

## Geopotenzial Deutsche Nordsee Modul B

Dokumentation Nr. 4

### **Erstellung der digitalen Karten zum Thema Bodenverflüssigung – Meeresbodensedimente mit Korngrößenverteilungen die bei Einwirkung zur Bodenverflüssigung neigen**

Bearbeitet von: Dr. Michael Naumann, Joachim Fritz, Dirk Djuren, Dr. Manfred Zeiler

Kartenversion 1 vom 15.05.2012

Team Modul B:

BSH: Dr. Manfred Zeiler, Maria Lambers-Huesmann, Wolf-Udo Laurer

LBEG: Dr. Carsten Schwarz, Joachim Fritz, Dr. Stefan Viola, Dirk Djuren, Dr. Michael Naumann

BGR: Dr. Lutz Reinhardt, Dr. Annemiek Vink, Claudia Schnabel

**BGR** Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**LBEG** Landesamt für  
Bergbau, Energie  
und Geologie



## Inhalt

	ab Seite
1 Vorbemerkungen .....	3
2 Begriffe/Abkürzungen .....	3
3 Aufgabenstellung .....	4
4 Durchführung .....	4
4.1 Datengrundlage .....	4
4.1.1 Sedimentklassen aus Korngrößenanalysen .....	6
4.1.2 Abgeleitete Sedimentklassen aus Bohrkernbeschreibungen .....	9
4.1.3 Kartierung der Sedimentverteilung im Rahmen von GPDN .....	10
4.2 Sedimentklassifikation nach STUDER & KOLLER (1997) .....	11
4.3 Erstellung der digitalen Karte .....	12
4.3.1 Allgemeines .....	12
4.3.2 Kartographische Grundsätze .....	13
5 Literatur .....	14

## 1 Vorbemerkungen

Mit dieser Dokumentation werden Grundlagen, Vorgehensweise und Arbeitsschritte zur Erstellung der digitalen Karten zum Thema Bodenverflüssigung – Meeresbodensedimente mit Korngrößenverteilungen die bei Einwirkung zur Bodenverflüssigung neigen, beschrieben.

## 2 Begriffe/Abkürzungen

ASTM	American Standards for Testing and Materials
AWI	Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Außenstelle Sylt
AWZ	ausschließliche Wirtschaftszone
BDN	Bohrdatenbank Niedersachsen des LBEG
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGS	British Geological Survey
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
DHDN	Deutsches Hauptdreiecksnetz
DHI	Deutsches Hydrographisches Institut (heute: BSH)
DIN	Deutsche Industrienorm
GPDN	Geopotenzial Deutsche Nordsee
GIS	Geografisches Informationssystem
HPA	Hamburg Port Authority
ICBM	Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Universität Oldenburg
k. A.	keine Angabe
KTA	Deutscher Kerntechnischer Ausschuss
LAT	Latitude (geographische Breite)
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein
LONG	Longitude (geographische Länge)
MeMaS	Methoden-Management-System des LBEG
MUDAB	Meeresumwelt-Datenbank im BSH
NIBIS	Niedersächsischen Bodeninformationssystem des LBEG
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Senckenberg	Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven
sm	Seemeile (1.852 Meter)
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (Geologischer Dienst Niederlande)
WGS 84	World Geodetic Datum 1984 (globales geodätisches Bezugssystem)
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

WTD 71/FWG	Wehrtechnische Dienststelle 71/Forschungsanstalt für Wasserschall und Geophysik der Bundeswehr
------------	--

### 3 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Projektarbeiten im Modul B wurden die Korngrößenverteilungen von Sedimenten der Meeresbodenoberfläche bis zu einer Teufe von 2 m auf die Neigung zur Bodenverflüssigung unter äußerer Lasteinwirkung für den Bereich der gesamten deutschen Nordsee im Maßstab 1: 250.000 ausgewertet. Der Datensatz umfasst eine flächendeckende Karte mit einer Aussage für die oberen 20 cm des Meeresbodens sowie zwei zusätzliche Kartenlayer mit Punktdatenauswertungen von Bohrdaten in 1 m und 2 m Teufe. Grundlage der Klassifizierung bilden die von STUDER & KOLLER (1997) publizierten kritischen Korngrößenverteilungen im grobschluffigen bis mittelsandigen Bereich mit guter Kornsortierung. Die Legende umfasst zwei Klassen, Bodenverflüssigung „potenziell möglich“ und „nicht zu erwarten“.

### 4 Durchführung

#### 4.1 Datengrundlage

Für die o. a. Aufgabenstellung wurde eine umfassende Datenrecherche und -abfrage an einer Vielzahl von Institutionen und bei potenziellen Datenhaltern aus der maritimen Wirtschaft durchgeführt. Daraufhin wurden Datenbestände von nachfolgend aufgelisteten Datenhaltern bereitgestellt und qualitätsgesichert (Tab. 1).

**Tabelle 1:** GPDN Datengrundlage aufgelistet nach Datenhaltern und qualitätsgesicherten Datenbeständen von Korngrößenverteilungen, gemessen an Proben der Meeresbodenoberfläche (bis 20 cm Eindringtiefe), und petrographischen Bohrkernbeschreibungen (Stand: 16.04.2012).

