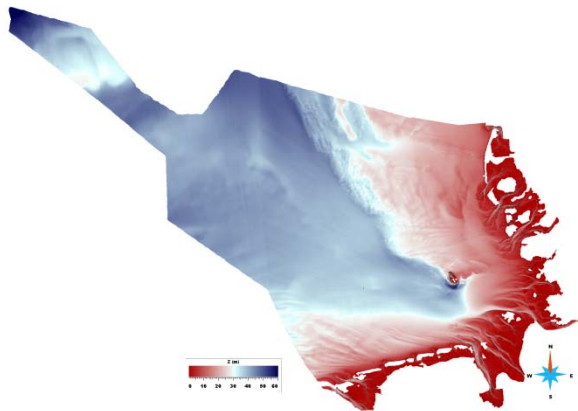


## Die Bathymetrie der deutschen Nordsee - Erstellung der projektweiten Bezugsfläche



U. Asprion, J. Sbresny, G. Griffel, J. Elbracht

14. November 2013

**Inhalt:**

1. Einleitung.....	3
2. Datengrundlage.....	3
3. Arbeitsschritte.....	6
4. Produktbeschreibung .....	9

## 1. Einleitung

Eine der grundlegenden Voraussetzungen für das gesamte GPDN-Projekt war die Schaffung einer einheitlichen, bislang nicht vorhandenen, Bezugsfläche mit einheitlichem Bezugsniveau. Es musste eine Fläche geschaffen werden, mittels derer folgende Probleme gelöst werden konnten:

- Ermittlung einer einheitlichen Bezugshöhe (hier NN) bzw. Wassertiefen für alle offshore-Daten (Bohrungen, Geophysik, Kastengreifer, etc.). Dies ist notwendig, da die „Wassertiefe“ zum Mess- bzw. Bohrzeitpunkt i.allg. aus der Seekarte bzw. der Lotung unter dem Schiff stammt. Diese Tiefe ist gezeitenabhängig und/oder aus der Seekarte mit SKN (Seekarten-Null) als Bezugshorizont entnommen. Auf Grund des Gezeiteinflusses können sich so vor allem im Flachwasserbereich Höhenunterschiede von mehreren Metern ergeben.
- Topographischer Abschluss des geologischen 3D-Modells (Geotektonischer Atlas 3D und Basisflächen „Quartär“). Der GTA3D war bislang auf das Festland beschränkt. Hier wird NN als Bezugssystem verwendet. Das Bezugssystem auf See ist jedoch SKN, welches den mittleren Niedrigwasserstand als Bezugshorizont hat. Auf einer SKN basierenden Karte ist z.B. das Watt ohne Wasserbedeckung, da es bei Niedrigwasser frei liegt. Die Abweichung von NN zu SKN nimmt mit der Wassertiefe i.allg. ab, da der Tideneinfluss hier weniger bedeutsam wird.
- Schaffung einer projektweiten, einheitlichen Bezugsfläche. Um alle im Projekt erarbeiteten Daten konsistent verbinden zu können ist es notwendig diese auf ein und dieselbe Fläche zu beziehen.

## 2. Datengrundlage

Im September 2009 wurde vom BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) ein Punktdatensatz, bestehend aus 1,35 Millionen Punkten, mit SKN (Seekarten-Null) als Bezugshorizont dem Projekt zur Verfügung gestellt. Der Datensatz besteht aus den Originaldaten der einzelnen Messfahrten, die über einen längeren Zeitraum durchgeführt wurden. Das Durchführungsdatum der Messfahrten ist unbekannt. Dieser Datensatz umfasst das gesamte Projektgebiet, hatte jedoch einige Lücken. So reicht er z.B. nicht bis in die Emsmündung und nördlich Borkum und westlich Helgolands zeigen sich datenfreie Bereiche. Diese Gebiete liegen außerhalb der Hauptschiffahrtswege und sind daher für Messungen durch das BSH von untergeordneter Bedeutung. Ebenso fehlte der Bereich vor Bremerhaven komplett, da diese Daten zu Projektbeginn nicht im BSH verfügbar waren (Abb.1).

