

Vermessung der Eindringtiefe von Schiffsankern in den Seeboden

Ein Beitrag von *Christian Maushake*

Der Frage, wie tief ein Anker in den Seeboden eindringt, ist ein Expertenteam in der Deutschen Bucht nachgegangen. Von Bord eines Hochseeschleppers sind hierfür mit zwei schweren Marineankern insgesamt 18 Ankerzüge nach einem genau festgelegten Versuchsprogramm durchgeführt worden. Das Verhalten des Ankers sowie dessen Wirkung im Seeboden ist vor, während und nach den Ankerzügen vermessen und dokumentiert worden.

Hintergrund für diesen groß angelegten Naturversuch ist die Netzanbindung der zurzeit in der gesamten Nordsee entstehenden Offshore-Windenergieanlagen an das Festland.

Seekabel | Ankereindringung | Deutsche Bucht | Offshore Wind | Netzanbindung | Sedimentecholot

Veranlassung

»Wie tief dringt ein Anker in den Seeboden ein?« Dieser Frage ist ein Team von über zehn Ingenieuren und Wissenschaftlern unter Beteiligung mehrerer Firmen und Institutionen nachgegangen. Hintergrund für diesen groß angelegten Naturversuch ist die Netzanbindung der in der gesamten Nordsee entstehenden Offshore-Windparks. Hierfür werden Seekabel von Konverterplattformen und Umspannwerken auf See über festgeschriebene Kabeltrassen bis zum Festland verlegt. Die Bauvorschriften für den Einbau dieser Kabel im Seeboden sehen derzeit außerhalb der Verkehrswege eine Verlegetiefe von 1,5 m vor. Dort, wo Kabeltrassen innerhalb von Seeschiffahrtsstraßen verlaufen, ist eine Verlegetiefe von 3 m vorgesehen. Diese erhöhten Anforderungen werden mit dem Gefährdungspotenzial für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs begründet, welches unmittelbar in der Durchführung von Ankermanövern infolge von Havarien oder Notfällen gesehen wird. Die Verlegung von Seekabeln auf eine Tiefe von 3 m ist bei teilweise schwierigen Untergrundverhältnissen technisch jedoch sehr aufwendig und damit auch sehr teuer. Hierdurch verlängern sich

sowohl die Bauzeiten mit entsprechender Behinderung der Schifffahrt sowie auch erforderliche Reparaturzeiten, z. B. infolge von Havarien.

Vor diesem Hintergrund haben die für die Genehmigung zuständige GDWS Ast. NW und die für die Netzanbindung in der Nordsee verantwortliche Betreiberfirma Tennet ein Versuchsprogramm zur Ermittlung der tatsächlichen Eindringung von Ankern in den Seeboden vereinbart. Das Ergebnis soll »zum Zwecke des beiderseitigen Erkenntnisgewinns« dazu beitragen, das Gefährdungspotenzial sowohl für die Seekabel als auch für die Seeschifffahrt besser beurteilen zu können.

Als Untersuchungsgebiet ist das Verkehrstrennungsgebiet Terschelling – German Bight (VTG) festgelegt worden. Hier kreuzt die Schifffahrtsstraße unter anderem die Kabeltrassen des DolWin- und des BorWin-Projektes, über die z. B. die Windparks BARD Offshore 1 und MEG Offshore 1 angeschlossen werden.

Systematische Feldversuche zur Frage der Ankereindringtiefe im Untersuchungsgebiet sind bislang nicht dokumentiert und beziehen sich in anderen Revieren oft auf nautische oder schiffbauartige Aspekte von Ankerungen. Die Ergebnisse der

Autor

Christian Maushake ist als Hydrograph bei der BAW Hamburg in der Abteilung Wasserbau im Küstenbereich tätig

Kontakt unter:

christian.maushake@baw.de

Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete in der Deutschen Bucht mit Kurzbeschreibung der Oberflächensedimente

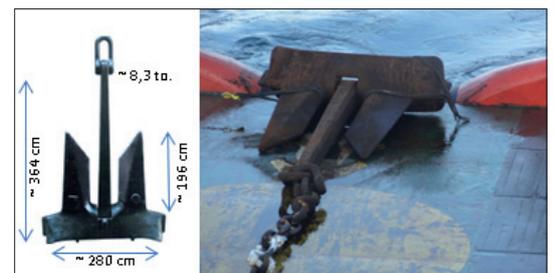
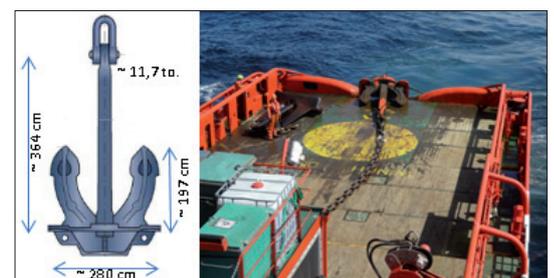
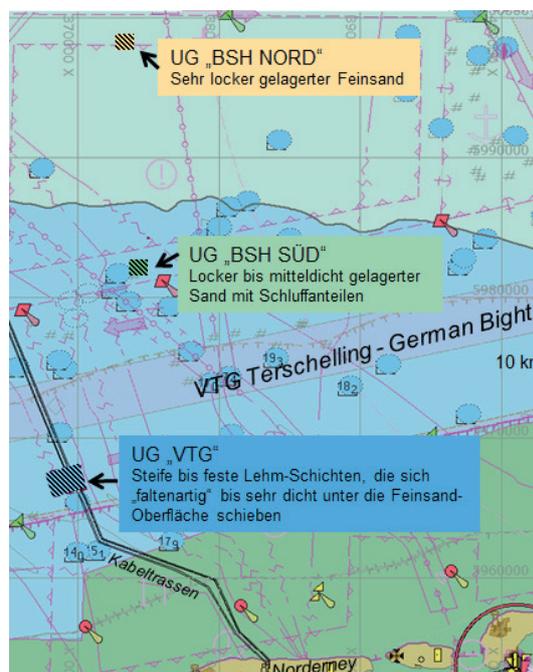


Abb. 2: Verwendete Versuchsanker, oben: Hall-Anker, unten: AC14-Anker

Untersuchungen sollen gegebenenfalls zu einer Neubewertung der Einbauvorschriften für Seekabel führen und Eingang in den durch das BSH aufgestellten Bundesfachplan Offshore finden.

Das Messprogramm ist durch Tennet koordiniert und maßgeblich finanziert worden. An der Durchführung, Auswertung und Dokumentation waren neben Tennet das BSH, das niederländische Forschungsinstitut Deltares und die BAW-DH beteiligt.

Der Beitrag beschreibt zunächst die Durchführung der Ankerzugversuche. Im Schwerpunkt widmet er sich dann der hydrographischen Vermessung der Ankerzugspuren mit akustischen Methoden, vor allem dem Einsatz eines parametrischen Flachwasser-Sedimentecholots. Im Schlusskapitel werden die Ergebnisse der Ankerzugversuche im Zusammenhang mit der derzeitigen Bemessungspraxis und im Hinblick auf zukünftige Planungs- und Genehmigungsverfahren diskutiert.

Ankerzugversuche

Für die Untersuchungen sind drei Gebiete mit unterschiedlicher Beschaffenheit des Seebodens in der Deutschen Bucht festgelegt worden. Eines davon liegt etwa 8 sm nordwestlich von Norderney im Bereich des VTG, zwei weitere weiter seewärts außerhalb der Verkehrswege (siehe Abb. 1). Die Wahl dreier unterschiedlicher Gebiete war erforderlich, um die Wechselwirkung des Eindringverhaltens von Ankern mit der Zusammensetzung der Sedimente im Seeboden berücksichtigen zu können.