Datenhalter	Korngrößenverteilungen Probenanzahl gesamt (Siebanalysen / Petrograph. Beschreibungen)	Bohrungen
BSH	18655 (18655 / -)	558
LBEG	133 (133 / -)	5620
WSV	537 (537 / -)	-
BGS	20 (20 / -)	4
BfG	78 (78 / -)	-
TNO	307 (307 / -)	-
WTD 71/FWG	73 (- / 73)	10
Senckenberg	941 (941 / -)	-
Windparkfirmen/Industrie <sup>1</sup>	4877 (4877 / -)	-
OAM-DEME GmbH	63 (26 / 37)	-
BGR	-	397

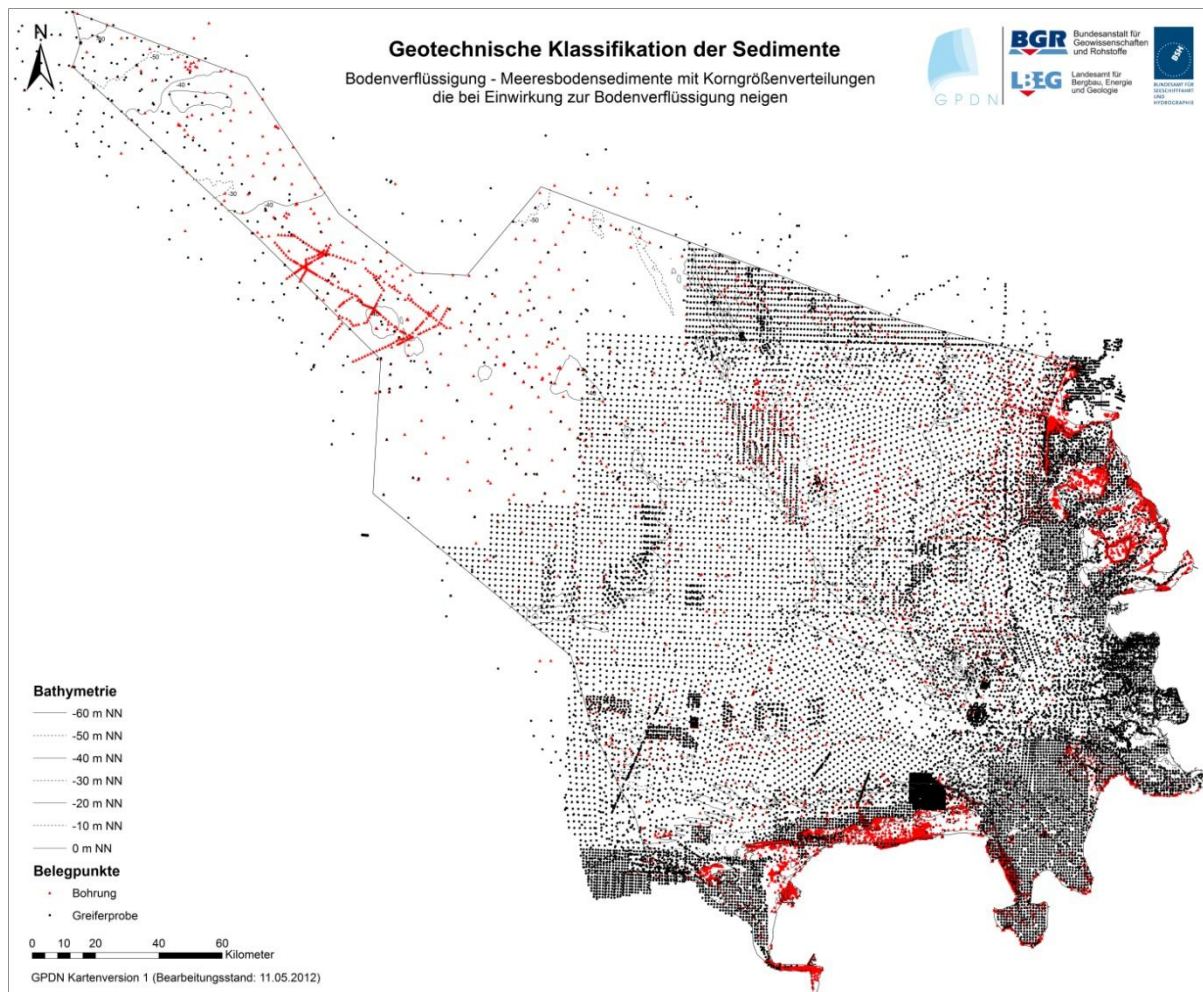
<sup>1</sup> Betreiber Errichter u.a., Daten entnommen aus Anträgen an das BSH

NLWKN	-	8
BARD Engineering GmbH	-	1
Jade Weser Port	-	137
LLUR	-	2805
AWI	-	5
HPA	-	124
GPDN (BGR, LBEG, BSH)	1288 (1243 / 45)	183

Um einerseits die Datendichte an der Meeresbodenoberfläche im Gesamtgebiet zu erhöhen und andererseits in größere Teufenbereiche reichende Auswertungen vornehmen zu können, wurden neben Datensätzen zur Korngrößenverteilung (bis 20 cm GOK) auch Bohrkernbeschreibungen der oberen Sedimentschichten bis -2 m Teufe herangezogen und nach ihrer Korngrößen-spezifischen Neigung zum Effekt der Bodenverflüssigung klassifiziert. Zur Minimierung von Blattrandeffekten sind Daten aus Anrainerstaaten in einer Pufferzone von 20 km um die deutsche AWZ bei der Auswertung berücksichtigt worden. Nach Abschluss der Datenakquisition und Qualitätssicherung stand ein Gesamtdatensatz von 26800 Korngrößenverteilungen und 10200 Bohrungen für die Auswertung zur Verfügung. Davon konnten 9247 Bohrungen in 20 cm Teufe klassifiziert werden, so dass der Datensatz für die flächendeckende Karte der am Meeresboden anstehenden Sedimente insgesamt 36047 Datenpunkte enthält. In übrigen Bohrungen wurden in 20 cm Teufe Sedimentproben entnommen und im Labor analysiert, organische Lagen oder Muschelschill angetroffen bzw. die Endteufe nicht erreicht. Der Datensatz entspricht einer durchschnittlichen Datendichte von 0,88 Datenpunkten pro Quadratkilometer (Tab. 2). Die räumliche Verteilung ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Bohrdatenauswertung in -1 m Teufe basiert auf 9049 Bohrungen sowie jene in -2 m Teufe auf 8122 Bohrungen.