Zur projektweiten Verwendung und zur Anbindung dieser Fläche an die Inseln und das Festland wurde jedoch ein NN (Normal-Null) bezogener Datensatz benötigt. Daher wurde der ursprünglich gelieferte Datensatz vom BSH entsprechend tidenkorrigiert und auf NN bezogen im Dezember 2009 zurückgeliefert.

Die Qualität der Daten ist sehr heterogen und sie sind nicht einheitlich gerastert. Deutlich sind die einzelnen Messfahrten in der Datenpunktverteilung zu erkennen (Abb.2), die als inkonsistente Datenpunkte an den Überlappungsbereichen in Erscheinung treten (Abb.3a) oder als längliche Strukturen, die Pflugscharen gleichen (Abb.3b). Vor allem im seichteren Küstenbereich tritt lokal eine stark erhöhte Varianz zwischen benachbarten Datenpunkten auf (Abb.3c).

Ebenso variierten die Datenpunktabstände sehr stark (Abb.4). Die verwendeten Messpunktabstände orientieren sich an der Bedeutung der Bereiche für die Seeschifffahrt, ebenso wie die Aktualität der Daten. Daher konnten diese Daten nicht direkt als Eingangsdaten zur Erstellung einer shape-Datei verwendet werden.



Abb.1: Verteilung und Umfang der vom BSH gelieferten ersten Daten zur Bathymetrie der Nordsee mit dem Umriss des Projektgebietes.

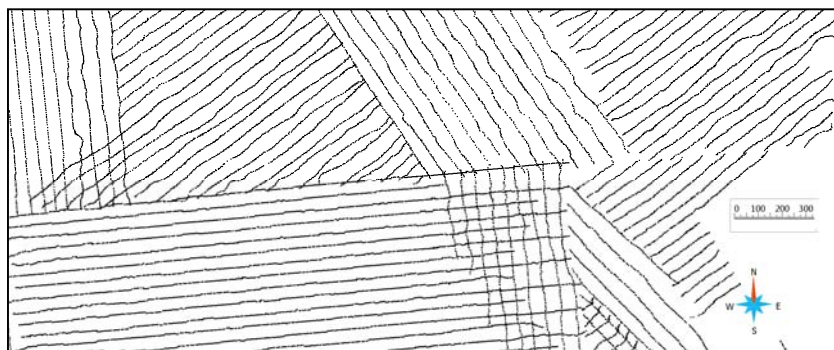


Abb.2: Messpunktverteilung an einem Beispiel aus dem Jadebusen. Deutlich sind die einzelnen Messfahrten an der linienartigen Anordnung der Datenpunkte erkennbar.

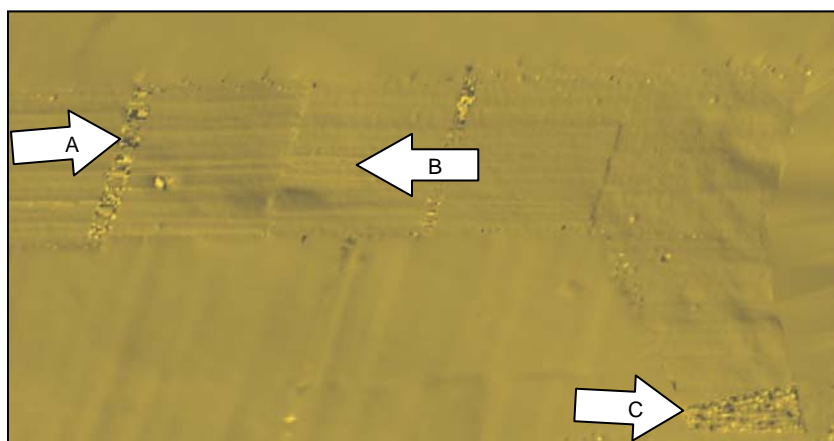


Abb.3: Unterschiedliche Artefakte bei der Flächenerstellung, die auf inhomogene Daten zurückgehen. A) Überlappungsbereich zweier Messkampagnen. B) Pflugscharähnliche Strukturen entlang der Messrichtung. C) Nicht eindeutig triangulierbare Fläche im Bereich erhöhter lokaler Varianz benachbarter Messpunkte.