Für die Ankerzüge sind zwei Versuchsanker ausgewählt worden, die den Regularien des Germanischen Lloyd für Containerschiffe bis zu einer Länge von 294 m und einer Kapazität von 80 000 tdw entsprechen. Zum einen war dies ein konventioneller Anker vom Typ »Hall« mit einem

Gewicht von 11,7 t, zum anderen ein äquivalenter High-Holding-Power-Anker (HHP) vom Typ »AC14« mit einem Gewicht von 8,3 t (siehe Abb. 2). Das Ankergeschirr (Ketten, Schäkel, Vorläufer, Zugseile etc.) wog noch einmal 8,7 t, und die Gesamtlänge von der Freibord-Kante bis zum Anker betrug ca. 140 m. Das Ankerhandling wurde von der »Esvagt Connector« durchgeführt, einem Hochseeschlepper, der mit 107 t Pfahlzug spezifiziert ist und während der Ankerzüge bis zu 95 t Zug auf den Anker brachte (siehe Abb. 3)

In den drei Untersuchungsgebieten wurden jeweils drei Ankerzüge mit jedem der beiden Versuchsanker durchgeführt. Im Gesamtergebnis standen also 18 Ankerzüge für die Auswertung zur Verfügung. Für das Absetzen des Ankers (Ankerwurf) sowie den daran anschließenden Ankerzug wurden im Vorfeld Positionen in den Untersuchungsgebieten festgelegt. Die Lage des Ankers auf dem Seeboden wurde mittels Unterwasservideo von einem ROV aus kontrolliert und dokumentiert. Gegebenenfalls wurde die Lage vor Beginn des Zuges noch einmal korrigiert, sodass Anker und Kette in einer Linie ausgerichtet waren und der Anker mit beiden Flunken auf dem Seeboden auflag. Damit sollte – im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung – eine maximal mögliche Eindringung gewährleistet werden. Während der Durchführung der Ankerzüge wurden die Zugkraft und die Bewegungen des Schleppers kontinuierlich aufgezeichnet.

Diese leistungsfähige Versuchsinfrastruktur ermöglichte eine realitätsnahe Umsetzung der Ankerzüge unter kontrollierten Bedingungen.

Hydrographische Vermessung der Ankerspuren

Für die Vermessungsarbeiten stand umfangreiches hydrographisches Equipment zur Verfügung, welches von den zwei beteiligten Ver-

»Bundesfachplan Offshore«

Im Rahmen der Beschlüsse zur Energiewende im Juni 2011 und der Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes (§17 Absatz 2a Satz 3 und 4 EnWG) hat das BSH einen »Bundesfachplan Offshore« für die deutsche AWZ (Ausschließliche Wirtschaftszone) aufzustellen. Hierin wird die Fachplanung für die Infrastrukturen des Stromtransportes geregelt. Die Aufstellung des Plans erfolgt im Einvernehmen mit der Bundesnetzagentur (BNetzA) und in Abstimmung mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) sowie den Küstenländern. Die Belange der Schifffahrt in den Seewasserstraßen werden von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes wahrgenommen. Weitere Informationen auf den Internetseiten des BSH: www.bsh.de/de/Meeresnutzung/BFO/index.jsp

Abb. 3, rechts: Hochseeschlepper »Esvagt Connector« beim Ankerzug;
links: Vermessungsschiffe »Wega« und »Guardian«, im Vordergrund der AC14-Anker an Deck der »Esvagt Connector«



Parametrisches Sedimentecholot

Die hohe Energie, die erforderlich ist, um eine Eindringung von Echolotsignalen in den Seeboden zu erreichen, ist nur mit tiefen Frequenzen (< 15 kHz, je nach Boden) zu erzielen. Diese Signale lassen sich jedoch nicht bündeln, sie können nur in einem großen Öffnungswinkel abgestrahlt werden und liefern somit eine schlechte räumliche Auflösung (»großer« Footprint). Auch andere akustische Effekte (z. B. Nebenkeulen und das sogenannte »Ringing«) lassen den Einsatz tiefer Frequenzen für kleinräumige, hochauflösende Flachwasseranwendungen nicht geeignet erscheinen. 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, tieffrequentes 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, wie der Wassertiefe, der Sedimentzusammensetzung, der Lagerungsdichte und dem Gas- und Luftanteil im Boden.

messungsschiffen (siehe Abb. 3) aus eingesetzt wurde:

- VWFS »Wega« (BSH): Side-Scan-Sonar (SSS), Sedimentecholot (SES) durch BSH und BAW-DH,
- »Guardian« (Braveheart Shipping): Multi-Beam Echo-Sounder (MBES) und Video-Tauchroboter (ROV) durch Tennet.

Vor Beginn der Ankerzüge ist im Bereich der geplanten Wurfpositionen eine Basisvermessung durch VWFS »Wega« mit SSS und SES durchgeführt worden. Durch die Basisvermessung sollten eventuelle Hindernisse im Bereich der Ankerwürfe aufgespürt werden (SSS), und die Untergrundstrukturen in den jeweiligen Gebieten sollten erkundet werden (SES). Der Abstand der Profillinien für die Basisvermessung wurde mit 100 m festgelegt, sodass die SSS-Aufnahme flächendeckend war. Die geplanten Wurfpositionen konnten dann noch den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Die Wirkung der Versuchsanker, insbesondere die Eindringung in den Seeboden, ist nach Beendigung des Ankerzuges durch eine hochauflösende Vermessung der Ankerspur untersucht worden. Eine wesentliche Anforderung hierbei war es, 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. Flächenhafte Verfahren, welche ausschließlich Informationen über die Oberflächenstrukturen liefern, wie z. B. MBES oder SSS, kommen daher für eine Vermessung nicht in Betracht. Vielmehr lässt sich der »tiefste Wirkpunkt« des Ankers 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 ein parametrisches Flachwasser-Sedimentecholot vom Typ Innomar SES 2000 Standard eingesetzt worden. Das SES ist ein linienhaft arbeitendes Vermessungssystem, welches entlang einer Profillinie (entspricht dem gefahrenen 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.

Unmittelbar nachdem ein oder auch mehrere Ankerzüge beendet waren, sind die Ankerspuren zunächst durch parallel zur Zugrichtung gefahrene SSS-Profile aufgesucht und kartiert worden. Die Sonarbilder sind dann direkt an Bord prozessiert worden, sodass die Koordinaten der Ankerwurfposition sowie der Endlage des Ankers nach dem Ankerzug bestimmt werden konnten. Diese Punkte dienten als Basislinie für die Vermessung der Ankereindringtiefe mit dem 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 zwei und zwölf Querungen einer Ankerspur zustande gekommen (siehe Abb. 4 und 5).

Ergebnisse

In allen Profilfahrten war die Wirkung des Ankers im Seeboden deutlich zu identifizieren. 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. durch den Seeboden gezogen wird, ört-

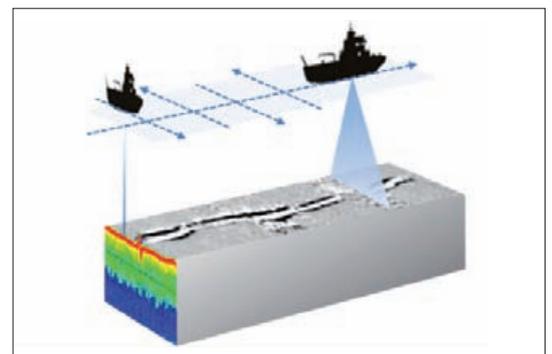
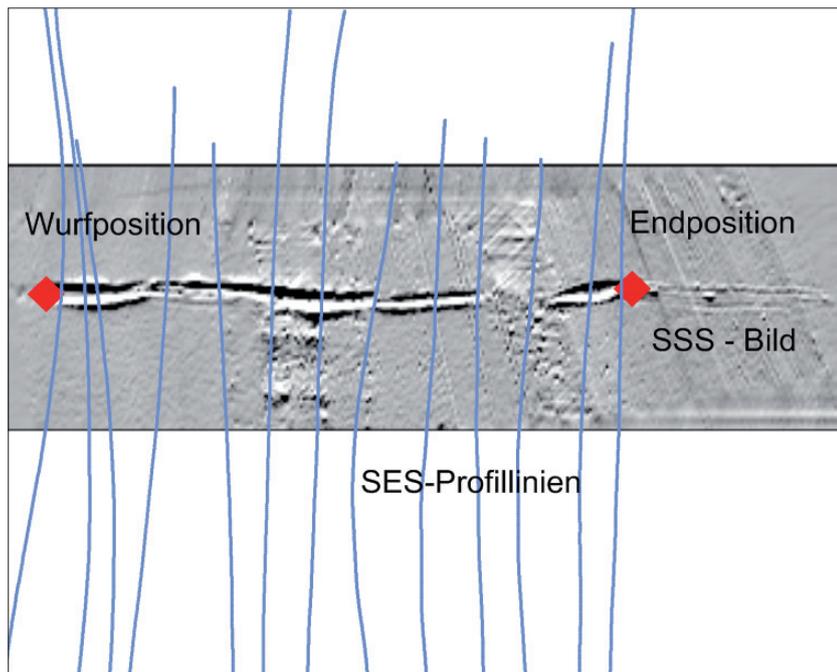


Abb. 5: Schematische Darstellung der Kombination aus SES- und SSS-Vermessung

Abb. 4: SES-Profillinien (blau) über SSS-Darstellung einer Ankerspur

lich durch Auflockerung, Verdichtung und Umlagerung eine Veränderung der Sedimentstrukturen 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 (manuelle) Digitalisierung des angenommenen Seebodenprofils ohne Einwirkung des Ankers festgelegt.

