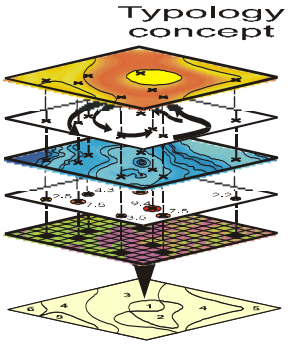



# *Abschlussbericht*

## *MarGIS*

## *Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten*

**durchgeführt im Rahmen des Förderschwerpunkts**

***Informationssysteme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten***

**im**

**BMBF/DFG-Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN**

Prof. Dr. rer. nat. Michael Schlüter[1]

Prof. Dr. rer. nat. Winfried Schröder[2]

Prof. Dr. rer. nat. Lutz Vetter[3]

28. März 2006

[1]Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung, D-27515 Bremerhaven, Am Handelshafen, Postfach 120161, E-Mail: mschlueter@awi-bremerhaven.de.

[2]Institut für Umweltwissenschaften (IUW) und Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta, E-Mail: wschroeder@iuw.uni-vechta.de

[3] Fachbereiche Geoinformatik sowie Landschaftsinformatik, Landschafts- und Umweltplanung, Fachhochschule Neubrandenburg, Postfach 11 01 21, D-17041 Neubrandenburg, E-Mail: vetter @fh-nb.de

# Inhaltsverzeichnis

I. Kurzübersicht über die Zielsetzungen und Arbeiten des Projektes und zur Gliederung des Abschlußberichts 2

II. Synergien und Aufbau neuer Projekte 4

III. Publikationen 5

# I. Kurzübersicht über die Zielsetzungen und Arbeiten des Projektes und zur Gliederung des Abschlußberichts

Die Küstenbereiche unterliegen weltweit raschen Umweltveränderungen als Folge des globalen Klimawandels und steigender Nutzungsanforderungen, die aus der hohen Populationsdichte und den intensiven land- und seeseitigen ökonomischen Anforderungen resultieren. Neben der Fischerei und der Öl- und Gasförderung, zählen beispielsweise die Offshore Windenergie, Aquakulturen, die Sand- und Kiesförderung oder die Verlegung von Kabeln und Pipelines zu den, zum Teil rasch wachsenden Nutzungsanforderungen.

Die Ausweisung von Bereichen des Meeresbodens für den Bau von Offshore-Anlagen oder den Abbau von Ressourcen erfordert meereswissenschaftliche Voruntersuchungen und die Berücksichtigung nationaler und internationaler Regelungen wie des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen, der Vereinbarung zum Programm der Helsinki Commision (Helcom) zur Einrichtung von Schutzgebietsnetzen, des Oslo-Paris-Übereinkommens (OSPAR) zum Schutz des Nordatlantiks oder der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie).

Sowohl für anwendungsorientierte wie auch meereswissenschaftliche Untersuchungen, die bspw. die Modellierung von Küsten- und Randmeeren im Hinblick auf mögliche Auswirkungen von IPCC-Klimaszenarien anstreben, sind umfangreiche Datensätze notwendig. Hierzu zählen unter anderem meereschemische Daten zur Verteilung von Nährstoffen, Sauerstoff oder Spurengasen in der Wassersäule, bathymetrische Vermessungen zur Charakterisierung der Morphologie des Meeresbodens, geologische und geochemische Untersuchungen der Sedimente zur Erstellung von thematischen Karten wie der Sedimentverteilung oder zur räumlichen und zeitlichen Verteilung von Schadstoffen sowie biologische Daten zum Vorkommen und zur Abundanz von Fischen oder benthischen, am bodenlebenden Organismen.

Aus diesen wissenschaftlichen und anwendungsbezogenen Anforderungen resultieren die Zielsetzungen und die Arbeitsschritte die im Rahmen von MarGIS am Alfred-Wegener-Institut (AWI), der Hochschule Vechta (HV) und der Fachhochschule Neubrandenburg (FHN) durchgeführt wurden. Zusammengefaßt beinhalten die Ziele und Arbeitsschritte (siehe MarGIS-Antrag):

(1) Erstellung georeferenzierter bathymetrischer Karten für die Hauptarbeitsgebiete und die Bereitstellung dieser georeferenzierten Karten für die Allgemeinheit über das Internet. *(Reihung der Partner entsprechend der Aktivitäten: AWI)*

(2) Räumliche Verallgemeinerung punktueller meeresgeologischer, -chemischer und –biologischer Messdaten mittels geostatistischer Verfahren und Kriging-Interpolation. *(HV, AWI)*

(3) Digitalisierung und Import thematischer Karten (z.B. Korngrößenverteilung oder Sedimentfazies, Organismenverteilung) in das GIS sowie die Bereitstellung dieser Rasterdaten über das Internet. *(AWI, FHN)*

(4) Erfassung und Einbindung spezieller Bereiche wie Schutzzonen und Nutzungsgebiete (Vogel- und Naturschutzzonen, Haupt-Schifffahrtswege, Offshore-Plattformen, Grundfischerei, Sperrzonen etc.) in das GIS. *(AWI, FHN)*

(5) Kombination verschiedener Informationslagen mittels GIS-Techniken (z. B. Verschneidung bathymetrischer Karten mit Karten über die Sedimentfazies und den Kohlenstoffgehalt) und Bereitstellung der Ergebnisse im Internet. *(AWI, HV, FHN)*

(6) Dokumentation der Metadaten in einer GIS-gekoppelten Metadatenbank, auf die über das Internet zugegriffen werden kann. *(FHN, AWI, HV)*

(7) Vergleich unterschiedlicher, im terrestrischen Bereich zur Typologisierung und Indikatorbildung verwendeter multivariater Verfahren auf ihre Anwendbarkeit auf meeres-geowissenschaftliche Datensätze und Fragestellungen. *(HV)*

(8) Anwendung ausgewählter multivariater statistischer Verfahren zur Typologisierung und Unterteilung von Meeresregionen in Provinzen. *(HV)*

(9) Diskussion der ersten Ergebnisse mit Wissenschaftlern anderer meereswissenschaftlicher Disziplinen (z.B. Biologen und Ozeanographen) und potentiellen Anwendern in Behörden und Firmen zur Optimierung des Verfahrensprozesses. *(AWI, HV)*

(10) Dokumentation des wissenschaftlichen Konzeptes und der Verfahrensweise, um die Typologisierung auch auf andere Meeresregionen anwenden zu können. *(AWI, HV)*

(11) Aufbau einer multimedial gestalteten Webpage mit dem Ziel, Schüler, Studenten und der interessierten Öffentlichkeit meereswissenschaftliche Fragestellungen näher zu bringen. Hierzu zählt auch die Entwicklung einer "virtuellen Forschungsreise" für eigengesteuerte Wissensvermittlung. *(FHN)*

(12) Interpretation, Publikation und Bereitstellung der Ergebnisse und des konzeptionellen Ansatzes in international angesehenen Fachzeitschriften sowie durch Gespräche und Workshops mit Behörden, Planungsbüros und anderen interessierten Gruppen. *(AWI, HV, FHN)*

Hierbei war das Alfred-Wegener-Institut (AWI) im wesentlichen für die Datenrecherche, die Aufbereitung der Geodaten, die Entwicklung des Datenbankmodells, die Integration der Daten in die Geodatenbank und die Auswertung der bathymetrischen und sedimentologischen Daten zuständig. Hierfür wurde ein spezielles Datenmodell entwickelt, das es ermöglicht gemessene Rohdaten (inklusive der Kalibrationswerte und Metadaten zu den Methoden und verwendeten Sensoren), Literaturdaten, thematische Karten sowie Rasterdaten in eine Geodatenbank zu integrieren. Diese Geodatenbank wurde mittels MS SQL Server und der Spatial Data Engine von ArcGIS implementiert.

Basierend auf diesen Geodaten wurde an der Hochschule Vechta die Eignung geostatistischer und multivariat-statischer Verfahren zur Erstellung thematischer Karten untersucht und entsprechende Karten erstellt.

Der Aufbau eines Internet Map Servers sowie die Betrachtung raumplanerischen Belange (die z. B. die Nutzung des Meeresboden betreffend) wurden an der Fachhochschule Neubrandenburg (FHN) durchgeführt.

Die drei Abschlußberichte geben die im Rahmen des MarGIS Antrags durchgeführten Arbeiten wieder. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Abschlussberichte zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt werden mussten, da bei den Partnern zu unterschiedlichen Zeitpunkten Änderungen in der Personalstruktur auftraten. Beispielsweise reichte die Hochschule Vechta ihren Abschlussbericht bereits kurz nach dem offiziellen Projektende (September 2005) ein, wohingegen das AWI den Bericht nach Abschluss der im Rahmen von MarGIS erstellten Dissertation von Frau K. Jerosch (27. Januar 2006; 37 Monate nach Förderbeginn) anfertigte.