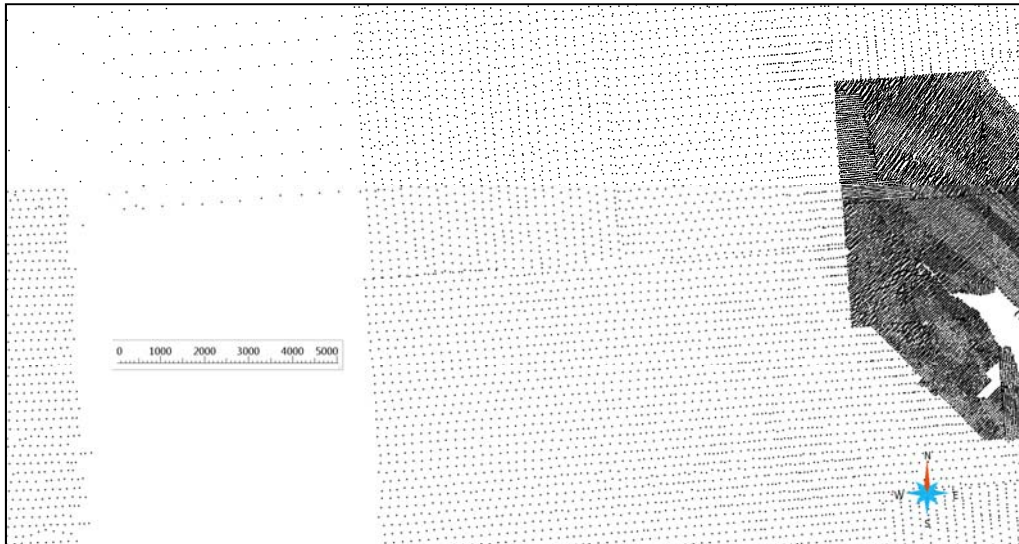


Abb.4: Unterschiedliche Datenpunktabstände spiegeln die unterschiedlichen Nutzungsprioritäten der Messbereiche wieder. Ebenfalls zeigt sich die Größe einer Datenlücke. Rechts die sehr hohe Datendichte um Helgoland.

Im März 2012 wurde der noch fehlende Teil vor Bremerhaven nachgeliefert. Diese, aus 6,9 Millionen Punkten bestehenden Daten sind mit 10m sehr fein gerastert und umfassen auch den Küstendeich sowie Hafenanlagen (Fig.5) und Ortschaften.