Abb. 6 verdeutlicht das Vorgehen bei der Auswertung der Ankereindringtiefe mit der Software ISE (Auswertesoftware für Systeme vom Typ Innomar SES 2000). Zu sehen ist die Querung von zwei Ankerspuren im Untersuchungsgebiet BSH Nord.

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

- Fehler aus der manuellen Digitalisierung,
- Fehler aufgrund einer veränderten Schallgeschwindigkeit im Sediment (Schallgeschwindigkeit durchs Wasser ca. 1500 m/s; Schallgeschwindigkeit durch Sand ca. 1600 m/s).

Bei einer Gesamtfehlerbetrachtung unter ungünstigen Annahmen (Worst Case!) ergibt sich eine maximale Unsicherheit von 11 cm bei der Bestimmung der Ankereindringtiefe.

Aus den Kreuzungspunkten der SES-Vermessung mit der Ankerspur können Tiefenprofile abgeleitet werden, die Aufschluss über Länge und Eindringtiefe des Ankerzuges geben. Abb. 7 zeigt exemplarisch das Ergebnis eines Ankerzuges aus dem Untersuchungsgebiet BSH Nord.

Das Gesamtergebnis ist in der Tabelle zusammengefasst.

Pos.	Typ	Anzahl der Züge	Zuglänge [m]	Max. Zug [t]	Max. Δz [m]
N1	AC14	1	67	62	0,65
N2	Hall	2	92	64	0,70
N3	AC14	1	57	82	0,69
N5	Hall	2	87	58	0,88
N6	Hall	2	92	65	0,78
S1	AC14	1	63	86	0,33
S2	AC14	1	20	95	0,28
S3	AC14	1	102	64	0,34
S4	Hall	1	23	76	0,28
S5	Hall	1	27	72	0,28
S6	Hall	1	22	80	0,26
V1	AC14	3	107	73	0,33
V2	Hall	1	27	75	0,34
V3	AC14	1	20	78	0,19
V4	Hall	1	24	79	0,26
V5	AC14	1	31	80	0,67
V6	Hall	1	26	80	0,67

Die Positionsbezeichnung (Pos.) setzt sich aus dem Kürzel für das Versuchsgebiet (N = BSH Nord, S = BSH Süd, V = VTG) sowie der Positionsnummer zusammen. Auf einigen Positionen sind zwei oder drei Ankerzüge (Anzahl der Züge) durchgeführt worden, ohne den Anker aufzunehmen. Die maximale Zugkraft (Max. Zug) ist der Aufzeichnung des Ankerschleppers entnommen worden. Δ z ist die aus den SES-Messungen ermittelte Ankereindringtiefe.

Erwartungsgemäß zeigen sich im Untersuchungsgebiet BSH Nord mit einem lockeren Sedimentaufbau die größten Eindringtiefen. In den anderen beiden Gebieten sind die festgestellten Eindringtiefen deutlich geringer. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Bestimmung der Ankereindringtiefe ist im Rahmen der durchgeführten Ankerzugversuche keine Eindringtiefe von mehr als einem Meter festgestellt worden. Im besonders kritischen Gebiet des VTG betrug dieser Wert sogar nur 0,80 m.

In weiteren Analysen und Gutachten unter anderem mit Beteiligung des niederländischen Forschungsinstitutes Deltares werden die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Schiffsgrößen und Ankertypen sowie weitere geotechnische Aspekte der Wechselwirkung zwischen Anker und Seeboden untersucht.

Aufgrund des Umfangs und der Qualität der Versuchsdaten sind die Ergebnisse als robust und belastbar einzuschätzen und bilden eine sehr gute Grundlage für die Beurteilung der Ankereindringung in den Seeboden.

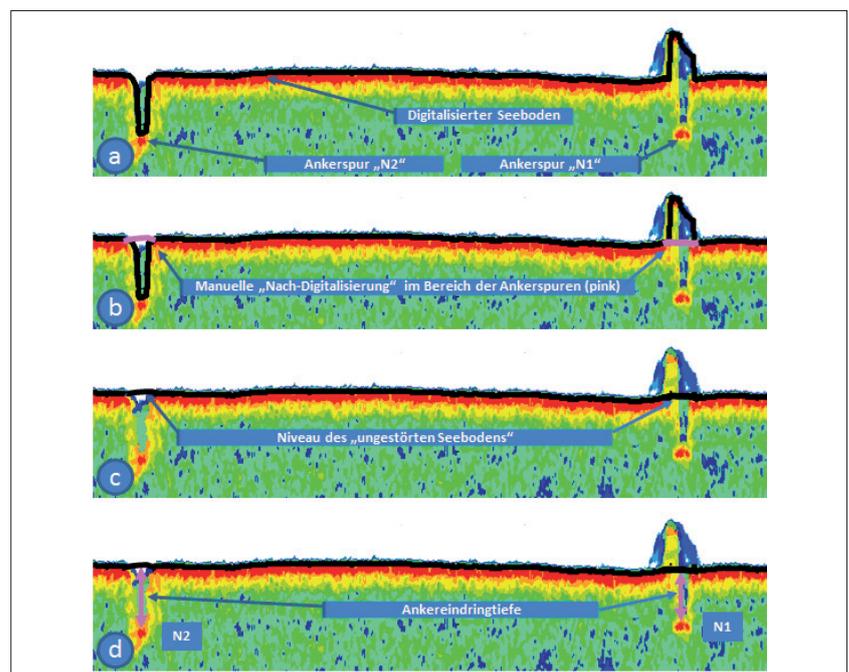
Diskussion der Ergebnisse und Bewertung

Als maximal anzunehmende Ankereindringtiefe wird im internationalen Schrifttum häufig die Gebrauchsformel maximale Ankereindringtiefe = Flunkenlänge des Ankers verwendet. Dieser

Verwendete Abkürzungen

- BAW-DH** Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg
- BSH** Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- GDWS Ast. NW** Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle Nordwest (bis 01.05.2013: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest, WSD NW)
- MBES** Multi-Beam Echo-Sounder (deutsch: Fächer-echolot)
- SES** Sediment Echo-Sounder (deutsch: Sedimentecholot)
- SSS** Side-Scan-Sonar (deutsch: Seitensichtsonar)
- Tennet** Tennet Offshore 7. Beteiligungsgesellschaft mbH
- ROV** Remotely Operated Vehicle (ferngesteuerter Tauchroboter)
- VTG** Verkehrstrennungsgebiet Terschelling German Bight

Abb. 6: Bestimmung der Ankereindringtiefe aus SES-Profilen



Weiterführende Literatur

BAW Hamburg (2013): Ankerzugversuche in der Deutschen Bucht; August 2013
 Deltares (2013): Anchor Tests German Bight; August 2013
 Gauss GmbH (2003): Risikoabschätzung für die Kabeltrasse WINDNET, Bremen
 Krämer, Ullrich (1975): Zugwiderstände und Eindringverhalten von Schiffsankern in nichtbindigen Böden; Mitteilungen der TU Hannover
 Kuhn et al. (1962): Ankerzugversuche zur Ermittlung der notwendigen Schutzschicht über die Dichtung von Schifffahrtskanälen; Die Bautechnik, 7/1962
 Vyrhof Anchors (2010): Anchor Manual – The Guide to Anchoring; Capelle a/d Yssel

10

Abb. 7: Ergebnis einer Ankerspurvermessung. Oben: Einzeldarstellung der SES-Profile an den Kreuzungspunkten mit der Ankerspur und der ermittelten Ankereindringtiefe. Mitte: Oberflächenstruktur der Ankerspur aus SSS-Aufnahme mit Kreuzungspunkten der SES-Vermessung. Unten: Tiefenprofil des Ankerzuges

Ansatz ist auch in den bisherigen Planungs- und Genehmigungsverfahren zugrunde gelegt worden. Allerdings ist bei keinem der insgesamt 18 durchgeführten Ankerzugversuche ein Wert in dieser Größenordnung erreicht worden (maximal festgestellte Ankereindringtiefe = 1 m, Flankenlänge der eingesetzten Versuchsanker ca. 2 m).