**Tabelle 2:** Datendichte (Kartenversion 1).

Gebiet	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Datenpunkte [Anzahl]	Bohrungen	Korngrößen- verteilungen	Datendichte [Daten/km <sup>2</sup> ]
Dt. Nordsee	41100	36047	9247	26800	0,88
Dt. Bucht	28805	33466	8659	24807	1,16
Entenschnabel und äußere Bereiche	12295	2581	588	1993	0,21



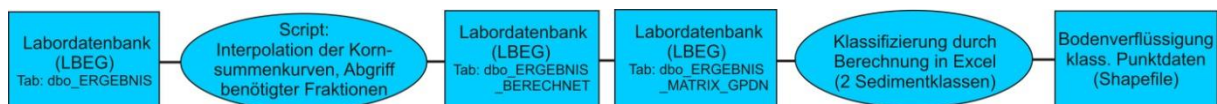
**Abbildung 1:** Qualitätsgesicherte Datengrundlage des GPDN-Projekts für die Sedimentverteilung am Meeresboden (Kartenversion 1, Stand 16.04.2012).

#### 4.1.1 Sedimentklassen aus Korngrößenanalysen

Das allgemeine Vorgehen zur Qualitätssicherung der zur Verfügung stehenden Datensätze ist in mehrere Bearbeitungsschritte unterteilt. Zuerst wurden die Metadaten der Proben im GIS erfasst und der Datensatz mit dem Polygon-Shapefile des Projektgebietes inklusive einer 20 km Pufferzone in Anrainerstaaten verschnitten, um ggf. außerhalb liegende Daten zu entfernen. Anschließend wurden die Einzelfraktionen aufaddiert und Analyseergebnisse von Proben mit Siebverlusten von über 3 % entfernt. Nach DIN 18123 (Bestimmung der Korngrößenverteilung) ist bei Siebverlusten über 1 % das Ergebnis zu verwerfen, jedoch werden dabei wesentlich weniger Siebe verwendet im Vergleich zum Siebsatz in  $\frac{1}{4}$  Phi-Graden (Abstufung nach ASTM). Ein Großteil der im GPDN-Projekt ausgewerteten Korngrößendaten liegt in  $\frac{1}{4}$  Phi-Graden vor (z.B. BSH, Senckenberg, TNO), so dass aufgrund der höheren Siebanzahl auch höhere Siebverluste zu erwarten sind. Zusammen mit Erfahrungen des Sedimentlabors im Geozentrum Hannover wurde daher die Grenze von 3 % Siebverlust als Ausschlusskriterium definiert. Falls an einer Probe zwei Messungen mit unterschiedlichen Probenaufbereitungen durchgeführt wurden, ist das Korngrößenergebnis in den Datensatz übernommen worden, dessen Aufbereitung der DIN 18123 am nächsten kommt. So wurden Ergebnisse vorrangig mit Kalklösung in der Probenaufbereitung verwendet, wenn zwei Ergebnisse pro Probe zur Verfügung standen. Dies betrifft z.B. 876 Analyseergebnisse aus dem BSH-Datensatz.

Anschließend wurden die Korngrößenergebnisse in Summenfraktionen überführt und in der NIBIS-Labordatenbank des LBEG abgelegt.

Zur Normierung der Korngrößenverteilungen (variierende Siebsätze und Methoden) werden basierend auf den Ergebnissen die entsprechenden Kornsummenkurven als interne Datenbankroutine interpoliert. Von der Summenkurve werden für die Auswertung benötigte Fraktionen abgegriffen und in einer Datenbanktabelle für berechnete Ergebnisse abgelegt. Zur Übersicht von Metadaten, Laborergebnissen und Berechnungen wird in der NIBIS-Labordatenbank die Tabelle „dbo\_ERGEBNIS\_MATRIX\_GPDN“ erzeugt. Für die weitere Auswertung und Klassifikation wird auf diese Tabelle zugegriffen. Abbildung 2 verdeutlicht die schrittweise Auswertung der Labordaten.



**Abbildung 2:** Datenauswertung und Klassifikation von Labordaten.

Kurzbeschreibung der in die Auswertung eingeflossenen Datensätze unterschiedlicher Herkunft:

#### BSH (MUDAB):

Bei der Mehrzahl der Proben wurden die Fraktionen 0,031 bis 0,063 mm und unterhalb 0,031 mm von der nassen Probe durch Schlämmung abgetrennt und deren Anteil bestimmt. Bei Proben jüngerer Datums wurde ausschließlich die Fraktion unterhalb 0,063 mm durch Schlämmen der Nassprobe abgetrennt.

Die verbliebenen Sand- und Feinkiesfraktionen (> 0,063 mm) wurden bei 105° C getrocknet, geteilt und anschließend 10 min lang trocken gesiebt. Dabei wurde ein Plansiebverfahren mit – zumindest bis Ende der 1970er Jahre – Siebhilfen (Gummiwürfel) angewandt.

Der beim BSH verwendete Siebsatz hat eine Abstufung nach ASTM mit Abständen von ¼ Phi-Graden, wie sie international in der Meeresgeologie üblicherweise verwendet werden. Muscheln, Schill, Steine, größere Steine usw. wurden besonders registriert.