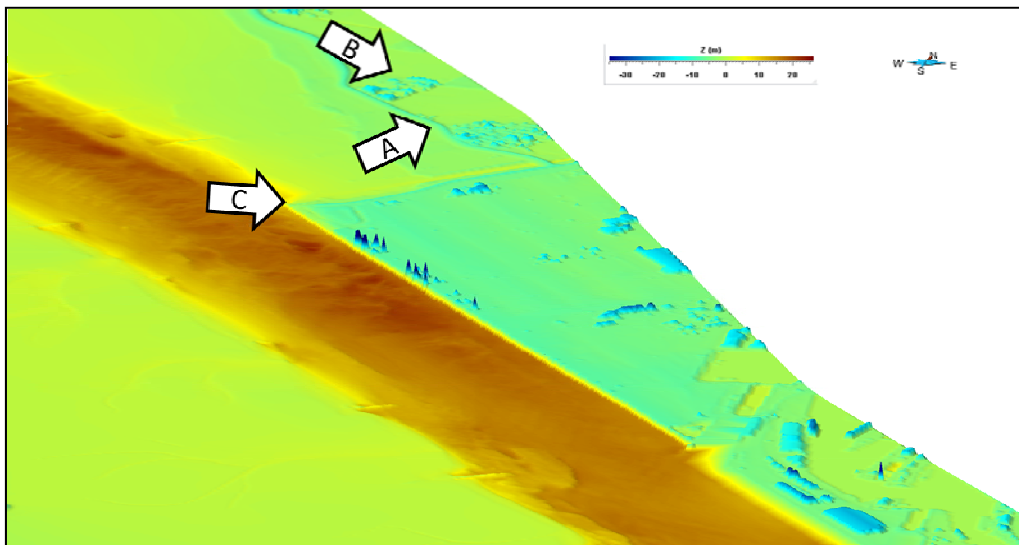


Fig.5: Sehr hochauflösender Datensatz vor Bremerhaven (10m Raster). Sichtbar sind A) der Deich, B) Gebäude und Ortschaften und C) Hafenanlagen mit Entladekränen.

Der Datensatz von Bremerhaven weist einige kleinere Fehlstellen auf, welche jedoch unkritisch bezüglich der Triangulation der Gesamtfläche sind (Fig.6), da in den fehlenden Bereichen nur wenige bis keine morphologische Strukturen zu erwarten sind.

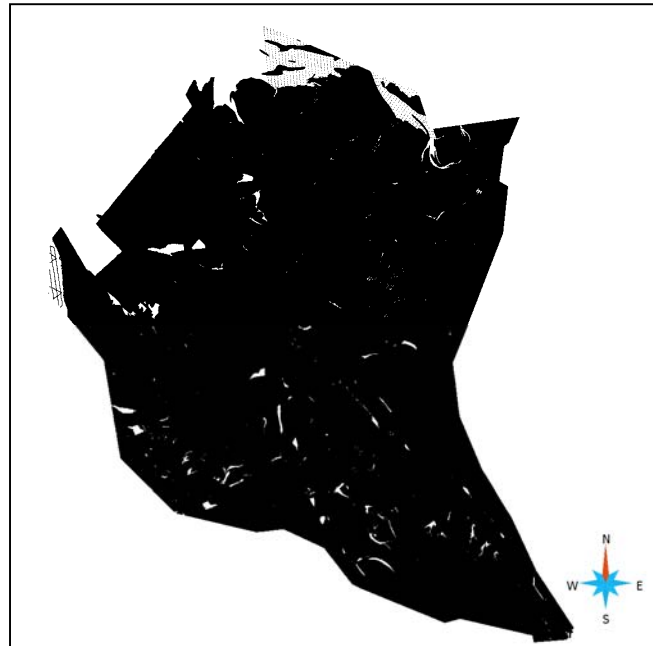


Fig.6: Verteilung und Umfang der Daten vor Bremerhaven.

### 3. Arbeitsschritte

Da es sich bei diesen Daten um echte Messwerte handelt, wurde beschlossen, dass die daraus zu erstellende Fläche nicht mittels eines interpolierenden Verfahrens erstellt werden soll, sondern durch die Methode der „Direkten Triangulation“. Die Methode der direkten Triangulation stelle als Einzige sicher, dass alle Datenpunkte auch auf der erzeugten Fläche liegen. Auf diese Weise kann aus der erzeugten Fläche ein möglichst akkurater Wert für die Wassertiefe von Bohrungen und anderer Messdaten abgeleitet werden. In einem ersten Schritt wurde der erste Datensatz von Dubletten bereinigt. Dies reduzierte die Datenmenge um ca. 10%.

Zu Beginn wurde manuell eine Einhüllende um die Datenpunkte konstruiert, die ausschließlich aus Punkten des Originaldatensatzes bestand. Mit Hilfe des GOCAD® Wizards „SurfaceCreation“ wurde die Fläche mittels Triangulation, ohne hinzufügen von Stützpunkten erzeugt. Dabei wurde das Auftreten von nicht gleichseitigen Dreiecken in Kauf genommen (Fig.7).