## II. Synergien und Aufbau neuer Projekte

Das Kick-off Meeting und die Statusseminare führten dazu, das Kontakte und gemeinsame Aktivitäten mit anderen Arbeitsgruppen des Förderschwerpunkts *Informationssysteme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten* und *Gashydrate im Geosystem* aufgebaut wurden. Hieraus resultierten gemeinsame Projekte und Publikationen.

Beispielsweise wurde mit dem Technologie-Zentrum Informatik (TZI; Dr. G. Ioannidis) ein Projekt durchgeführt in dem eine Software zur automatischen Analyse von Bildinhalten entwickelt wurde (Jerosch et al., accepted). Hiermit wurden georeferenzierte Videomosaike des Meeresbodens, die am Haakon Mosby Schlammvulkan mit dem ROV Victor6000 (IFREMER) aufgezeichnet wurden, analysiert. Die Identifizierung und Kartierung chemoautotropher Vergesellschaftungen und biogeochemischer Habitate (Jerosch et al., subm.) erfolgte in Kooperation mit dem Geotechnologien Projekt MUMM (Projektleiterin Prof. Dr. A. Boetius).

In Kooperation mit der Firma IFAÖ (Institut für Angewandte Ökologie, Brodersdorf) wurde für das BfN eine *Machbarkeitsstudie zur benthischen Habitatskartierung* durchgeführt. Am Beispiel der MarGIS Daten sowie weiterer Geodaten zur Ostsee wurde untersucht, ob sich die europäische Habitatsklassifikation EUNIS auf die Deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) anwenden lässt (Busch, 2006). Aus den MarGIS Aktivitäten und den Ergebnissen der Machbarkeitstudie resultierte auch die Einbindung von MarGIS Partnern in Working Groups von ICES (Working Group on Marine Habitat Mapping – WGMHM).

Das in MarGIS aufgebaute Datenbankmodell, das auf der Geoinformatik Tagung in Münster im Themenbereich SensorML vorgestellt wurde (Schlüter et al., 2005) führte dazu das mit der Firma CeBeNetwork (Bremen) und der Hochschule Bremerhaven ein Projekt zur

Entwicklung Software und zum Aufbau eines Sensornetzwerks und zur Integration von online verfügbaren Geodaten in ein GIS durchgeführt wird.

## III. Publikationen

**Spatial distribution of mud flows and chemoautotrophic communities affecting the methane cycle at Håkon Mosby Mud Volcano.**
Kerstin Jerosch, Michael Schlüter, Jean-Paul Foucher, Anne-Gaelle Allais, Michael Klages, Christian Edy.
Marine Geology (submitted). GEOTECH-202.

**Indicator kriging applied for video mosaics: a case study of habitat mapping at the submarine Håkon Mosby Mud Volcano.**
Kerstin Jerosch, Michael Schlüter, Roland Pesch.
Ecological Informatics (submitted). GEOTECH-204.

**Automatic content-based analysis of georeferenced image data: detection of *Beggiatoa* mats in seafloor video mosaics from the Håkon Mosby Mud Volcano**
Kerstin Jerosch, Andree Lüdtke, Michael Schlüter, George Ioannidis.
Computers and Geosciences (accepted). GEOTECH-203.

**MarGIS Marine Geo-Information-System for visualisation and typology of marine geodata.**
Kerstin Jerosch, Michael Schlüter, Roland Pesch, Winfried Schröder, Andreas Köberle, Lutz Vetter.
Conference proceedings: EnviroInfo2005 Brno - Informatics for Environmental Protection. GEOTECH-176.

**Predictive benthic habitat mapping in the North Sea.**
Roland Pesch, Hendrik Pehlke, Winfried Schroeder.
Conference proceedings: EnviroInfo2005 Brno - Informatics for Environmental Protection. GEOTECH-177.

**Using decision trees to predict benthic communities within and near the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea.**
Roland Pesch, Hendrik Pehlke, Kerstin Jerosch, Winfried Schroeder, Michael Schlüter.
Environmental Monitoring and Assessment (to be submitted).

**Combining geostatistical methods and GIS to estimate temperature maps of the seafloor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea.**
Roland Pesch, Kerstin Jerosch.
Environmental Monitoring and Assessment (to be submitted). GEOTECH-187

**Geosensors in Marine Research: Surveys by Mobile Underwater Platforms.**
Schlüter, M., Waldmann, C., Müller, K., Hach, O.
*Internationalen GI-Tage Münster, 2005.*

# MarGIS

## Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten

im Förderschwerpunkt

***Informationssysteme im Erdmanagement:***

***Von Geodaten zu Geodiensten***

(BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien)

**FKZ 03F0370A**

**Teilprojekt 1**

Aufbau einer Geo-Datenbanken sowie Datenrecherche, Integration und Visualisierung meeres-geowissenschaftlicher Informationen

Prof. Dr. Michael Schlüter

Dipl. Geogr. Kerstin Jerosch

Dr. A. Schäfer

Dipl. Biol. C. Morchner

Eingehende Darstellung der Projektarbeiten und Ergebnisse

März 2006

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis ..... 0

1 Ziele des Verbundprojekts MarGIS ..... 2

2 Spezifische Zielsetzungen des Teilprojekts TP 1 ..... 4

3 Aufbau einer Geo-Datenbank ..... 6

4 Datenrecherche und Integration meeres-geowissenschaftlicher Informationen in die Geo-Datenbank ..... 8

4.1 Aggregation von digitalen Karten - Die Sedimente der Nordsee ..... 11

5 Visualisierung meeres-geowissenschaftlicher Informationen ..... 14

5.1 Kompilation und Aufbereitung bathymetriescher Daten ..... 14

5.1.1 Bathymetrie der gesamten Nordsee ..... 14

5.1.2 Deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) und der deutsche Küstenbereich ..... 16

5.2 Bewertung der Verfügbarkeit von Messdaten ausgewählter Parametern ..... 19

6 Der Digitale Atlas „Meeresboden der Nordsee“ ..... 23

7 Ausblick ..... 26

8 Publikationen, Posterpräsentationen und Vorträge ..... 26

9 Literaturverzeichnis ..... 28

Anlagen:

- Berichtsblatt
- Erfolgskontrollbericht
- Dissertation von Frau K. Jerosch
- Auszug aus dem „Digitaler Atlas Nordsee“.

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| **AUV** | Autonomous Underwater Verhicle |
| **AWI** | Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven |
| **AWZ** | Ausschließliche Wirtschaftszone |
| **BAW** | Bundesanstalt für Wasserbau |
| **BFA** | Bundesforschungsanstalt |
| **BfN** | Bundesamt für Naturschutz |
| **BGS** | British Geological Survey |
| **BODC** | British Oceanographic Data Centre |
| **BS** | Baltic Sea |
| **BSH** | Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie |
| **BT** | Beam Trawl (Baumkurre) |
| **DATRAS** | Database Trawl Survey |
| **DGM** | Digitales Gelände-Modell |
| **EEA** | European Environmental Agency |
| **eNS** | entire North Sea |
| **EUNIS** | European Nature Information System |
| **FFH** | Flora-Fauna-Habitat |
| **BG** | German Bight |
| **GEUS** | Geological Survey of Denmark and Greenland |
| **GIS** | Geo-Informationssystem |
| **GOV** | Grande Ouverture Verticale (Schleppnetz) |
| **HELCOM** | Helsinki Commission |
| **IBTS** | International Bottom Trawl Survey |
| **ICES** | International Council for the Exploration of the Sea |
| **IDW** | Inversed Distance Weight |
| **IFAÖ** | Institut für Angewandte Ökologie aus Neubrodersdorf |
| **IFÖ** | Institut für Fischereiökologie, Bundesforschungsanstalt für Fischerei |
| **IFM** | Institut für Meereskunde, Universität Hamburg |
| **IMS** | Internet Map Server |
| **INK** | Internationale Nordseeschutzkonferenz |
| **IPCC** | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| **ISH** | Institut für Seefischerei, Bundesforschungsanstalt für Fischerei |
| **IUW** | Institut für Umweltwissenschaften, Hochschule Vechta |
| **JNCC** | Joint Nature Conservation Committee |
| **KMU** | Klein- und mittelständische Unternehmen |
| **MDBS** | Marines Datenbank System |
| **MUDAB** | Meeresumweltdatenbank |
| **NN** | Normal-Null |
| **NSBS** | North Sea Benthos Survey |
| **OSPAR** | Oslo-Paris-Übereinkommen |
| **RIKZ** | Rijksinsituut voor Kust en Zee |
| **ROV** | Remotely Operated Vehicle |
| **SDE** | Spatial Data Engine |

| | |
|---|---|
| **SKN** | Seekarten-Null |
| **SRÜ** | Sachverständigenrat für Umweltfragen |
| **TIN** | Triangulated Irregular Network |
| **TP** | Teilprojekt |
| **TZI** | Technologie-Zentrum für Informatik, Universität Bremen |
| **UBA** | Umweltbundesamt |
| **UTM** | Universal Transverse Mercator |
| **WCh** | Water Chemistry |
| **WGMHM** | Working Group on Marine Habitat Mapping |
| **WSA** | Wasser- und Schifffahrtsamt |
| **WSD** | Wasser- und Schifffahrtsdirektion |