In der MUDAB sind keine Angaben über das geodätische Bezugssystem abgespeichert, auf das sich die Koordinaten der jeweiligen Stationsdatensätze beziehen. Da diese Angaben kaum bzw. nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand recherchierbar sind, wurden alle Koordinaten von Datensätzen, die vor dem 01.01.2000 erhoben wurden, in ArcGIS 9.3 von ED 50 nach WGS 84 (ED50\_to\_WGS84\_2) umgerechnet. Bei den Koordinaten von Datensätzen ab dem 01.01.2000 wurde davon ausgegangen, dass diese auf WGS 84 bezogen sind.

Nach Durchführung der beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätssicherung wurden insgesamt 18.655 Analyseergebnisse zur weiteren Kartierung verwendet.

#### LBEG:

Insgesamt wurden 133 Analyseergebnisse anhand von Proben aus dem oberflächennahen Schichtbereich (bis 30 cm) von Bohrungen zusammen getragen. Es kamen dabei unterschiedliche Methoden und Siebsätze zum Einsatz.

- 3 Analysen mit Schwerkraftsedimentation (Atterberg-Methode): <2 µm; <6,3 µm, <20 µm, <63 µm, <112 µm, <200 µm, <354 µm, <630 µm, <1120 µm
- 39 Analysen mit Trockensiebung: <63 µm, <112 µm, <200 µm, <354 µm, <630 µm,

<1120 µm, <2000 µm, >2000 µm

- 91 Analysen mit Kombination Atterberg und Trockensiebung: <20 µm, <63 µm, <112 µm, <200 µm, <354 µm, <630 µm, <1120 µm, <2000 µm, >2000 µm

#### HPA / WSV:

Aus dem Monitoringprogramm von abgelagertem Baggergut der Bundeswasserstraßen an Tonne 3, rund 25 km nordwestlich von Scharhörn wurden 537 Kornverteilungen in die Datenbasis integriert (Sedimentkataster des WSV / HPA, Zeitraum: 07.2005 bis 07.2007, Datenlieferung 25.09.2009).

Siebsatz: <20 µm, <63 µm, <100 µm, <200 µm, <630 µm, <1000 µm, <2000 µm, >2000 µm

#### BGS:

Es wurden 20 Analysen innerhalb der 20 km Pufferzone im Siebsatz von 1/2 Phi-Graden (<63 µm bis <1410 µm) integriert (Datenlieferung: 09.2009).

#### BfG:

Es wurden 78 Analysen aus einem umfangreichen Datensatz von 486 Kornverteilungen übernommen. Aus dem Datensatz sind Ergebnisse außerhalb des Projektgebiets sowie Proben unterhalb von 30 cm Teufe nicht berücksichtigt worden. An einigen Positionen standen Zeitreihen zur Verfügung, von denen das jeweils aktuellste Ergebnis selektiert wurde (Datenlieferung: 29.10.2009).

Siebsatz: <20 µm, <63 µm, <200 µm, <600 µm, <2000 µm, >2000 µm

#### TNO:

Es wurden 307 Analysen mit Siebabständen von ¼ Phi-Graden aus dem niederländischen Nordseesektor importiert. (Datenlieferung: Dezember 2009)

#### WTD 71/FWG:

Der Datensatz umfasst 73 petrographische Beschreibungen von Proben der Sedimentoberfläche im Gebiet südwestlich und nördlich von Helgoland sowie der Amrum Bank. Aus den petrographischen Beschreibungen wurden Kornverteilungen nach der Methode von NAUMANN et al (eingereicht) berechnet und in der NIBIS-Labordatenbank (Tabelle: dbo\_ERGEBNIS\_BERECHNET) abgelegt. (Datenlieferung: 22.12.2009)

#### Senckenberg:

Der Datensatz umfasst 941 Analysen aus dem Küstenvorfeld von Spiekeroog und wurde mit Siebabständen von ¼ Phi-Graden gemessen. (Datenlieferung: 02.02.2011)

#### Windparkfirmen:

Aus dem Datensatz von 5321 Analysen wurden 4877 Analysen importiert. Ausschlusskriterium bildeten höhere Siebverluste von über 3 %. Es wurde in 1 Phi-Graden (4359 Proben importiert) und nach DIN 18123 (518 Proben importiert) gesiebt. (Datenlieferung: 04.11.2011)



### OAM-DEME GmbH:

Der Datensatz umfasst 26 Analysen, die mit einem Siebsatz nach im DIN 18123 gemessen wurden, und 37 petrographische Beschreibungen von Proben der Sedimentoberfläche. Aus den petrographischen Beschreibungen wurden Kornverteilungen nach der Methode von NAUMANN et al (eingereicht) berechnet und in der NIBIS-Labordatenbank (Tabelle: dbo\_ERGEBNIS\_BERECHNET) abgelegt. Die Proben stammen aus den Kiesabbau-Bewilligungsfeldern „Weiße Bank“ und „OAM-III“. (Datenlieferung: 16.11.2011)

### GPDN:

Der Datensatz umfasst 1391 Analysen mit Video-optischen Verfahren (Camsizer, Firma Retsch) in  $\frac{1}{4}$  Phi-Graden, die im Sedimentlabor des Geozentrums Hannover während der Projektlaufzeit durchgeführt wurden. Die Probenstandorte sind in Abschnitt 4.1.3 beschrieben und dargestellt.

#### Probenvorbereitung:

Die Proben wurden bei 105° C getrocknet, das Gesamtgewicht ermittelt und die Kies-Stein Fraktion (>2 mm) per Trockensiebung abgetrennt und gewogen. Aus der verbleibenden Probenmenge wurden Teilproben von etwa 150-180 g durch Rotationsteilung für die weitere Bearbeitung entnommen. Der Rest ist zusammen mit der Grobfraction als Archivprobe im Probenlager des BSH gelagert. Anschließend erfolgten Kalklösung, Entfernung von organischen Bestandteilen und die Abtrennung der Fraktion <63  $\mu$ m durch Nass-Siebung.