Dies bedeutet jedoch nicht, dass aufgrund der Versuchsergebnisse die bisherige Bemessungspraxis grundsätzlich infrage zu stellen ist. Vielmehr tritt nun die Frage in den Vordergrund, wie groß die Wahrscheinlichkeit der maximal anzunehmenden Ankereindringung im Untersuchungsgebiet einzuschätzen ist, und ob die bisher geforderte Verlegetiefe ohne erhöhtes Risiko für die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt reduziert werden könnte.

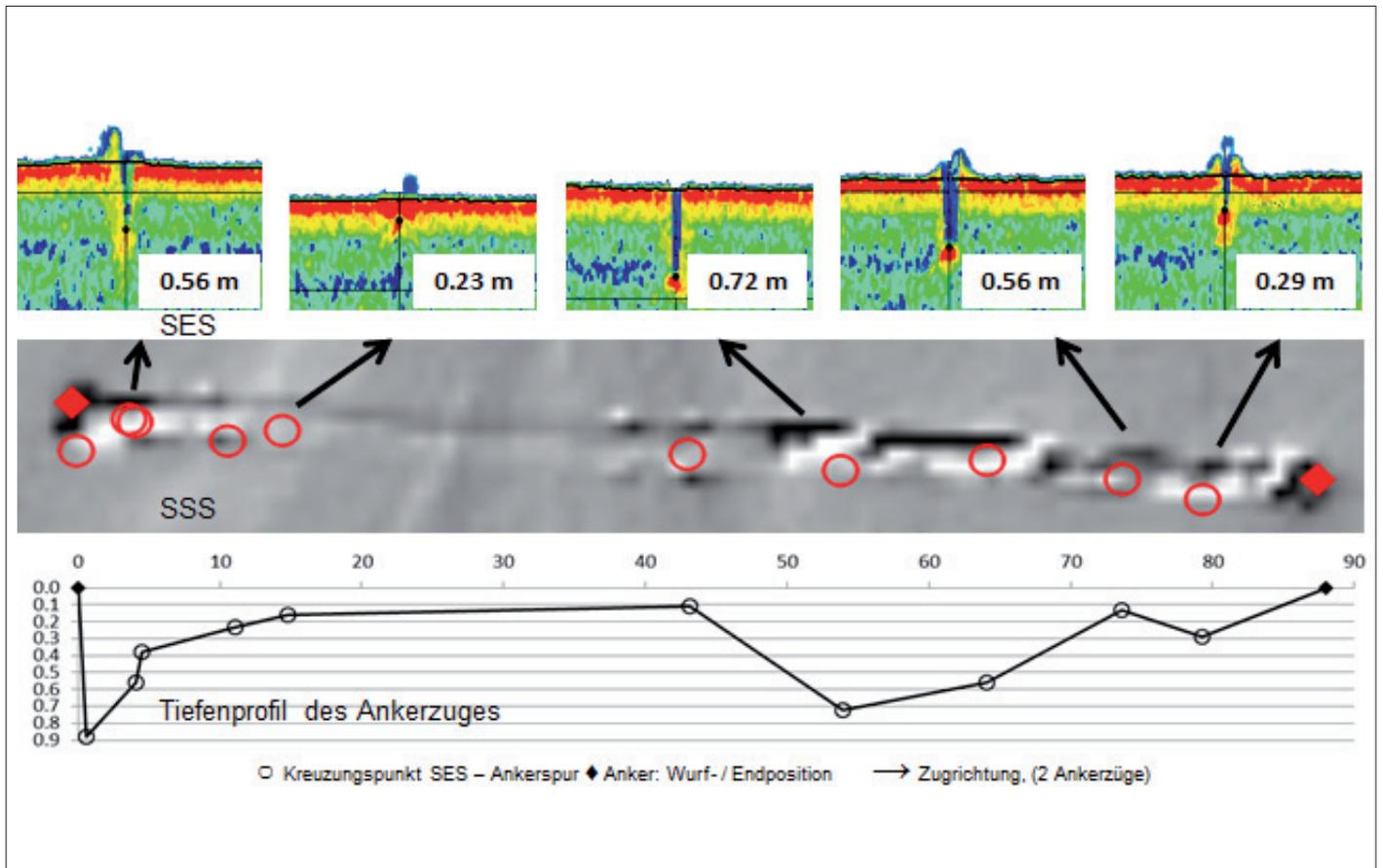
Als Grundlage für die Festlegung erforderlicher Verlegetiefen für Seekabel sind zahlreiche technische Aspekte zu berücksichtigen. So muss z. B. auf die starke Wechselwirkung von Ankereindringung und Sedimentzusammensetzung sowie geotechnischer Parameter des Seebodens hingewiesen werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind keinesfalls unmittelbar auf andere – insbesondere »weichere« – Böden übertragbar. Auch die morphologische Aktivität des untersuchten Seegebietes hat einen Einfluss auf die Ermittlung einer erforderlichen Verlegetiefe und muss in den Ästuaren und Seehafenzufahrten anders betrachtet werden als im Küstenmeer. Darüber hinaus sind insbesondere

im stark frequentierten Verkehrstrennungsgebiet der Deutschen Bucht wasser- und schifffahrtspolizeiliche sowie nautische Aspekte (z. B. Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs) zu berücksichtigen.

Bei einer Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einer Kabelverlegung ist zu beachten, dass eine Reduzierung der vorgeschriebenen Verlegetiefen in harten bzw. dicht gelagerten Seeböden zu deutlichen Einsparpotenzialen bei Baukosten und Bauzeiten führt. Dies gilt in der Folge auch für erforderliche Reparaturarbeiten. Eine Minimierung der Bauzeiten liegt ebenfalls in wasser- und schifffahrtspolizeilichem Interesse, da jede Baustelleneinrichtung in der Schifffahrtsstraße eine potenzielle Gefährdung darstellt.

Insgesamt also ist das dringende politische und öffentliche Interesse an einer wirtschaftlichen Umsetzung der Einführung erneuerbarer Energien gegen die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs abzuwägen. Somit sind die Ergebnisse der durchgeführten Ankerzugversuche im Hinblick auf eine Neubewertung der festzulegenden Verlegetiefen im Bereich der Seeschifffahrtsstraßen Teil einer ganzheitlichen Risikoabschätzung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Aufgrund eines erfolgreich umgesetzten Untersuchungskonzepts sowie der hohen Qualität der Messdaten ist eine hervorragende Basis für weitere wissenschaftliche Analysen zu Fragen des Ankereindringverhaltens und der Wechselwirkung mit dem Seeboden geschaffen worden. ⚓



How deep does an anchor penetrate the seafloor?

Christian Maushake
Federal Waterways Engineering and Research Institute –
Coastal Department (BAW-DH)
Hamburg, Germany

Contact

Address BAW-DH
 Wedeler Landstraße 157
 D-22559 Hamburg
 Germany

Website www.baw.de
Email christian.maushake@baw.de

How deep does an anchor penetrate the seafloor?