# 1 Ziele des Verbundprojekts MarGIS

Das Verbundprojekt *„MarGIS: Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten"* zielte darauf ab, aus der Kombination von Geo- und Sachdaten, multivariat-statistischen und geostatistischen Verfahren sowie Geo-Informationssystemen (GIS) Meeresbodentypen für die Nord- und Ostsee zu identifizieren. Diese Typologisierung (Klassifizierung) des Meeresbodens soll planerische Belange unterstützen, die Nutzbarkeit großer geowissenschaftlicher Datenbestände verbessern und helfen, raum-zeitliche Zusammenhänge und Veränderungen, denen Küstenregionen unterliegen, zu identifizieren. Die geplante Ergebnisverwertung hat sowohl die Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen, den Transfer von Konzepten und statistischen Verfahren in Behörden und Planungsbüros als auch die Bereitstellung von marinen Sachinformationen für Schüler, Studenten und die interessierte Öffentlichkeit über das Internet zum Ziel.

Die zunehmende Nutzung des Meeresbodens (Hsü und Thiede, 1991) und der zu erwartende Klimawandel (z.B. entsprechend den IPCC Klimaszenarien) führen dazu, das im Bereich von Ozeanrändern und Randmeeren, wie der Nordsee und Ostsee, benthische Lebensräume in immer größerem Ausmaß anthropogenen Eingriffen und Veränderungen unterliegen. Neben der Fischerei und der Öl- und Gasförderung, zählen beispielsweise die Offshore Windenergie, die Aquakulturen, die Sand- und Kiesförderung oder die Verlegung von Kabeln und Pipelines zu den, zum Teil rasch wachsenden Nutzungsanforderungen.

Aufgrund dieses anwachsenden Nutzungsdrucks wird die räumliche Erfassung benthischer Habitate als Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten sowie als naturschutzfachliche Bewertungsgrundlage dringend benötigt. Die Bundesrepublik Deutschland ist in internationalen Abkommen dazu verpflichtet, seltene und bedrohte Habitate der Nord- und Ostsee zu ermitteln und nachhaltig zu bewirtschaften. Die wichtigsten Abkommen sind das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen von 1982, die Vereinbarungen zum Programm der Helsinki Commission (Helcom) zur Einrichtung von Schutzgebietsnetzen (Helcom, 2004), das Oslo-Paris-Übereinkommen (OSPAR) zum Schutz des Nordatlantiks (OSPAR, 1998, 2004a 2004b, 2005), die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie; EU, 1992) sowie die von den Anrainerstaaten der Nordsee, im Rahmen der internationalen Nordseeschutzkonferenz (INK), unterzeichnete Erklärung von Bergen von 2002 (INK, 2002).

Die Ausweisung von Schutzgebieten (BGBL, 1994a, 1994b, Krüger, 2002; Roff und Taylor, 2000) erfordert die Verfügbarkeit geeigneter Geodaten und den Aufbau von Klassifikationssystemen, nach denen der jeweilige Untersuchungsraum in Lebensraumtypen oder Habitatklassen aufgeteilt werden kann (Degraer et al., 2002; Gosselck et al. 2003; Rachor und Nehmer, 2003; Schernewski und Wielgat, 2004). Innerhalb einiger der genannten internationalen Abkommen werden diesbezügliche Vorgaben gemacht bzw. auf bereits bestehende oder sich in Entwicklung befindliche Klassifikationssysteme hingewiesen. So verweist die Erklärung von Bergen von 2002 auf das von der Europäischen Umweltagentur

(European Environmental Agency - EEA) entwickelte und das auf das von Connor et al. (1997a, 1997b, 2004) aufbauende Klassifikationssystem EUNIS - European Nature Information System - (Davies und Moss, 1999, 2000, 2002a, 2002b; Davies et al., 2004). EUNIS ist ein hierarchisch aufgebautes Klassifikationsverfahren zur biologischen Typisierung terrestrischer und mariner Lebensräume und soll es den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ermöglichen, flächendeckende Habitatkartierungen in eigener Zuständigkeit, jedoch nach einheitlichen Kriterien durchzuführen (umgesetzt für die AWZ z.B. von Busch, 2005).

Für die Anwendung hierarchisch aufgebauter Klassifikationsverfahren oder von multivariat-statistischen Verfahren zur Untergliederung des Meeresbodens in Provinzen sind umfangreiche meereswissenschaftliche Datensätze erforderlich. Mittels geostatistischer Verfahren lassen sich Geodaten vom diskreten, an die jeweilige Beprobungslokation gebundenen Messwert in kontinuierliche Messwertverteilungen umrechnen (Cressie, 1993; Gonzales-Gurriaran et al., 2003; Olea, 1999, Poon et al., 2000; Webster und Oliver, 2001). Dies ermöglicht es Datensätze die nicht zwingend an identischen Beprobungslokationen erhoben wurden miteinander in Beziehung zu setzen. Die Datenrecherche und Integration heterogener, aus unterschiedlichen Datenquellen resultierender bzw. mit verschiedensten Beprobungsverfahren und Analysemethode bestimmter Daten in eine Geodatenbank zählte zu den zentralen Zielsetzungen des Projekts. Die geostatistische Auswertung sowie die Bereitstellung dieser Geodaten mittels Internet Map Services (IMS) waren weitere Themenschwerpunkte des MarGIS Projekts.

Das Vorhaben wurde in Kooperation zwischen dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) Bremerhaven (Prof. Dr. Michael Schlüter, Dipl. Geogr. Kerstin Jerosch – Teilprojekt 1), dem Institut für Umweltwissenschaften (IUW), Hochschule Vechta (Prof. Dr. Winfried Schröder, Dr. Roland Pesch,– Teilprojekt 2) und der Fachhochschule Neubrandenburg (Prof. Dr. Lutz Vetter, Dipl.-Ing. Andreas Köberle – Teilprojekt 3) durchgeführt. Auf die Teilprojekte entfielen folgende Aufgabenbereiche:

Teilprojekt 1 (AWI Bremerhaven):

- Recherche und Beschaffung biotischer und abiotischer Sach- und Geodaten für den Bereich der Nord- und Ostsee,
- Bewertung der Datenqualität und Aufbereitung der recherchierten und erhobenen Geodaten im Geo-Informationssystems (GIS),
- Aufbau eines meereswissenschaftlichen GIS,
- Aufbau eines Datenmodells zur Erfassung von biotischen und abiotischen Mess- und Metadaten,
- Integration der Mess- und Metadaten in die daraus resultierende Sachdatenbank sowie
- Interpretation und Bilanzierung räumlicher Verteilungsmuster.

Teilprojekt 2 (IUW Hochschule Vechta):

- Aufarbeitung der abiotischen Mess- und Metadaten gemäß der zwischen dem AWI und dem IUW abgestimmten Sachdatenbankstruktur,
- Anwendung von geostatistischen Verfahren zur Berechnung von Flächenkarten für ausgewählte biotische und abiotische Messparameter für den Meeresboden der Nord- und Ostsee,
- Beschreibung der Schätzgüte der derart berechneten Flächenkarten mit geeigneten statistischen Maßzahlen,
- Anwendung ausgewählter multivariat-statistischer Verfahren zur flächenhaften, ökologisch ausgerichteten Typologisierung des Meeresbodens der Nord- und Ostsee,
- Bewertung der derart berechneten marinen Habitatklassen vor dem Hintergrund des nationalen und internationalen Forschungsstands sowie
- Diskussion aller vom Teilprojekt 2 erzielten Ergebnisse mit wissenschaftlichen und administrativen Institutionen und Arbeitsgruppen sowie potenziellen Nutzern und wirtschaftlichen Unternehmen.

Teilprojekt 3 (Fachhochschule Neubrandenburg):

- Bereitstellung internetfähiger GIS-Technologien zur Verbreitung der marinen Sach- und Geodaten sowie der vom IUW und dem AWI berechneten Ergebnisse über das Internet,
- Anwendung von im terrestrischen Bereich etablierten landschaftsplanerischen Konzepten auf meereswissenschaftliche Fragestellungen sowie
- Gewährleistung eines effizienten, sachbezogenen Informationsaustauschs mit kleinen und mittelständigen Unternehmen (KMU), Planungsbüros und Behörden.

Der hier vorliegende Endbericht beschreibt die Ergebnisse des Teilvorhabens 1 und widmet sich den spezifischen Zielsetzungen unseres Teilprojekts.