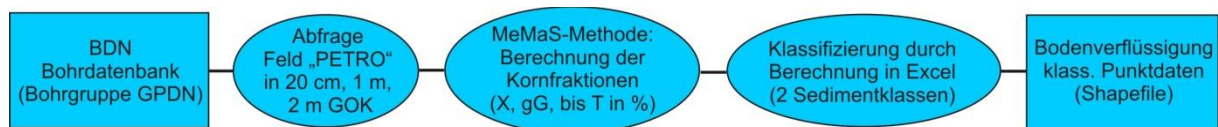
#### Analyse:

Die Korngrößenbestimmung der sandigen Teilprobenmenge wurde mit Hilfe eines Video-optischen Verfahrens durchgeführt. Dabei filmt ein kombiniertes System von zwei Kameras (Gesamtprobe und Detailvergrößerung) die Probe beim Durchlauf und errechnet Software-gestützt die Kornverteilung. Die Verteilung ist in beliebig viele Fraktionen teilbar, zusätzlich werden Informationen über den Rundungsgrad des Materials gewonnen. Die Kornverteilung wurde konform zu dem bestehenden Datensatz in  $\frac{1}{4}$  Phi-Graden errechnet. Der Feinanteil kleiner 63 $\mu$ m wurde durch Schwerkraftsedimentation (Atterberg-Methode) bestimmt. Die Grobfraction ist als Gewichtverhältnis von Gesamtprobe zu Teilprobe berechnet worden.

## **4.1.2 Abgeleitete Sedimentklassen aus Bohrkernbeschreibungen**

Als Datenbasis dienen Bohrungen, die im Rahmen des GPDN-Projekts akquiriert wurden. Die Schichtenverzeichnisse sind auf den Symbolschlüssel Geologie (PREUSS et al. 1991) normiert und qualitätsgesichert im SEP3-Format in die Bohrdatenbank Niedersachsen (BDN) übertragen worden. Für die Auswertung nach Sedimentklassifizierungen (z.B. FIGGE 1981, FOLK 1954, 1974) ist eine Konvertierung der Schichtbeschreibungen in Kornverteilungen notwendig, die automatisiert als MeMaS-Methode auf die Daten in der Bohrdatenbank zugreift. In Bezug auf die Aussagetiefe der zu erstellenden Karte erfolgt eine Abfrage der Bohrkernbeschreibung auf die jeweilige Schicht in 20 cm Teufe und anschließend eine Zerlegung des SEP3-Eintrags im Feld "Petro" in Haupt-, Nebengemengeanteile (Korngrößenkürzel), Quantifikatoren (1-5) sowie beschreibende Adjektive (z.B. obz = oben zunehmend). Die Parametrisierung der Kornverteilung basiert auf Vorüberlegungen von H.-H. Voss (LBEG Archivbericht: 010930; Voss 1982) und Ergänzung dieser Formel durch Einbeziehung der beschreibenden Adjektive zur Verbesserung der Genauigkeit. Eine Detailbeschreibung dieser Methodenentwicklung im Rahmen des GPDN-Projekts ist in NAUMANN et al. (eingereicht) erläutert. Der Auswertungsprozess ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

Für die Kartenversion 1 wurde eine Datenbasis von 9836 Bohrungen bis 16.04.2012 zusammen getragen, anhand derer eine Konvertierung und Auswertung für 9247 Bohrpositionen erfolgt ist. Bohrungen, in denen Schill- oder organische Ablagerungen in entsprechender Teufe angetroffen wurden, lieferten kein Ergebnis. Zur Generierung eines eindeutigen Datensatzes wurden Ergebnisse von Bohrungen entfernt, aus denen Proben in diesem Schichtbereich entnommen und im Labor analysiert wurden.



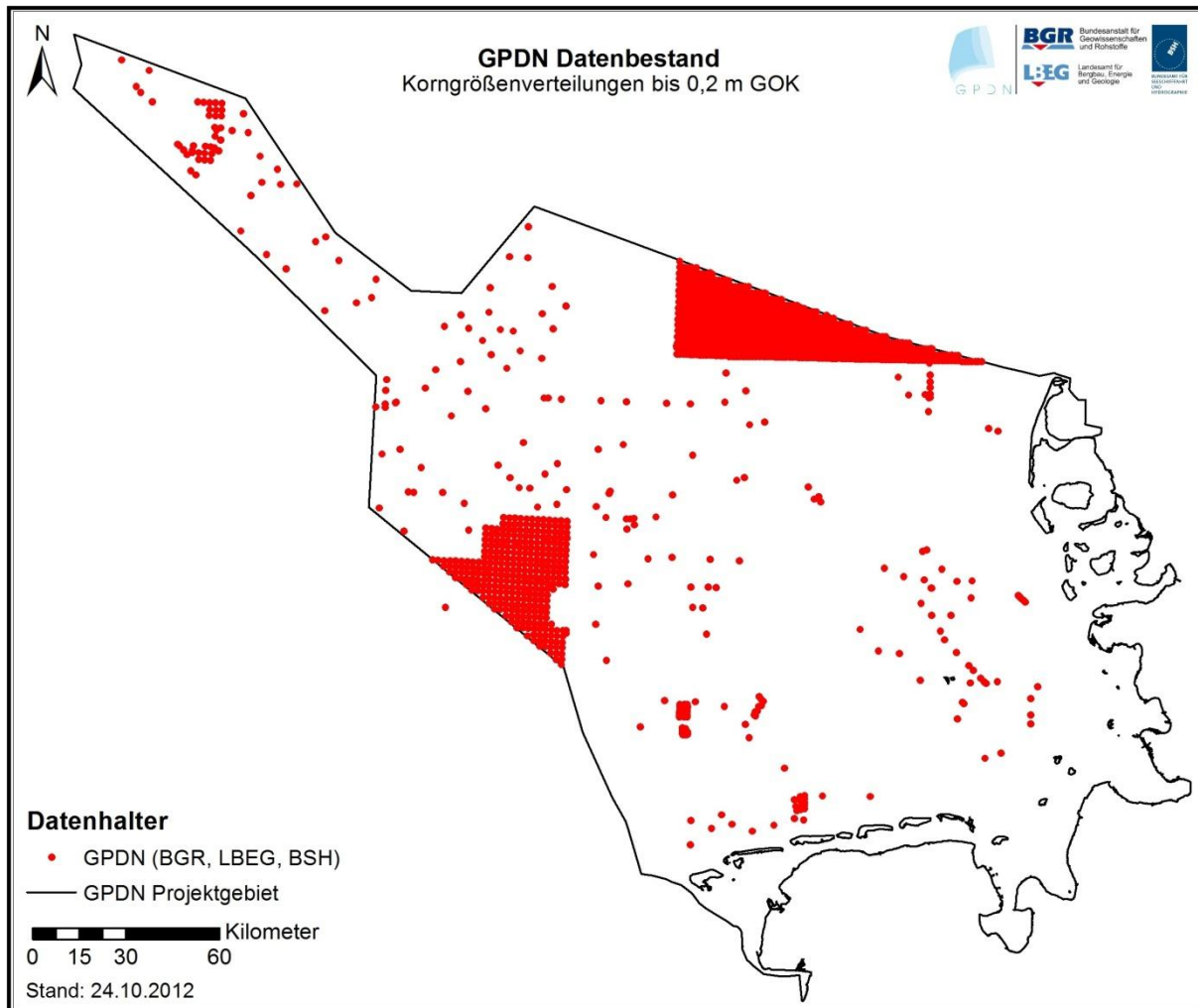
**Abbildung 3:** Datenauswertung und Klassifikation von Bohrdaten.