Christian Maushake

Federal Waterways Engineering and Research Institute – Coastal Department (BAW-DH), Hamburg, Germany

"How deep does an anchor penetrate the seafloor?". This question has been explored by a team of scientists and technicians as well as the crews of three involved ships in the German Bight. One HHP AC 14 and one Hall type anchor have been dropped and dragged in a series of 18 trials following an exact specified procedure. The behaviour of the anchor, especially the impact on the seafloor and the maximum penetration depth have been documented and surveyed before, during and after the anchor trials. For this different hydroacoustic methods like Sediment Echosounder (SES) and Sonarsystems (MBES, SSS), videodocumentation and the measurement of pressure and pulling forces have been implemented.

Motivation for this large scale fieldwork is the shore connection of wind-energy parks by sea cables in the German Bight. The actual regulations prescribe a burial depth of 3m for sea cables in shipping channels. The reason for these increased requirements is the risk potential which is seen by anchor manouvres in emergency cases and disasters. On the other hand the realization of a burial depth of 3m is very ambitious from a technical point of view as well as very cost intensive.

Therefore the approving authority (Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, GDWS) and the transmission system operator Tennet Offshore GmbH agreed upon this investigations to determine the real penetration depths of anchors into the seafloor. The results of the tests potentially shall support the improvement of the regulations for the burial depth of sea cables in shipping channels.

Next to Tennet the Federal Maritime Hydrographic Agency (BSH) the dutch research institute Deltares and the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) have been involved in the field work, the documentation and the scientific evaluation of the results.



Figure above:
Offshore support vessel „ESVAGT CONNECTOR” during anchor drag

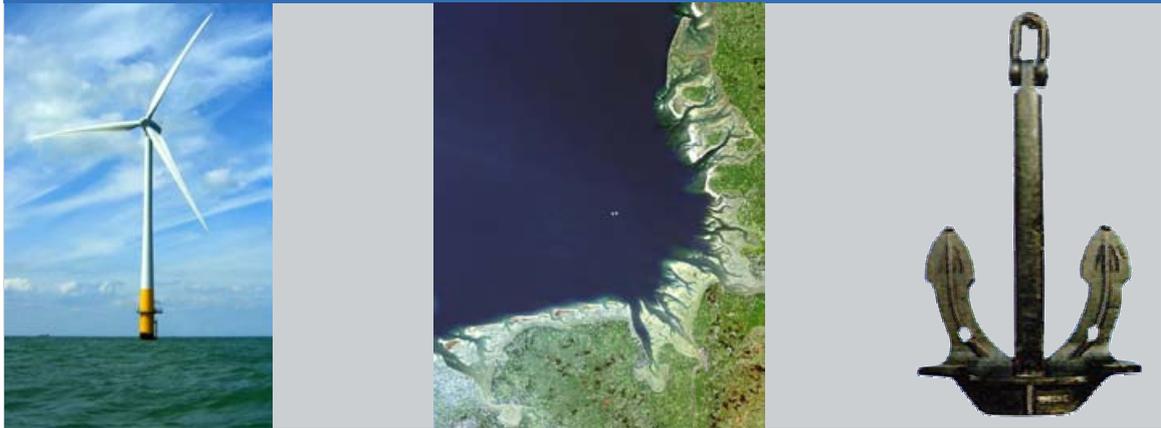
Figure left:
Background: survey vessels “WEGA” (BSH) and “GUARDIAN”
Foreground: HHP AC14 anchor on deck “ESVAGT CONNECTOR”

How deep does an anchor penetrate the seafloor ?

Anchor tests in the German Bight

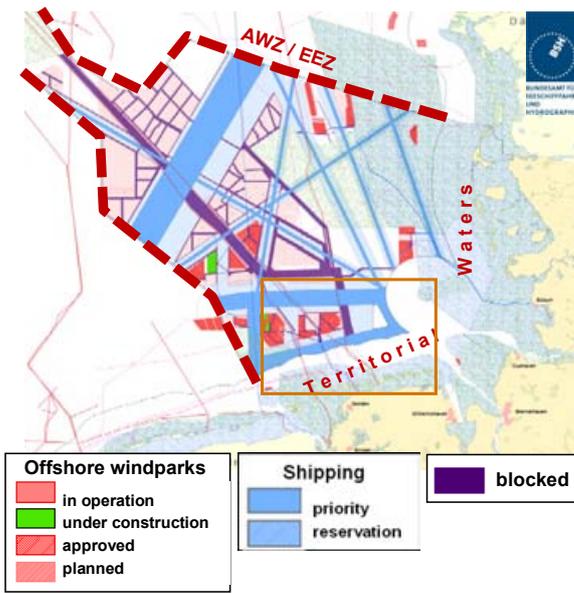
Christian Maushake
Federal Waterways Engineering and Research Institute –
Coastal Department (BAW-DH)
Hamburg, Germany

www.baw.de




The Northsea ... an undisturbed wideness ?

The seas are moving from traffic routes, fishing and recreational areas to an economic resource as an energy reserve



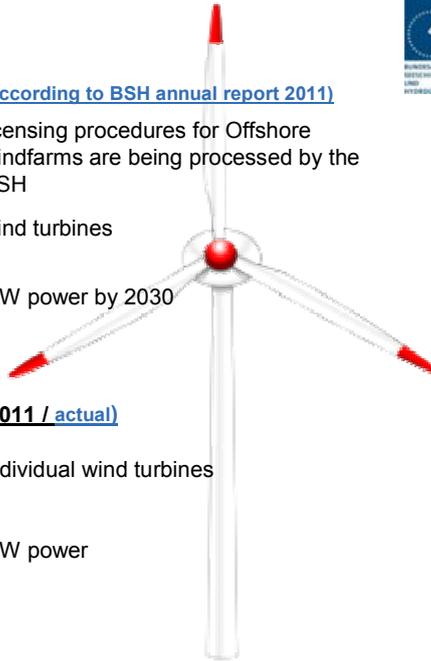
Offshore wind ... some facts

Target figures (according to BSH annual report 2011)

- 126** licensing procedures for Offshore windfarms are being processed by the BSH
- 8705** wind turbines
- 25000 -30000** MW power by 2030

Reality (end of 2011 / actual)

- 47** Individual wind turbines
(~95)
- ~175** MW power
(~470)

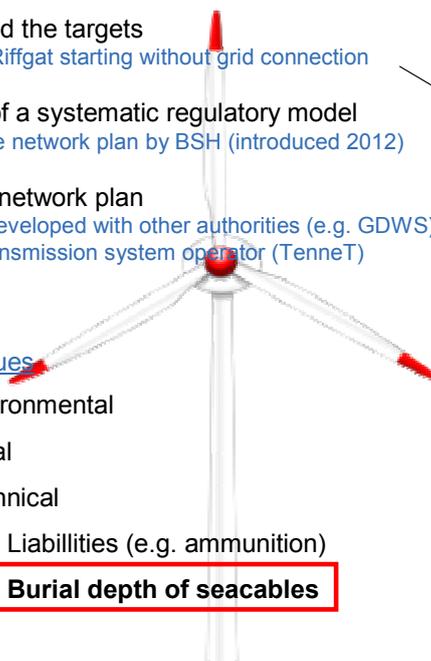


Grid connection ... the challenge

- Far behind the targets
example: Riffgat starting without grid connection
- Lacking of a systematic regulatory model
→ Offshore network plan by BSH (introduced 2012)
- Offshore network plan
→ jointly developed with other authorities (e.g. GDWS) and the transmission system operator (TenneT)

some issues

- Environmental
- Legal
- Technical
 - Liabilities (e.g. ammunition)
 - **Burial depth of seacables**



Burial depth of seacables Regulations and risks

prescribed burial depth of sea cables

1.5 m outside shipping channels

3.0 m inside

↓

Complex in terms of

- Costs (increasing dramatically with every dm)
- Technology (in areas with difficult soil conditions)

Reason for the increased requirements in shipping channels:

risk potential which is seen by anchor maneuvers in emergency cases and disasters

... agreed upon investigations to determine the real penetration depths of anchors into the seafloor

Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013

Test anchors

Hall ~11.7 to.