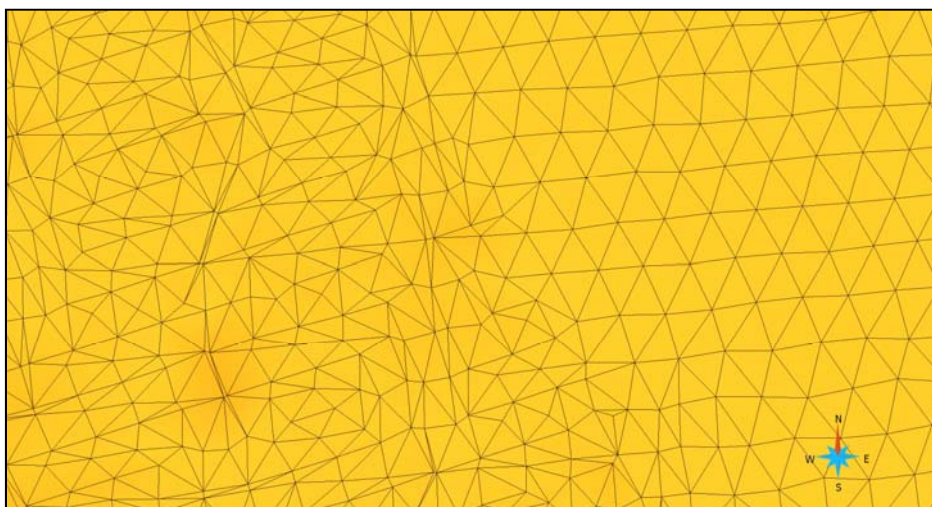


Fig.7: Beispiel für die durch Direkte Triangulation entstandene Vermaschung der Daten. Rechts: annähernd gleichseitige (gute) Dreiecke. Links: durch die Datenüberschneidung von Messkampagnen entstandene z.T. sehr spitze Dreiecke.



Anschließend wurde die so erzeugte Fläche manuell von Artefakten bereinigt. Hierzu wurden Ausreißer über bzw. unter der erzeugten Fläche manuell entfernt, wenn diese nur aus einem einzelnen Datenpunkt bestanden (Fig.8).

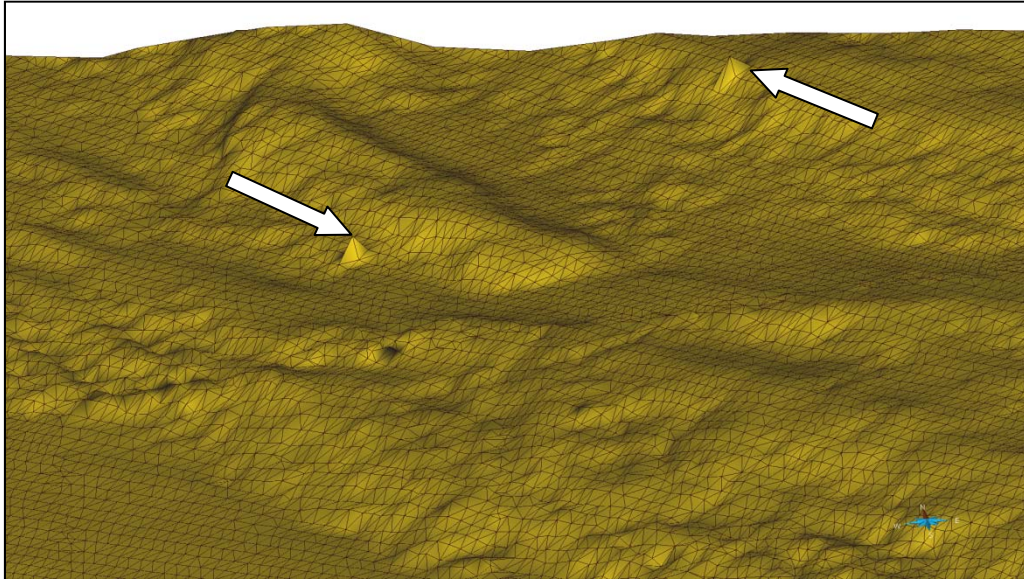


Fig.8: Datenartefakte. Datenpunkte, die deutlich über bzw. unter der erzeugten Fläche liegen und nur als einzelner Punkt auftreten wurden als Messfehler klassifiziert und entfernt.