## 2 Spezifische Zielsetzungen des Teilprojekts TP 1

Sowohl für anwendungsorientierte wie auch meereswissenschaftliche Untersuchungen, die beispielsweise die Modellierung von Küsten- und Randmeeren im Hinblick auf mögliche Auswirkungen von IPCC-Klimaszenarien anstreben, sind umfangreiche meereswissenschaftliche Datensätze notwendig. Hierzu zählen unter anderem meereschemische Daten zur Verteilung von Nährstoffen, Sauerstoff oder Spurengasen in der Wassersäule, bathymetrische Vermessungen zur Charakterisierung der Morphologie des Meeresbodens, geologische und geochemische Untersuchungen der Sedimente zur Erstellung von thematischen Karten wie der Sedimentverteilung oder zur räumlichen und zeitlichen Verteilung von Schadstoffen sowie biologische Daten zum Vorkommen und zur Abundanz von Fischen oder benthischen, am Boden lebenden, Organismen (Degraer et al., 2002; Gosselain et al., 2005; Gosselck et al. 2003 Kröncke und Bergfeld, 2001).

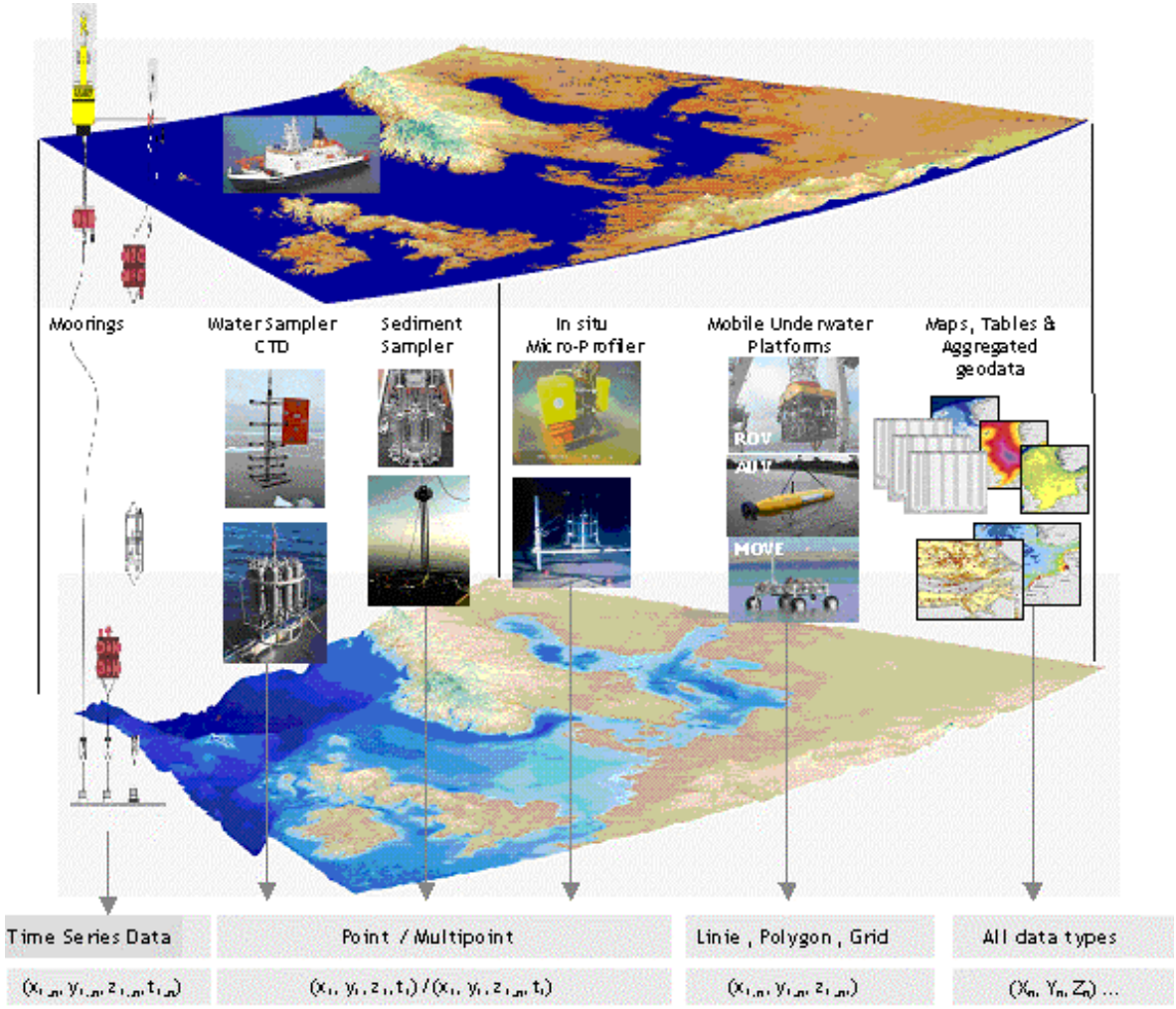



Abbildung 1 Während Schiffsexpeditionen und auf Vermessungsfahrten werden unterschiedliche meereswissenschaftliche Beprobungsgeräte für Untersuchungen der Wassersäule, von Oberflächensedimenten oder des tiefen Untergrunds eingesetzt. Hieraus resultieren eine Vielzahl an Messparametern und unterschiedliche Datentypen. Die Beschreibung der Metadaten, z. B. entsprechend ISO 19115 ist für die Dokumentation und die Bewertung der Daten ein wesentlicher Schritt. Abbildungen der Sinkstofffalle und des MOVE bzw. des ROV Victor600 sind freundlicherweise vom MARUM (Univ. Bremen) bzw. dem IFREMER (FR) zur Verfügung gestellt.

Solche meereswissenschaftliche Geodaten werden vorwiegend auf Expeditionen mit Forschungsschiffen und auf Vermessungsfahrten erhoben. Hierbei werden unterschiedliche Geräte zur Probenahme, verschiedene Messverfahren sowie unterschiedliche analytische Methodiken eingesetzt. Die Geodaten werden dabei an einzelnen Messpunkten (Datentyp Point), entlang von vertikalen Profilen (Multi Point), horizontalen Transekts (Multi Point) und flächenhaften Vermessungen (Polygon) und im Rahmen von Zeitreihen (Time Series) erhoben (Abb. 1). Neben einer Vielzahl an geochemischen, geologischen oder biologischen Messparametern sind bei der Kompilation der Geodaten die Methoden und weitere Metainformationen, z.B. zur Navigation und zur Positioniergenauigkeit, zu berücksichtigen. Um diesen Anforderungen, die auch die nachhaltige Nutzung des Datenbestands sichern, gerecht zu werden, wurde ein Datenbankmodell entwickelt (Kap. 3).

Die auf Expeditionen und Vermessungsfahrten erhobenen Geodaten werden, entsprechend den wissenschaftlichen oder anwendungsbezogenen Zielsetzungen, auf sehr unterschiedlichen Wegen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten, bezogen auf die Datenerhebung, publiziert. Dies kann in Form von „Reports“, die zum Teil öffentlich nicht zugänglich sind, wissenschaftlichen Publikationen oder Kartenwerken erfolgen. Die Rohdaten oder Karten werden dabei auf unterschiedlichen Medien und in unterschiedlichen Formaten („Papierform“, ASCII-, DBF-, EXCEL-Datei; verschiedene elektronische Kartenformaten, etc.) gespeichert. Zum Teil werden die Rohdaten aber auch in Marine Datenbank Systeme (MDBS) integriert. Hierbei sind speziell Datenbanksysteme wie PANGAEA, MUDAB oder die ICES-Datenbank zu erwähnen.

Trotz der zahlreichen und langjährigen meereswissenschaftlichen und administrativen Initiativen liegen bisher in digitaler Form oder als GIS-Karten nur vergleichsweise wenige und regional sehr begrenzte Geodaten vor. Unsere Datenrecherche hatte daher zum Ziel sehr unterschiedliche Datenquellen, Datentypen und Datenformate sowie Metadaten zu erfassen (s. Kap. 4).

Die akquirierten Geodaten wurden in die MarGIS Geodatenbank integriert und zur Validierung und Auswertung visualisiert. Dies erfolgte in Form von Karten sowie von Diagrammen wie Box und Whisker Plots oder Histogrammen. Die weitere Auswertung erfolgte mit dem Geo-Informationssystem ArcGIS. Hierfür wurde die MarGIS Geodatenbank über die Spatial Data Engine (SDE) an die GIS Software angebunden. Diese Anbindung wurde auch für den Aufbau des Metadaten Services und –siehe Abschlussbericht des TP 3, FH Neubrandenburg- für den Internet Map Service genutzt. Die thematischen Karten wurden sowohl in geographischen Koordinaten als auch in der flächentreuen Albers-Projektion erstellt (s. Kap. 4 und 5). Die in der Geodatenbank abgelegten meeres-wissenschaftlichen Daten und die in das GIS integrierten Karten wurden für die geostatistische und multivariat-statistische Auswertung bereitgestellt (s. TP 2, Hochschule Vechta).