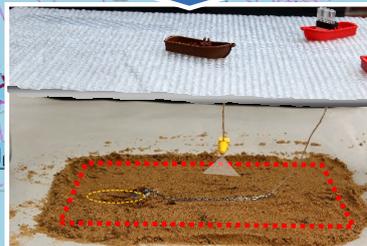
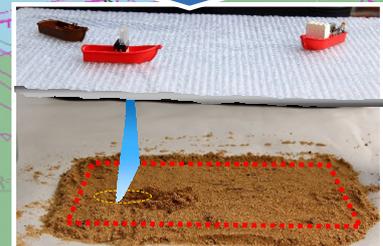
HHP AC14 ~8.3 to.

Up to 294 m length / 80000 DWT

Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013

Vessels and tasks

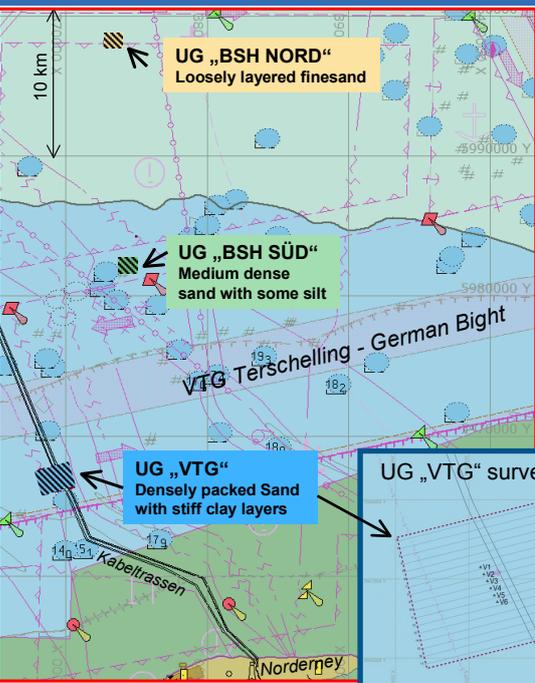
 <p>Guardian Survey vessel: ROV, MBES</p>	 <p>Esvagt Connector Offshore Tug: Anchorhandling</p>	 <p>Wega Survey vessel: SSS, SES (MBES)</p>
<p>ROV inspection during anchor pulls Post-pull MBES surveys</p>	<p>Anchor handling and pulling (Bollard pull max .107 to.)</p>	<p>Pre-pull survey (SSS / SES) Post-pull survey (SES, SSS)</p>
		

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013



BAW Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Test sites



UG „BSH NORD“
Loosely layered finesand

UG „BSH SÜD“
Medium dense sand with some silt

UG „VTG“
Densely packed Sand with stiff clay layers

VTG Terschelling - German Bight

UG „VTG“ survey box



3 test sites with different soil conditions reflecting the interaction between anchor and seabed

3 test sites
2 anchors (Hall, AC14)
3 pulls each anchor } **18 pulls**

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013



BAW Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Anchor trial procedure

Pre - pull - survey

Side scan sonar and Sediment Echosounder survey on every test site
 → Soil conditions,
 → detection of obstacles,
 → finalization of drop positions

Anchor pulls

→ Move offshore tug to drop position
 → Dropping anchor
 → ROV video check of anchor position and alignment
 → Anchor pull up to 80 to. (load cell) or anchor break out
 → ROV Video check of final position
 → Recover anchor

Post - pull - survey

→ SSS, MBES and SES survey of anchor track

BAW Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

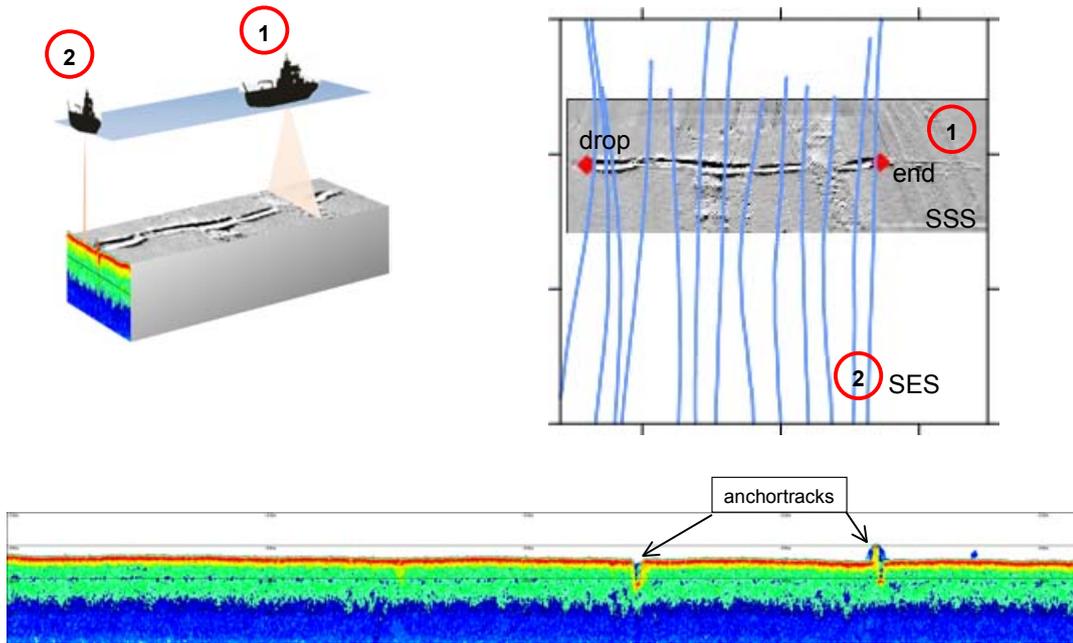
Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013

SES Pre – pull survey (VTG)

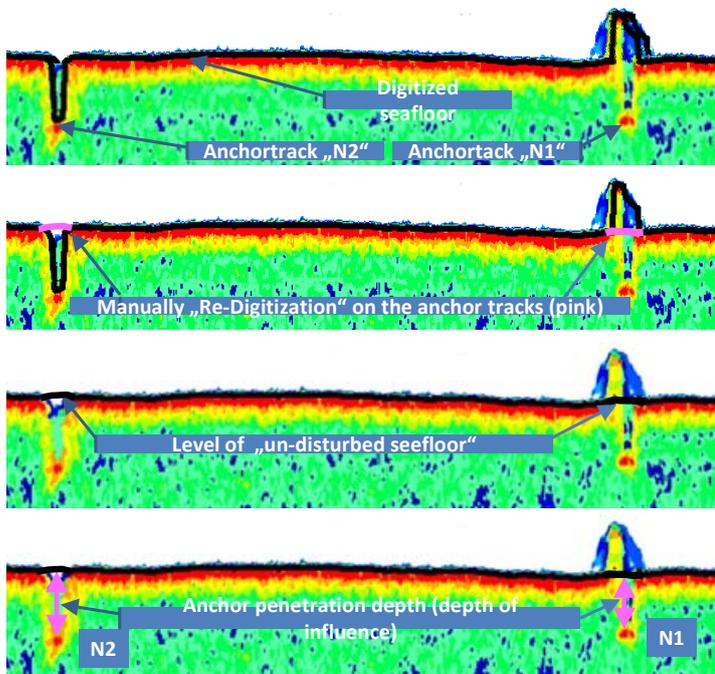
BAW Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013

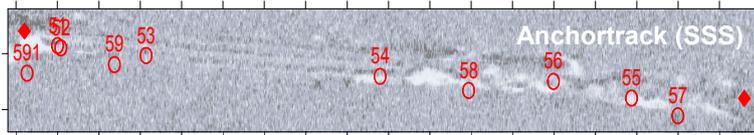
Combined SSS / SES survey of anchor tracks (Post – pull survey)



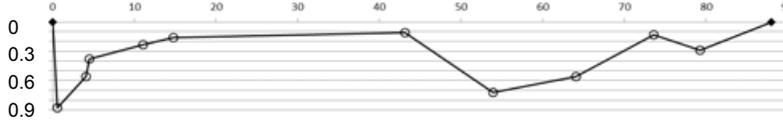
**Detection of anchor penetration depth
... as performed with SES processing software ISE**