Diese punktbereinigte Fläche wurde im folgenden zu 2 unterschiedlichen Zwischenprodukten verarbeitet. Zum Einen wurde eine GIS kompatible Fläche erzeugt und für die 3D-Modellierung wurde zeitgleich eine entsprechende 3D-Fläche erstellt. Die Erzeugung der GIS kompatiblen Fläche wurde durch Dr. J. Sbresny aus dem Modul F durchgeführt (SBRESNY, 2010). Auf Grund der sehr großen Datenmenge wurde hierfür ein komplexer Arbeitsablauf entwickelt und durchlaufen, der hier nicht explizit erläutert werden soll. Die Erstellung der Fläche für die 3D-Modellierung wurde im Modul A2 mit den entsprechenden Programmen durchgeführt und wird im Folgenden näher erläutert.

In der direkten Flächenerzeugung mittels der 3D-Modellierung treten vor allem in rinnenartigen Strukturen häufig sog. „falsche Dreieckspaare“ auf (Fig.9A). Diese wurden manuell bearbeitet, so dass nach dem „Umklappen“ die bearbeitete Struktur eine geologisch wahrscheinlichere Form bzw. einen genetisch wahrscheinlicheren Verlauf bekam (Fig.9B).

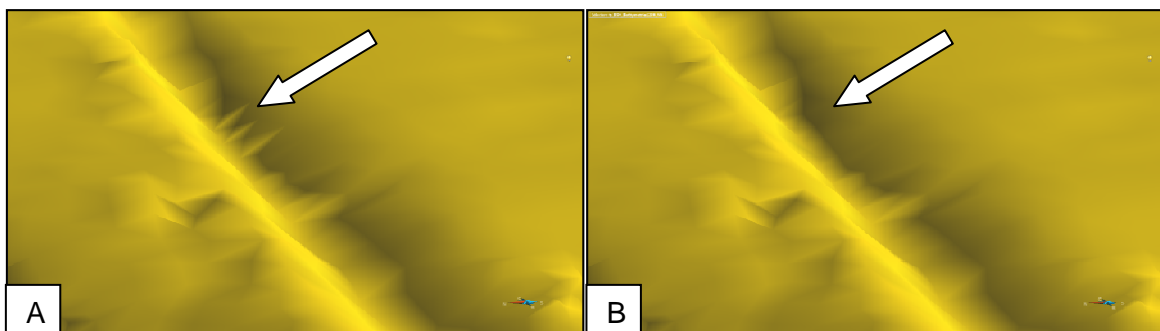


Fig.9: Korrektur falsch vermaschter Dreiecke in Vertiefungsstrukturen. A) „Falsche“ Dreiecke stehen quer in der Struktur. b) Nach der manuellen Korrektur zeigt sich ein plausibleres Bild.

Es wurden jedoch nur diejenigen Dreieckspaare behandelt, die sehr augenfällig falsch orientiert waren (Fig.9A), da gerade in den Prielen und Kanälen die Anzahl dieser Artefakte sehr stark zunahm und die Bereinigung hier keine Bedeutung für die Ableitung der Wassertiefen für Bohrungen hatte.

Der Datensatz vor Bremerhaven wurde durch die spätere Lieferung und die enorme Größe getrennt bearbeitet. Die hohe Datenpunktdichte musste für die Erstellung einer sinnvoll nutzbaren Gesamtbathymetrie reduziert werden. Die Punktdichte wurde dergestalt reduziert, dass eine maximale Differenz von 0,25 m zwischen zwei benachbarten Datenpunkten als vertretbar im Hinblick auf die Lagegenauigkeit eines Datenpunktes im Raum angesehen wurde. Dadurch konnte die Datenmenge auf 125.000 Datenpunkte reduziert werden. Im Anschluss wurde ebenfalls manuell eine Einhüllende analog zum ersten Datensatz erstellt und mit den Datenpunkten eine Fläche direkt trianguliert.