# 3 Aufbau einer Geo-Datenbank

Für meereswissenschaftliche Untersuchungen werden eine Vielzahl an Beprobungsgeräten und Analysemethoden eingesetzt (Abb. 1). Das Schema einer Geodatenbank muss diese heterogenen Daten und Datentypen erfassen und auch die Metadaten, zum Beispiel entsprechend der ISO 19115, archivieren und bereitstellen können. Neben Rohdaten sind auch aggregierte Informationen wie thematische Karten zur Sedimentverteilung oder zur regionalen Verteilung von biogenen Riffen zu erfassen. Hierfür wurde im Rahmen des Projekts eine Geodatenbank, basierend auf dem MS SQL Server, aufgebaut. Über die Spatial Data Engine (SDE) ist die MarGIS Geodatenbank an ArcGIS (ESRI) angekoppelt.

Da in diesem Projekt Geodaten aus einer Vielzahl an Datenquellen zusammengestellt wurde, wurde ein Datenmodell erstellt das diese Heterogenität der Daten abbilden kann. Weiterhin wurde das Datenmodell auf die Integration von meereswissenschaftlichen Daten ausgerichtet, die mit modernen Unterwasserfahrzeugen wie z.B. AUVs (Autonomous Underwater Vehicle), ROVs (Remotely Operating Vehicle), verankerten Meßgeräten oder mit mobilen Unterwasserfahrzeugen wie dem MOVE-System (MARUM Bremen) erhoben werden (Abb. 1). Hierbei sind die speziellen Navigationsverfahren (z.B. Ultra Short Base Line), die Navigationsdaten, welche zum Teil großen Datenvolumina (z.B. durch Side Scan Sonar, Subbottom Profiler oder Videomosaiking) und die Probenahme, die bei diesen Geräteeinsätze erfolgt, in dem Datenmodell zu erfassen. Eine weitere Zielsetzung war es, jeden einzelnen Meßwert und dessen „Entstehung“ in dem System abfragen zu können.

Hierfür wurde ein relationales Datenmodell entwickelt in dem sowohl die Metadaten zu den Forschungsausfahrten oder den Messverfahren (inkl. den Eichkurven etc.) als auch Rohdaten integriert werden können. Neben Messungen, die an Beprobungspunkten erhoben werden, lassen sich auch Raster Daten und thematische Karten (SHAPE und COVERAGE Dateien) in die MarGIS Geodatenbank integrieren. Abbildung 2 und 3 zeigen einen Auszug des Datenmodells.

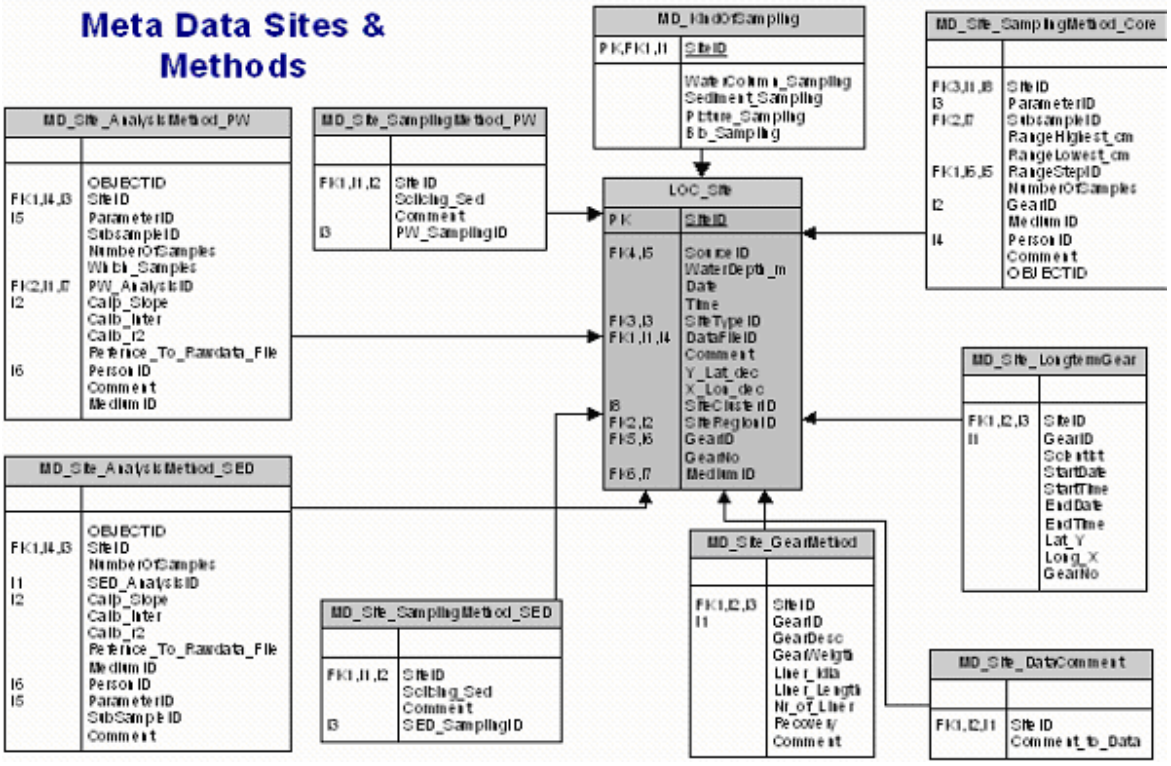



Abbildung 2 Auszug aus dem Datenmodell. Hier ist die relationale Tabellenstruktur dargestellt, in der die Geoinformationen zur Position der Probenahme, die verwendeten meerestechnischen Geräte, die physikalisch-chemischen Analyseverfahren sowie weitere Metainformationen gespeichert werden.