#### 4.1.3 Kartierung der Sedimentverteilung im Rahmen von GPDN

Der zu Projektbeginn 2009 bestehende Datensatz aus Sedimentproben der Meeresbodenoberfläche zeigt eine hohe Datendichte in der inneren Deutschen Bucht und wurde in einem regelmäßigen Probenraster von 1 sm für die Erstellung des Kartenblattes Nr. 2900 (FIGGE 1981) erzeugt. Dieses Probenraster wurde in Gebieten mit zu erwartender heterogener Sedimentverteilung in äußeren Bereichen der deutschen AWZ fortgeführt. Dabei lag der Fokus im Rahmen des GPDN-Projekts auf Bereiche entlang der dänischen und niederländischen Grenze (Tab. 3, Abb. 4). Zusätzlich wurden alle im Rahmen des Projekts durchgeführten Bohrungen an der Sedimentoberfläche zwischen 10-20 cm Teufe systematisch beprobt.

**Tabelle 3:** Durchgeführte Beprobung während Forschungsfahrten im Zeitraum 2008 bis 2011.

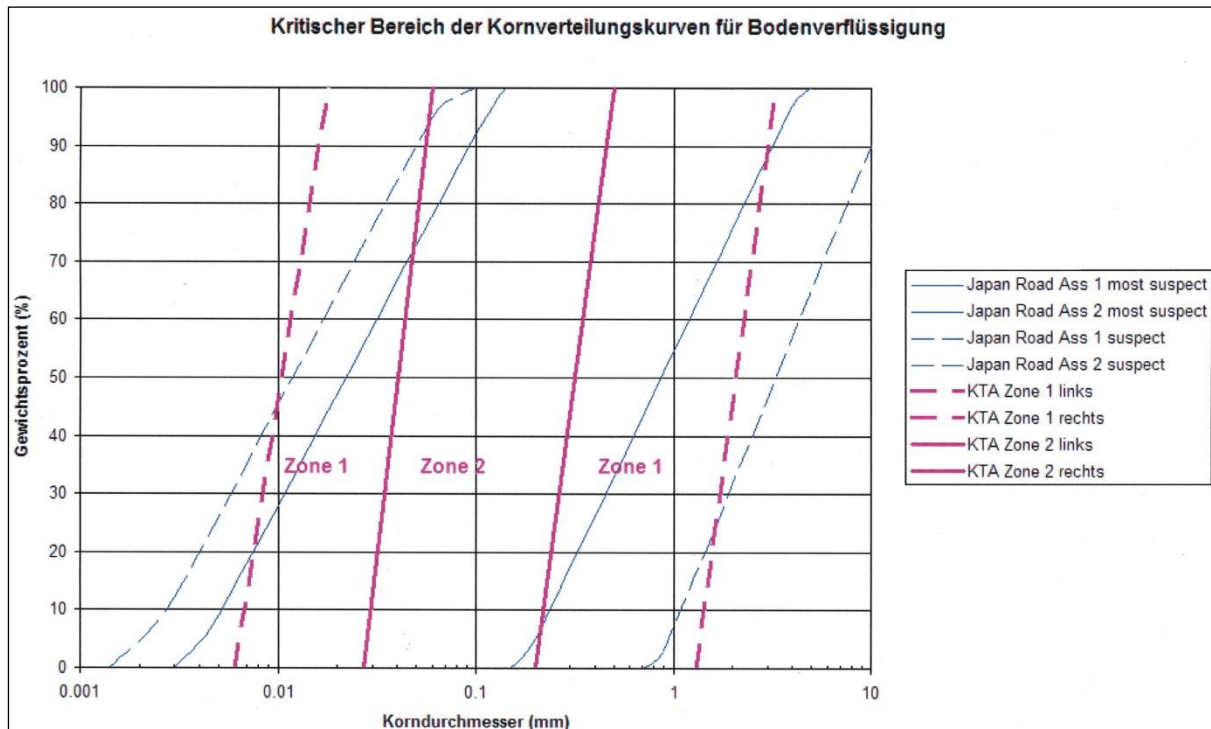
Expedition	Zeitraum	Probenanzahl
Atair 151	Juli 2007	5
Wega 94	September 2007	12
Wega 99A	Mai 2008	4
Wega 101A	Juli 2008	8
Wega 103	August 2008	141
Wega 106	März 2009	4
Celtic Explorer 09	Mai - Juni 2009	85
Atair 172	Juni 2009	107
Wega 111	August 2009	224
Atair 182A	Juli 2010	246
Planet 10	Dezember 2010	16
Wega 122	Dezember 2010	4
Celtic Explorer 11	Mai - Juni 2011	165
Atair 191	Juni 2011	312
Wega 129A	Juli 2011	34
Wega 131	Oktober 2011	6
Wega 131A	November 2011	3