Die beiden Flächen wurden zu einer gemeinsamen Fläche verbunden. Hierzu wurde die erste Fläche, da sie eine geringere Auflösung hat, entsprechend der Grenzante der zweiten Fläche beschnitten. In der Aufsicht sind die unterschiedlichen Auflösungen der beiden Flächen, welche sich in der Größe der erzeugten Dreiecke widerspiegelt, sichtbar (Fig.10).

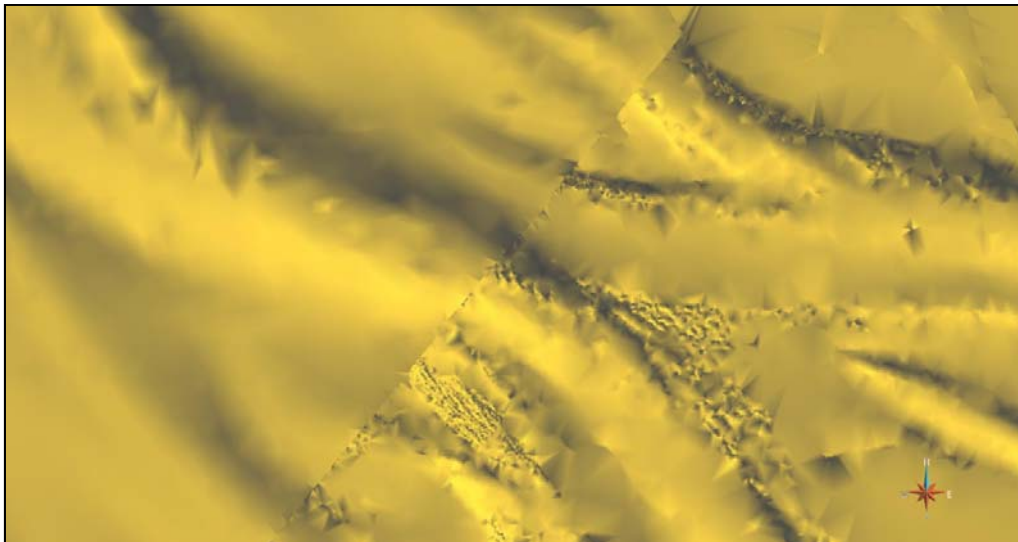


Fig.10: Aufsicht auf die Schnittkante Fläche 1 (NW) und Fläche 2 (SE). Es wird die auf die unterschiedliche Datendichte zurückgehende unterschiedliche Größe der erzeugten Dreiecke sichtbar.

Bei einer Schrägansicht derselben Stelle werden Unterschiede in den Werten, also der Tiefe, beider Flächen sichtbar (Fig.11). Dadurch entstehen an der Grenze zwischen den beiden Flächen Löcher von bis zu 10m vertikaler Distanz.

Nach ausgiebiger interner Diskussion wurde entschieden diese Löcher nicht zu schließen. Da beide Flächen auf gemessenen Werten basieren, kann nicht entschieden werden welcher der beiden Werte der „richtige“ ist.

Die noch in der Fläche verbliebenen Lücken nördlich Borkum, in der Emsmündung, in der Wesermündung und vor Schleswig-Holstein wurden nicht geschlossen (Fig.12), da diese Lücken im Bereich morphologisch komplexerer Strukturen liegen. In diesen Bereichen kann keine hinreichend genaue Fläche ohne Datenpunkte konstruiert werden,