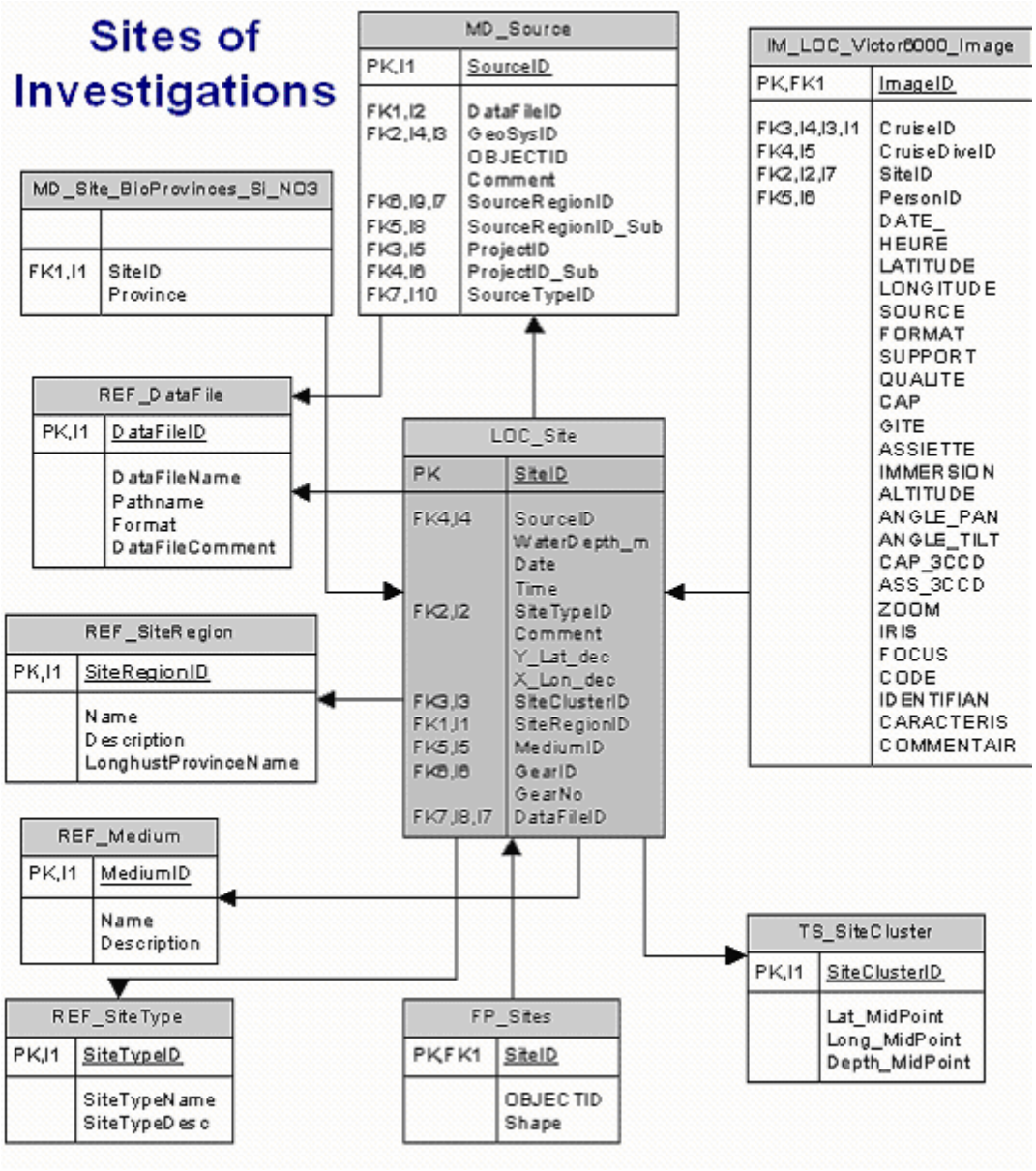



Abbildung 3 Auszug aus dem Datenmodell. Hier ist die relationale Tabellenstruktur dargestellt, in der Informationen zur Forschungsausfahrt, über Stationen an den Zeitreihenuntersuchungen durchgeführt wurden oder über Rasterdaten (z.B. Videomosaike des Meeresbodens) enthalten sind.

# 4 Datenrecherche und Integration meeres-geowissenschaftlicher Informationen in die Geo-Datenbank

Ein primäres Ziel des Teilprojekts war eine weit über publizierte und allgemein verfügbare Daten hinausgehende Datenrecherche von meereswissenschaftlichen Felddaten und von thematischen Karten. Dies betraf die Sichtung eines umfangreichen Satzes an biogenen und abiogenen Parametern, um eine ökosystemare Gliederung des Meeresbodens vornehmen zu können.

Der Schwerpunkt der Recherche wurde darauf gelegt, Geodaten zur Bathymetrie, Sedimentologie, Verteilung von Nährstoffen im Bodenwasser, ozeanographische Kenngrößen und zum Vorkommen und zur Abundanz der benthische Makrofauna und von demersalen Fischen zu kompilieren und in eine Geodatenbank zu integrieren. Der Wassertiefe und der Beschaffenheit des Meeresbodens (Korngrößenzusammensetzung) kamen als maßgebliche Faktoren für die Verteilung benthischer Organismen dabei eine besondere Bedeutung zu.

Die hier zusammengestellten Geo-Informationen resultieren aus einer intensiven Recherche in Publikationen, verfügbaren Projektberichten, in Marinen Datenbank Systemen (MDBS) archivierten Geodaten und aus der engen Kooperation mit Wissenschaftlern verschiedener Fachdisziplinen. Hierfür wurden Kontakte zu Fachkollegen und Meeresforschungsinstituten (z.B. Univ. Bangor, UK) oder nationalen und internationalen Behörden oder Organisationen (z.B. GEUS; ICES etc.) aufgebaut (Abb. 4). Unter anderem wurden umfangreiche Datensätze vom Institut für Meereskunde der Universität Hamburg, von der Meeresumweltdatenbank (MUDAB), ICES Datenbank (International Council for the Exploration of the Sea) oder vom GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland) zur Verfügung gestellt.

Abbildung 4 Übersicht der Institute, nationalen und internationalen Behörden sowie von Organisationen die Geodaten für das MarGIS Projekt zur Verfügung gestellt haben. Bereits hier möchten wir uns für die Unterstützung bedanken.

Tabelle 1 Biotische und abiotische Messdaten und deren Datengeber integriert in der MarGIS Sachdatenbank.

| Charge | Period | Region | Object of Study | Description | Data | Sampl. | Posi. | Stat. | Exp. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AWI | 2000 | EEZ | benthos | BT | 184 | 184 | 184 | 184 | 1 |
| AWI | 2000 | EEZ | benthos | BT, Van Veen | 65341 | 180 | 180 | 180 | 1 |
| EC | 2000 | eNS | benthos | BT | 7694 | 270 | 269 | 269 | 5 |
| CEFAS | 2000 | pNS | abiotics | Sed., WCh | 59 | | | | |
| SBS/UWB | 2000 | eNS | benthos | BT | 7653 | 270 | 270 | 270 | 5 |
| GFS | 1999 | eNS | benthos | BT | 7699 | 241 | 241 | | 5 |
| ICES | 1976-2002 | eNS/BS | abiotics | WCh | 40820 | 40820 | 40764 | 40764 | 174 |
| ICES | 1999-2002 | eNS | fish | GOV, IBTS | 57730 | | | | |
| ICES | 1985/1986 | eNS | fishes | GOV, IBTS | 109217 | 1047 | 1047 | 1047 | 19 |
| ICES | 1985/86 | eNS | benthos | GOV, NSBS | 21386 | 506 | 306 | 235 | 10 |
| ICES | 1999-2002 | eNS | fishes | GOV, IBTS | 388052 | 3007 | 3007 | 3007 | 53 |
| IFM-HH | 1984-2000 | eNS | abiotics | WCh | 3811 | 3811 | 3810 | 3810 | 36 |
| BFA/IFOE | 1981-1997 | eNS | fish diseases | GOV | 158855 | 2175 | 2175 | 56 | 53 |
| BFA/IFOE | 1984-2002 | sNS | pelag. fishlarva | dab, diseases | 1357 | 1141 | 1141 | 514 | 1 |
| BFA/IFOE | 1984-1999 | sNS | pelag. fishlarva | develop. stage | 5952 | 1029 | 1029 | 595 | 1 |
| BFA/ISH | 2003 | GB | fish | pelagic, GOV | 4854 | 47 | 94 | 47 | 1 |
| BFA/ISH | 1986 | eNS | fish | pelagic, GOV | 14097 | 128 | 256 | 128 | 1 |
| BSH/UBA | 1982-2000 | eNS/BS | abiotics | WCh | 48691 | 48477 | 27884 | 27884 | 821 |
| | | | | ∑ | 943452 | 103333 | 82657 | 78990 | 1187 |

BS: Baltic Sea, BT: Beam trawl, EEZ: German Exclusive Economical Zone, eNS: entire North Sea, GB: German Bight, GOV: Grande Ouverture Verticale (Bottom trawl), NSBS: North Sea Benthos Survey, IBTS: International Bottom Trawl Survey, WCh: Water Chemistry

Einen Überblick über die verwendeten Daten und deren Quellen ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Meßparameter umfassen beispielsweise: Nährstoffe in der Wassersäule (z.B. Ammonium, Phosphat, Nitrat, Nitrit oder Kieselsäure) bathymetrische Daten (single beam und multi-beam Daten), Benthos-Biologie (epi- und endobenthische Spezies-Vergesellschaftungen), Korngrößenverteilungen, Gehalt an organischem Kohlenstoff, Fischereidaten (wie Population, Alter, Größe von Fischarten) oder ozeanographische Datensätze zur Temperatur und Salzgehalt.

Neben den in Tabelle 1 aufgeführten Daten wurden analoge Karten recherchiert und digitalisiert, darunter Seekarten des BSH mit Punktdaten zur Bathymetrie (siehe Abschnitt 5.1) sowie Sedimentkarten (siehe Abschnitt 4.1). Desweiteren, nicht aufgeführt in der Tabelle, sind die zahlreichen hydroakustischen Datensätze (single beam Echolotdaten), die von den Wasser- und Schifffahrtsämtern der norddeutschen Bundesländer zur Verfügung gestellt werden.

Diese umfangreichen Datensätze mussten in einem recht zeitaufwendigen Arbeitschritt harmonisiert werden. Dies beinhaltete beispielsweise die Umrechnung von Konzentrationseinheiten in ein einheitliches System (z.B. Umrechnung von mg/l in µM). Auch Rohdaten zur Korngrößenverteilung oder unterschiedliche sedimentologische Klassifikationsschemata

wurden harmonisiert. Bathymetrische Daten, die sich auf verschiedene Pegel beziehen (z. B. Seekarten-Null oder „Normal Null“) wurden auf ein einheitliches Referenzsystem umgerechnet.

## 4.1 Aggregation von digitalen Karten - Die Sedimente der Nordsee

Für die Nord- und Ostsee lagen sedimentologische Karten für wissenschaftliche oder anwendungsorientierte Fragestellungen in digitaler Form nicht bzw. nur für Teilregionen vor. Daher war es ein Ziel des Teilprojekts eine digitale Karte zur Sedimentologie der AWZ und der Nordsee zu erstellen.