**Abbildung 4:** Lage von Greiferstationen und beprobten Bohrungen im Rahmen von GPDN.

#### 4.2 Sedimentklassifikation nach STUDER & KOLLER (1997)

Grundlage der Klassifizierung bilden die von STUDER & KOLLER (1997) publizierten kritischen Korngrößenverteilungen im grobschluffigen bis mittelsandigen Bereich mit guter Kornsortierung (Abb. 3 - KTA-Zone 2). Auf dieser Grundlage wurden zwei Klassen, „potenziell möglich“ und „nicht zu erwarten“ festgelegt. Diese eher „unscharfen“ Klassen wurden gewählt, da erst das Zusammenwirken mehrerer Parameter (z.B. zyklische Beanspruchung, Porenwasserdruckanstieg, spezifische Korngrößenverteilung) den Effekt der Bodenverflüssigung auslöst. Lokationen, die eine unimodale Korngrößenverteilung mit einem steilen Funktionsanstieg innerhalb der kritischen KTA-Zone 2 aufweisen, wurden als „potenziell möglich“ klassifiziert (Abb. 3). Dafür wurde der Funktionsanstieg zwischen 0,3  $\mu\text{m}$  und 500  $\mu\text{m}$  berechnet ( $\Delta y/\Delta x$ ). Liegt 90 % der Verteilung in diesem Bereich wurde die Lokation mit „potenziell möglich“ klassifiziert.



**Abbildung 5:** Kritischer Bereich der Kornverteilung der Japanischen Strassenvereinigung und der deutschen KTA - Kerntechnischer Ausschuss (nach STUDER & KOLLER 1997).

## 4.3 Erstellung der digitalen Karte

### 4.3.1 Allgemeines

Kartographische Festlegungen:

Die Koordinaten des Geofachdatensatzes (Shapefile) werden in unprojizierter Form als LAT/LONG (WGS 84) und in Gauß-Krüger-Koordinaten (DHDN Zone 3) vorgehalten. Die Erstellung der digitalen Sedimentverteilung erfolgt für das Seegebiet der deutschen Nordsee nach der eigens entworfenen Klassifikation auf der Grundlage von STUDER & KOLLER (1997).

Berücksichtigung des Einflusses der Morphologie auf die Sedimentverteilung:

Die räumliche Verbreitung von Korngrößen ist in Tide-beeinflussten Schelfmeeren wie der deutschen Nordsee in engem Maße an die Bathymetrie bzw. Morphologie sowie Strömungsverhältnisse gekoppelt. Dieser Ansatz wurde bereits in früheren Kartenwerken zur Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht beachtet (FIGGE 1981). Zur Festlegung der räumlichen Abgrenzung von Sedimentklassen wurde basierend auf Vermessungsdaten des BSH ein Bathymetrie-Shapefile in 1 m-Stufen im GPDN-Projekt interpoliert (GPDN-Projekt-Module A2 & F) und für die Kartenzeichnung verwendet (Stand: 21.03.2010). Die Bewertung von bathymetrischen Informationen in Kombination mit Sedimentdaten wird in Abschnitt 4.3.2 detailliert beschrieben.

Berücksichtigung der rezenten Sedimentdynamik:

In den Seegebieten mit einer heterogenen Sedimentverteilung, wie z. B. auf dem Borkum Riffgrund oder östlich des Elbe-Urstromtals, ist nicht auszuschließen, dass im Zuge von wiederkehrenden Probennahmen auf ein und denselben Stationen unterschiedliche

Sedimentklassen ermittelt werden. Dies ist in der Regel auf Umlagerung von mobilen Sanden auf einem unterlagerndem grobkörnigen Substrat (Grobsande, Kiese, Restsedimente) zurückzuführen.

Bei der Erstellung der digitalen Karte zur Sedimentverteilung in der deutschen Nordsee wird diese zeitliche Variabilität in Form einer geeigneten heterogenen Sedimentverteilung umgesetzt. An Positionen mit zeitlichen Abfolgen von Beprobungen geschieht dieses, indem die am häufigsten vorgefundene Sedimentklasse innerhalb dieser Abfolge in die Kartenzeichnung eingeht.

Der Bereich, in dem mit einer erhöhten Sedimentdynamik zu rechnen ist, umfasst im Wesentlichen den Küstenraum bis etwa zur -20 m NN Linie und wurde in Form eines zusätzlichen Datenlayers gekennzeichnet.

### 4.3.2 Kartographische Grundsätze

Die vorliegende Kartenversion 2 wurde manuell als digitale Karte in Form eines Geofachdatensatzes unter Verwendung von ArcGIS erstellt.