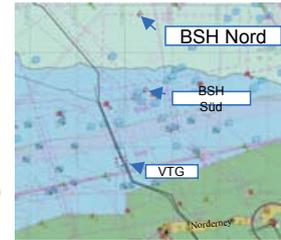
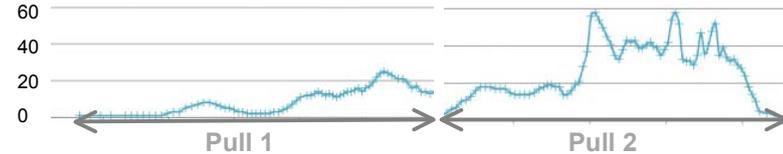
- Digitize seafloor
→ ISE automatically
- Identify anchor track(s)
- Re-Digitize the level of „un-disturbed seafloor“ in the zone influenced by the anchor
→ ISE manually
- Overwrite seafloor level
→ ISE automatically
- Detect depth of influence (anchor penetration depth)
→ ISE target picker



Penetration depth Δz (m)



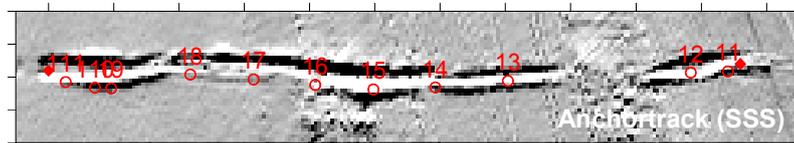
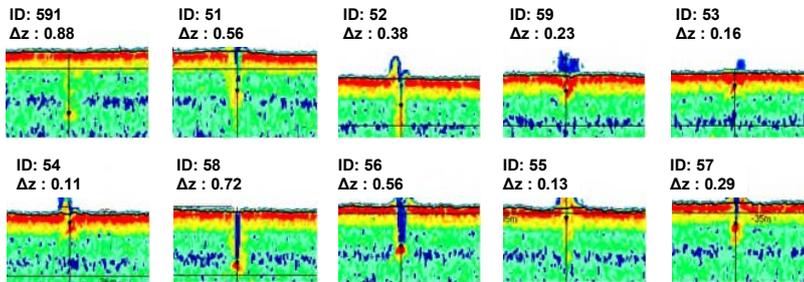
Pulling force (t)



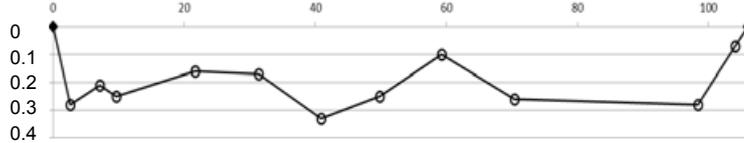
area	Nord
Pos	N5
Typ	Hall
Length	87 m
Max. pull	58 t
Max. Δz	0.88 m



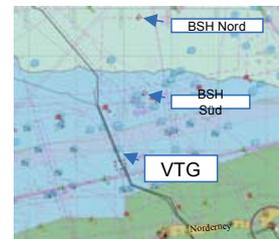
SES - Echoplots



Penetration depth Δz (m)



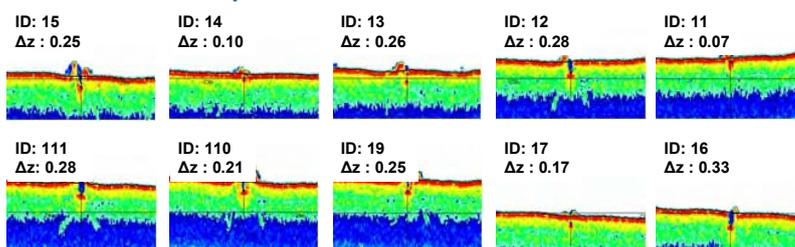
Pulling force (t)

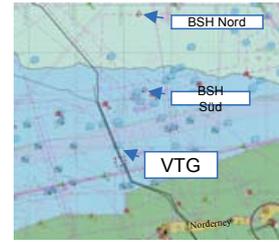
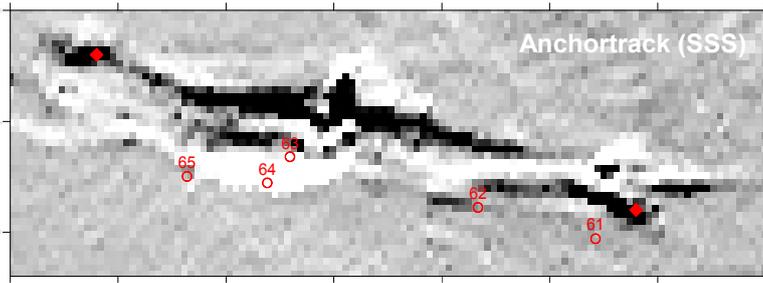


area	VTG
Pos	V1
Typ	AC14
Length	107 m
Max. pull	73 t
Max. Δz	0.33 m

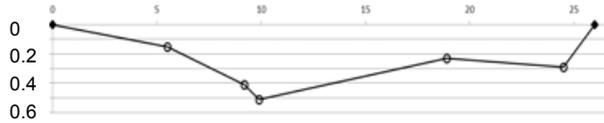


SES - Echoplots





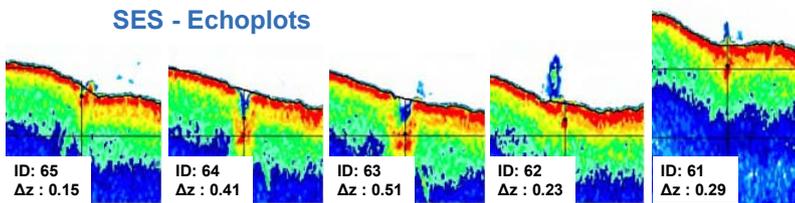
Penetration depth Δz (m)



Pulling force (t)



SES - Echoplots



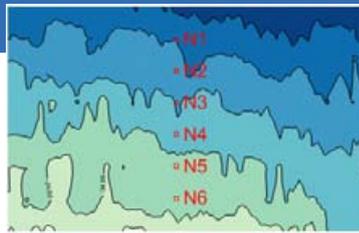
area	VTG
Pos	V6
Typ	Hall
Length	26 m
Max. pull	80 t
Max. Δz	0.51 m



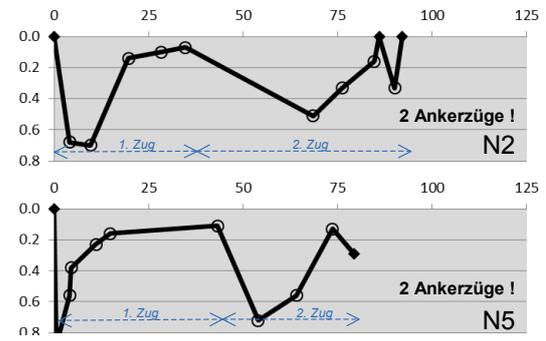
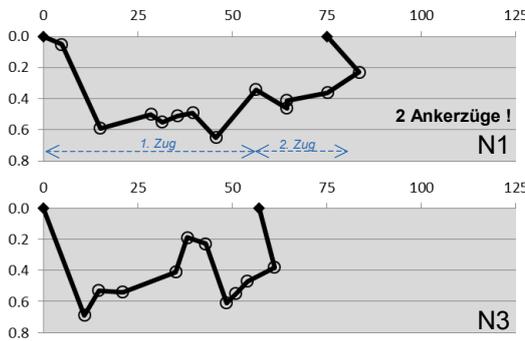
Ankerzugversuche
BSH - Nord – Ankerspuren