Die Morphologie des Meeresbodens der Nordsee ist durch strukturgeologische Prozesse gegliedert und durch die prä- und postglaziale Sedimentverteilung gekennzeichnet. Während der letzten Eiszeiten wurden große Sedimentvolumina von den angrenzenden Festländern glazial erodiert und parallel zu den alten Küsten und Eisrändern abgelagert (Streif, 2003). Man kann noch Endmoränen, glaziale Rinnen, sowie Sander erkennen. Diese pleistozäne Gestalt bestimmt auch die Form vieler Sandbankgruppen und bildet die stabilen Kerne einiger Nordseeinseln (Pratje, 1951).

Der Meeresboden der Nordsee ist heute fast ausschließlich mit Lockermaterial bedeckt. Festgesteine stehen nur vor der Ostküste Englands, der Küste Norwegens sowie auf Helgoland an. Sande, hauptsächlich Feinsande, aber auch gröberes Material, sammeln sich vor allem in weniger tiefen Bereichen und auf den Bänken. Sie werden durch die Gezeitenströme und im flacheren Meer auch durch Wellenbewegung transportiert und bilden ebene Sandflächen, Großrippelfelder oder lang gestreckte Sandwälle (Sündermann, 1995). Feineres Material, das in Suspension transportiert wird, kommt außer im küstennahen Watt hauptsächlich in tieferen Rinnen zur Ablagerung. Dies sind im Wesentlichen die gegen Nordwesten gerichteten Helgoland-Rinne, die Norwegischen Rinne und der Bereich des Skagerrak (Figge, 1981). Insgesamt ist der größere Teil der gegenwärtigen Sedimente der Nordsee aus der Umlagerung pleistozäner Lockerablagerungen hervorgegangen. Die Neubildung organischer Substanz und Zufuhr durch die Straße von Dover oder vom Festland her spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Obgleich zum Teil sehr ausführliche und teilweise hochauflösende sedimentologische Karten vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), dem Geologischen Dienst von Dänemark und Grönland (GEUS) sowie anderen Institute und Behörden erstellt wurden (Tabelle 2), waren digitale Karten zur Sedimentologie der Nordsee bisher nicht verfügbar. Daher wurden sedimentologische Daten –sowohl Rohdaten zur Korngrößen-

verteilung als auch Sedimentverteilungskarten- im Rahmen des Teilprojekts in eine digitale Form überführt und in die Geodatenbank integriert.

Tabelle 2 Sedimentologische Information über die Nordsee: Im Rahmen von MarGIS aggregierte digitale und analoge Sedimentkarten, sowie Messdaten.

| Sedimentdaten | Quelle |
|---|---|
| Karte der Sedimentverteilung in der deutschen Bucht | Figge, 1981. Erläuterungen zur Karte der Sedimentverteilung in der deutschen Bucht 1:250000. |
| Quartärkarte Nord- und Ostsee | Bundesamt für Bodenforschung/UNESCO,1:2500000. 1970. |
| Bodenkarte Südliche Nordsee | Jarke, 1955. Dt. hydrgr. Z. 9, 1956. |
| Digitale Sedimentkarte Dänemark | Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), 1992. |
| Niederländischer Kontinentalschelf | Rijks Geologischer Dienst (RGD), 1986. |
| Doggerbank | British Geological Survey / Rijks Geologischer Dienst (BGS/RGD), Sea bed sediments, 1977-1993. |
| Austernbank | British Geological Survey / Rijks Geologischer Dienst (BGS/RGD), Sea bed sediments, 1977-1993. |
| Messdaten | Meeresumweltdatenbank (MUDAB), nordseeweit, 1982-2002<br>AWI, deutsche AWZ, 2001. |

Aus geowissenschaftlicher Sicht werden Sedimente in vier Größenfraktionen (Kies, Sand, Schlick und Ton) unterteilt. Hierfür werden verschiedene Klassifikationsschemata abgeleite (Abbildung 5); zwei der gebräuchlichsten sind die Wentworth-Skala (Wentworth, 1922) und die Folk-Skala (Folk, 1954, 1974). Auf internationaler Ebene werden verschiedene Skalen verwendet, so daß deutsche, holländische oder englische Sedimentkarten nicht ohne aufwendige Vorarbeiten zusammengeführt werden können.

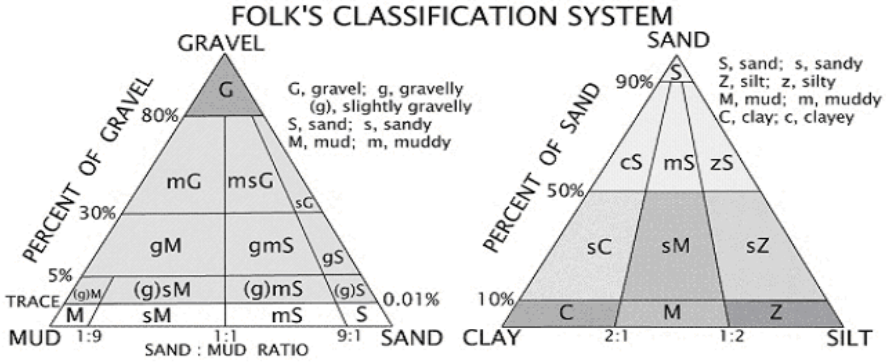



Abbildung 5 Das Folk Sediment-Klassifikationsschema (1954).

Diese unterschiedlichen Ansätze der verwendeten Klassifikationen sowie die unterschiedliche Qualität der Roh-Daten (z.B. räumliche Verteilung, Genauigkeit der Position oder Anzahl der Probenahmen) erschweren die Zusammenführung der Daten bzw. kleinräumigen Karten mit unterschiedlichen Informationsniveaus, um Blattrand übergreifende bathymetrische, sedimentologische oder andere thematische Karten erstellen zu können. Weiterhin sind im europäischen Raum unterschiedliche Kartenprojektionen üblich, die zu vereinheitlichen waren.

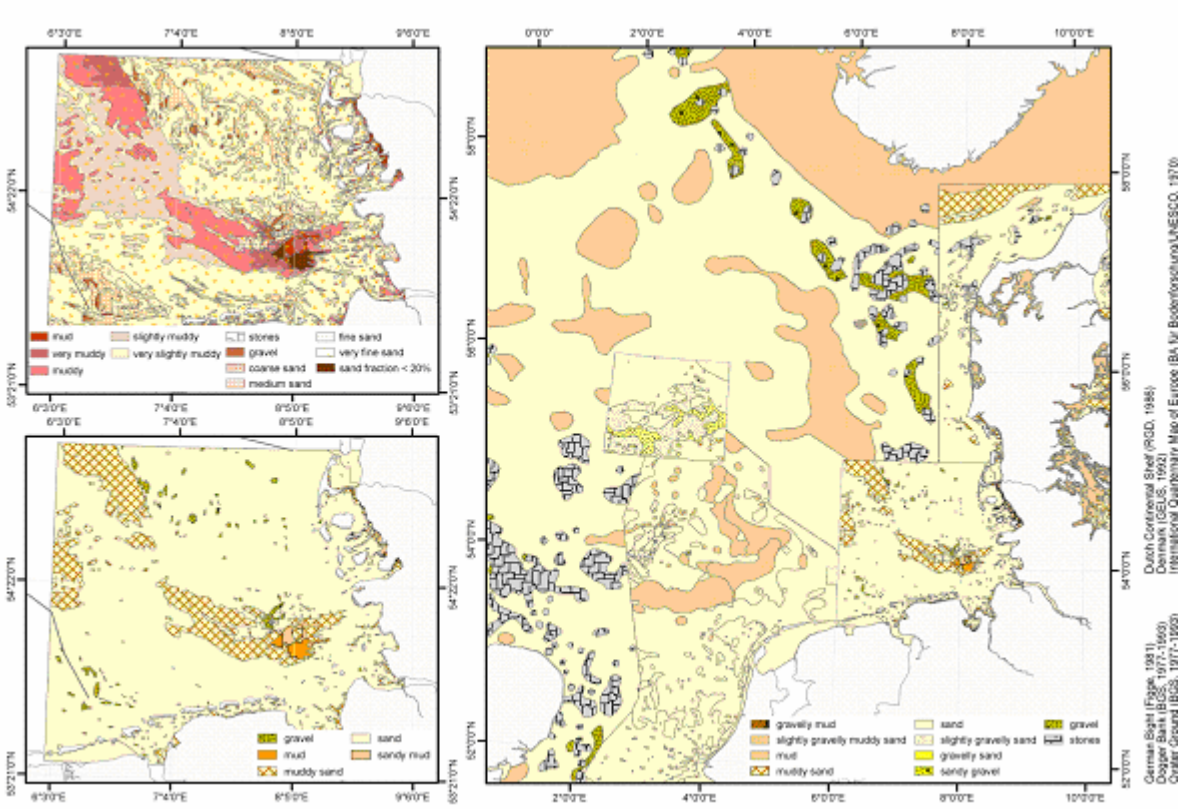



Abbildung 6 Sedimentkarte der Nordsee. Links oben: Sedimentverteilungskarte der Deutschen Bucht (Figge, 1981), Sedimentklassen unverändert nach der Udden-Wentworth Skala (1922); links unten: Sedimentkarten der Deutschen Bucht nach GIS basierter Modifikation der Originalkarte in die Folk Klassifikation. Rechts: Aggregierte Sedimentkarte der Nordsee vereinheitlicht nach Folk (1954).