Grundlagen der Digitalisierung:

#### 1. Räume mit hoher Datendichte:

- Mit der Datendichte bei einem Gitterpunkt Abstand von einer Seemeile innerhalb des regelmäßigen Oberflächenprobenrasters der BSH-Kartierung (FIGGE 1981: Kartenblatt Nr. 2900 – Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht) wurde eine geschlossene Kartenfläche erstellt.
- Punkte in räumlicher Nachbarschaft und mit gleicher Klassifikation wurden in einem Polygon zusammengefasst.
- Den lokalen bathymetrischen Verhältnissen konnte in diesem engeren Datengitter nur untergeordnet Rechnung getragen werden. Die Abgrenzung der Flächen ergab sich hauptsächlich durch die Verteilung unterschiedlich klassifizierter Datenpunkte. Die Grenzziehung ist im Einzelfall zwischen Bathymetrie und halber Distanz dieser Datenpunkte sinnvoll kombiniert worden.
- Liegen auf ein und derselben Position mehrere Datensätze mit unterschiedlicher Klassifizierung als Folge sedimentdynamischer Prozesse (s. o.) vor, so wurden die Sedimentklassen im Kontext zu umliegenden Ergebnissen sinnvoll dargestellt.

Beispiel: In einem Feinsandgebiet wurden an einer Station über mehrere Jahre hinweg Proben entnommen, die in manchen Jahren aus Grobsand bestanden. Dann wird an dieser Station ggf. unter Einbeziehung der Morphologie ein Grobsandvorkommen in sinnvoller Größe kartiert. Auf diesem Weg wird der heterogenen Sedimentverteilung als Folge natürlicher Sandbewegungen angemessen Rechnung getragen.

- Vorgehensweise zur Bewertung der Bohr- und Labordaten für die Abgrenzung der jeweiligen Sedimentklassen:  
Die Verwendung von parametrisierten Bohrdaten erfolgte als Zusatzinformation zum Oberflächenprobenraster von Korngrößenanalysen. Betrug die Abweichung eines einzelnen Bohrpunktes eine Sedimentklasse im Vergleich zu umliegenden Labordatenpunkten, wurde dieser dem Sedimenttyp der Umgebung zugeschlagen (Begründung: Unschärfe der Feldansprache und Umrechnung dieser Bohrgutbeschreibungen in Kornverteilungen – siehe Methodvalidierung in NAUMANN et al. (eingereicht)). Sind mindestens zwei oder mehrere abweichende Bohrdatenauswertungen dieser Klasse benachbart, wurde eine eigene Fläche abgegrenzt. Umfasst der Unterschied eines einzelnen Bohrpunktes zwei und mehrere

Sedimentklassen, wurde ebenfalls eine Fläche mit der entsprechenden Sedimentklasse abgegrenzt.

## 2. Räume geringer Datendichte:

- Diese Gebiete befinden sich außerhalb des regelmäßigen Oberflächenprobenrasters in den äußeren Bereichen der deutschen AWZ. In diesem Teilgebiet wurden Punktdaten zu Polygonen zusammengefasst, wenn ihr maximaler Abstand unter 5 sm liegt. Bei größeren Distanzen übernimmt der Einzeldatenpunkt eine Aussage von 0,5 sm Umkreisradius, analog zur Aussagekraft eines Datenpunkts im dichten Datengitter der inneren Deutschen Bucht. Die Abgrenzung erfolgte in diesem Fall als eigenständige Fläche; umliegende Flächen wurden als „keine Daten“ gekennzeichnet.
- Die bathymetrischen und sedimentdynamischen Verhältnisse fanden weitestgehend Berücksichtigung bei der Abgrenzung von Sedimentklassen (z.B. in Senken bevorzugt Ablagerung von feinklastischem Material, Auftragungen bestehen tendenziell aus grobklastischen Sedimenten). Konnte bei der Auswertung zwischen der Bathymetrie und den punktuellen Sedimenttypen kein plausibler Zusammenhang hergestellt werden, wurde auf halber Distanz zwischen den Datenpunkten die Grenze gezogen.
- Vorgehensweise zur Bewertung der Bohr- und Labordaten für die Abgrenzung der jeweiligen Sedimentklasse:  
Die klassifizierten Labordaten erhielten auch in diesen Gebieten Vorrang bei der Zuordnung der Sedimentklasse auf den jeweiligen Flächen. Das Verfahren zur Bewertung beider Datensätze erfolgte analog zum Vorgehen in Gebieten hoher Datendichte.

## 5 Literatur

- DIN 18123 (2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung. – DIN Deutsches Institut für Normierung e.V. [Hrsg.]: Beuth Verlag GmbH, Berlin, 24 S.
- FIGGE, K. (1981): Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Blatt: 2900, Maßstab: 1:250.000). – Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.
- FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. – *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- FOLK, R.L. (1974): *Petrology of Sedimentary Rocks*. – Hemphill Publishing Co., Austin, 182 S.
- NAUMANN, M.; WALDECK, A.; POßIN, W.; SCHWARZ, C.; FRITZ, J. (eingereicht): Berechnung von Korngrößenverteilungen auf der Basis petrographischer Bohrgutbeschreibungen. – *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*.
- PREUSS, H., VINKEN, R., VOSS, H.-H. (1991): *Symbolschlüssel Geologie - Symbole für die Dokumentation und automatische Datenverarbeitung geologischer Feld- und Aufschlußdaten*. – Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg], Hannover, 328 S.
- STUDER, J.A. & KOLLER, M.G. (1997): *Bodendynamik – Grundlagen, Kennziffern, Probleme*. – Springer Verlag, Berlin, 262 S.
- VOSS, H.-H. (1982): *Unterlagen über Material und Methoden zur Vereinheitlichung der Korngrößenansprache bei der geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahme*. – unveröffentl. Archivbericht Nr. 010930 des ehem. NLFb (heute LBEG), Hannover.