AC14



Hall

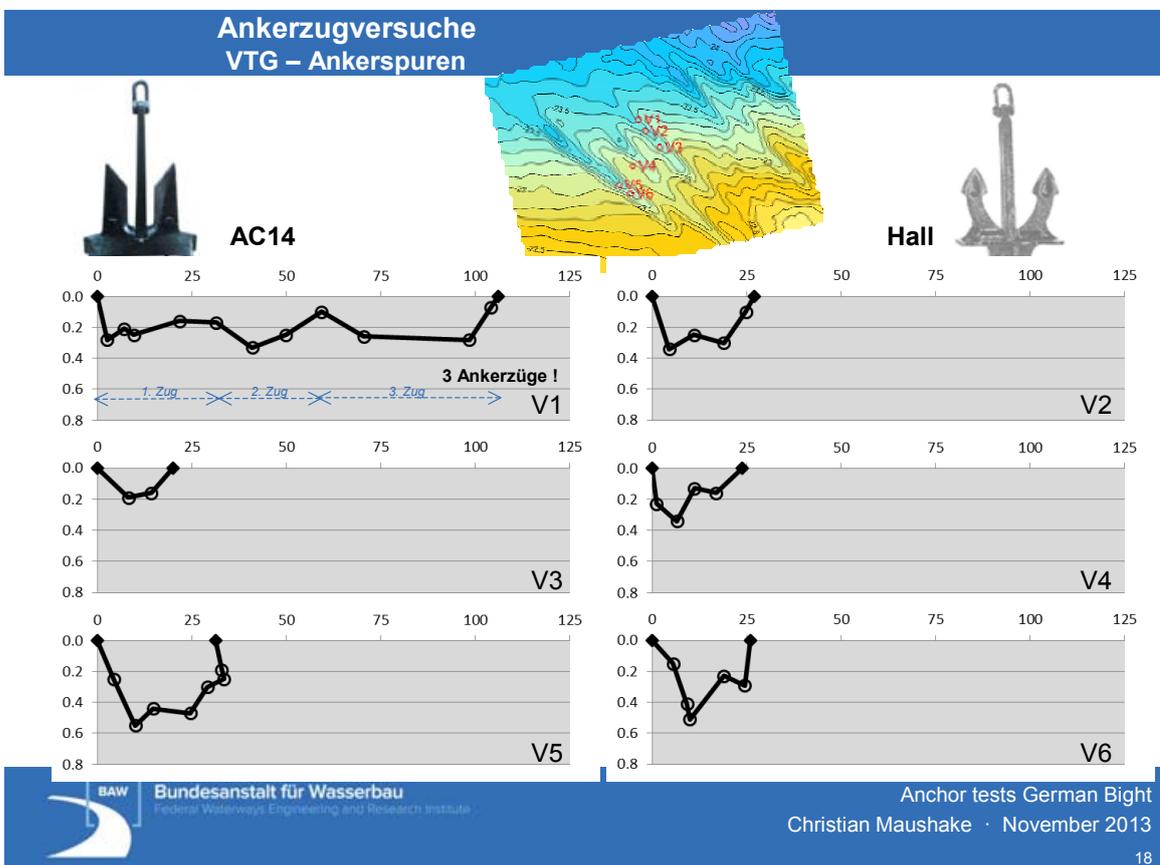
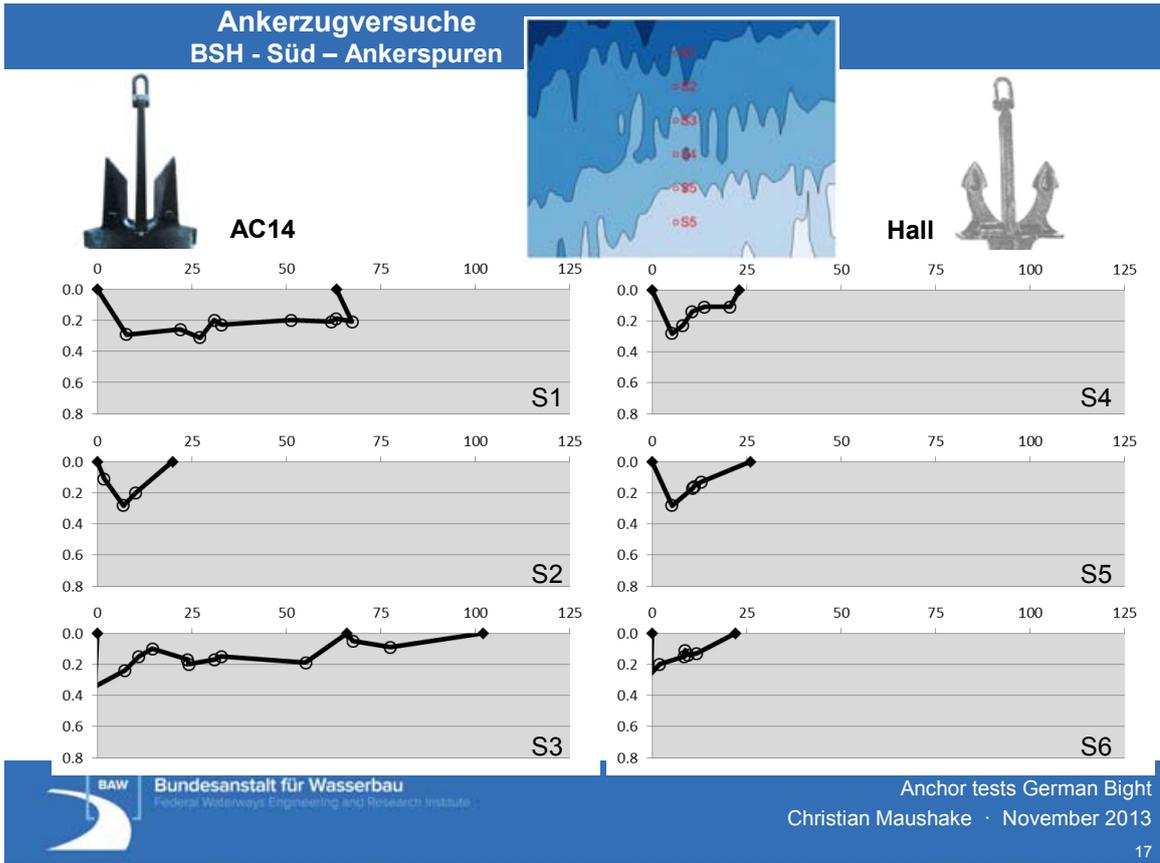


Anmerkung: Länge des 1. und des 2. Zuges aus Ankerspur abgeschätzt

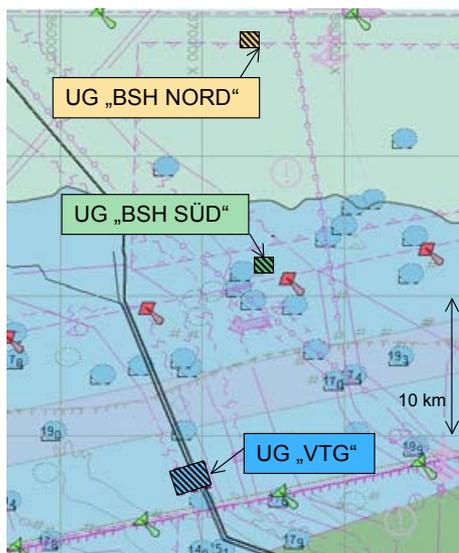


Bundesanstalt für Wasserbau
Federal Waterways Engineering and Research Institute

Anchor tests German Bight
Christian Maushake · November 2013



Anchor test Summary of all anchor pulls



Position	Ankertyp	tracklength	Max. pull	Max. Δz
		[m]	[t]	[m]
N1	AC14	67	62	0.65
N2	Hall	92	64	0.70
N3	AC14	57	82	0.69
N5	Hall	87	58	0.88
N6	Hall	92	65	0.78
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
V1	AC14	107	73	0.33
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

For all anchor tests a maximum depth of influence of not more than 1.0 m could be reported, accounting for all potential errors. In the (critical) traffic separation zone (VTG) this value does not exceed **0.8 m**.

Conclusion

- SES is a powerful tool to detect small buried structures like anchor tracks
- No anchor penetration deeper than 1m could be observed (accounting for potential errors)
- One of the best documented large scale anchor trials ever have been reported
- Results have been accepted by the approving authorities
- German offshore network plan will be updated based on the results and the expertise of Deltares and BAW → reduction of burial depth
- saving of Millions for electricity consumers