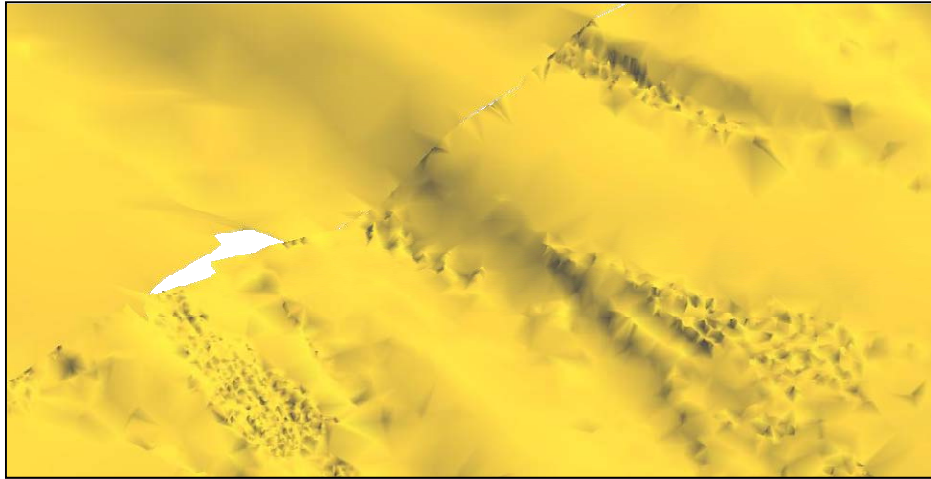


Fig. 11: Schrägansicht auf die Schnittkante Fläche 1 (NW) und Fläche 2 (SE), vgl..Fig.10. Es treten die vorhandenen Höhenversätze (bis zu 10m) als Löcher zutage.

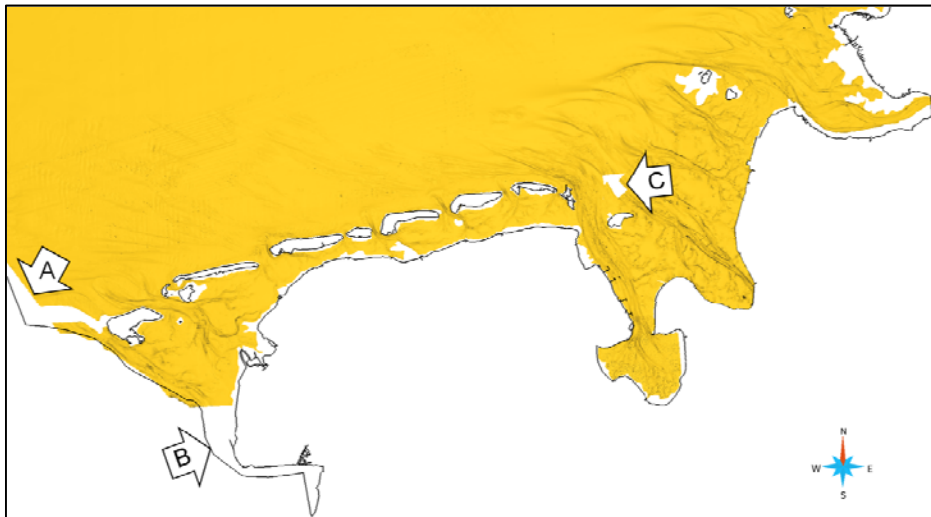


Fig. 12: Darstellung der noch bestehenden Datenlücken nördlich Borkum (A), in der Emsmündung (B) und im Küstenbereich (C). Die Inseln sind bereits ausgeschnitten.

Zuletzt wurden aus der erzeugten Fläche mittels der im Projekt verwendeten Umrisslinie die Inseln ausgeschnitten. Dies ist notwendig, da bei der Triangulation die innerhalb der Datenpunktwolke liegenden Löcher geschlossen wurden.

#### 4. Produktbeschreibung

Die so erzeugte Fläche ist diejenige, welche zur Erstellung der 3D-Modelle verwendet wurde und eine maximale Übereinstimmung mit den vom BSH gelieferten Daten aufweist. Sie steht im GOCAD<sup>®</sup> ts-Format zum Download bereit.

Des Weiteren wird diese Fläche auch GIS kompatibel als Polygon-shape zur Verfügung gestellt. Diese Datei wurde durch Rasterung im 100 m Abstand aus der original GOCAD<sup>®</sup> Fläche erzeugt. Mit dieser Rasterung geht ein Detailverlust einher, welcher aber im Sinne einer noch handhabbaren Dateigröße und Arbeitsgeschwindigkeit nicht zu vermeiden ist.

#### Literatur:

Sbresny, J (2010) Übernahme der Bathymetrie vom BSH. Interne Dokumentation. 6S, LBEG, Hannover