Für die Bereitstellung einer Sedimentkarte für die AWZ oder weite Bereiche der Nordsee wurden von uns zahlreiche Sedimentkarten gescannt, georeferenziert, mit der gleichen Kartenprojektion versehen und digitalisiert. Die einzelnen Karten werden in Abbildung 6 in einer allgemeinen anwendbaren Skala (keine Untergruppen in den Korngrößen) dargestellt. Um diese einheitliche Visualisierung aller Karten zu ermöglichen, wurde die Karteninformation auf das Folk-Schema herunterskaliert, so dass der Informationsgehalt einiger Karten zwar (visuell) reduziert wurde, jedoch ein einheitliches Bild erreicht werden konnten. Während des Prozesses der Harmonisierung wurden Klassenverallgemeinerungen durchgeführt ohne das Primärinformation verloren gingen. Dementsprechend kann die „Detailtiefe“ der Geodaten entsprechend der angestrebten Fragestellung ausgestaltet werden.

# 5 Visualisierung meeres-geowissenschaftlicher Informationen

## 5.1 Kompilation und Aufbereitung bathymetriescher Daten

Der Kontinentalschelf der Nordsee ist ökonomisch untergliedert in nationale Zonen der Anrainerstaaten, in denen die Länder souveräne Rechte und Hoheitsbefugnisse beschränkt auf bestimmte Sachgebiete und in deren Umfang durch das dritte Seerechtsübereinkommen (SRÜ/UNCLOS III) der Vereinten Nationen von 1982 (Wiskow, 2002) besitzen. Souveräne Rechte beziehen sich auf die „*Erforschung, Ausbeutung, Erhaltung und Bewirtschaftung der lebenden und nicht lebenden natürlichen Ressourcen der Gewässer über dem Meeresboden, des Meeresbodens und seines Untergrundes sowie hinsichtlich anderer Tätigkeiten zur wirtschaftlichen Erforschung und Ausbeutung der AWZ wie der Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind"*. Hoheitsbefugnisse gelten in Bezug auf die „Errichtung und Nutzung von Anlagen und Bauwerken; auf wissenschaftliche Meeresforschung und in Bezug auf den Schutz und der Bewahrung der Meeresumwelt" (Art. 56 Abs. 1, SRÜ).

Diese Sachlage begründet die hohe Datendichte auf Daten-Anfragen bei deutschen Behörden, Ämtern und Instituten in der AWZ, die sich deutlich von der in der gesamten Nordsee - besonders bei Vermessungsdaten - unterscheidet. Als Folge wurden zwei bathymetrische Karten mit unterschiedlicher horizontaler Auflösung erstellt: eine Karte mit gröbere Auflösung für den gesamten Nordseebereich und eine höher auflösenden Karte für den Bereich der deutschen AWZ.

### 5.1.1 Bathymetrie der gesamten Nordsee

Die Karte der gesamten Nordsee (Abb. 7) mit einer Rastergröße von 2.5 x 2.5 km wurde mit Hilfe von mehr als 45000 Messwerten aus dem Zeitraum 1982-2002 erstellt, von denen 21000 Datenpunkte in den Jahren 1998-2002 erhoben worden sind. Die verwendeten Daten stammen aus der ICES Datenbank, der MUDAB, dem British Oceanographic Data Centre (BODC) und dem AWI.

Die Rastergröße wurde nach einer Untersuchung der Datendichte festgelegt: ein 10 km Raster brachte eine gute Punktdichte in den einzelnen Rasterzellen. Im 2.5 km Raster sind zwar viele Rasterzellen nicht durch Messungen belegt, aber es wird ein etwas feineres Grid erreicht, das um Ausreißer reduziert wurde (bei ausreichend großem Suchradius). Zur Begrenzung des Geländemodells bei der Interpolation wurde ein generalisiertes Grenzpolygon in Bereichen stark gegliederter Abschnitte (z. B. Norwegen und Dänemark) aus der ESRI-Küstenlinie erstellt. Die Datenlage erlaubte keine genaue Interpolation in den Fjorden (bis auf einige Messungen aus der ICES Datenbank). Zum schließen des Polygons wurden Linien im Bereich der Straße von Dover und zwischen Dänemark und Norwegen hinzugefügt. Beim Editieren der Punktdatensätze wurden die Attribute der unterschiedlichen Datensätze einander angeglichen und unplausible Wassertiefen nach einem Vergleich der Datensätze untereinander gelöscht. Zur Kontrolle wurden die Messpunkte tiefenabhängige farbcodiert und zusammen mit einem einfachen 5 km Raster visualisiert.

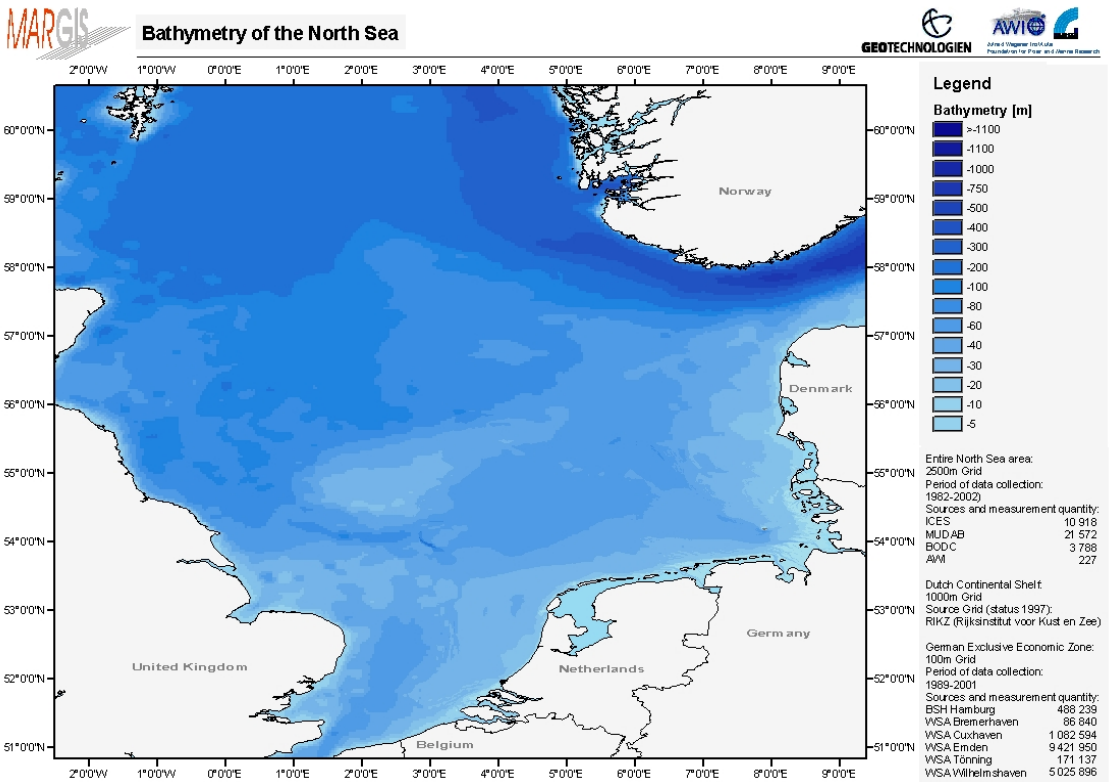



Abbildung 7 Bathymetrische Karte der Nordsee mit einer Rastergröße von 2.5 km x 2.5 km.

Die Flächenkarte wurde mittels der Kombination zweier Rastermethoden (Triangulated Irregular Network (TIN) und Topogrid) erstellt.

Bei der Triangulation ergibt sich durch das Zeichnen von Geraden zwischen zwei benachbarten Punkten ein Netz von Dreiecken. Weitere Punkte entstehen durch die Schnittpunkte der Mittelsenkrechten eines jeden Dreiecks. Da die Originaldaten zur Definition der Dreiecke genutzt werden, halten sich die Gitterpunkte sehr nah an den Werten der Daten und können nicht über das Maximum, bzw. Minimum der Daten hinaus interpoliert werden. Topogrid ist eine speziell für hydrologisch Daten und digitale Geländemodelle (DGM) entwickelte Interpolationsmethode (Hutchinson, 1988; 1989), welches Flussläufe oder Rinnen berücksichtigt. Der 'Drainage enforcement'-Algorithmus beseitigt Hohlformen, erhält also die globale Flächenkontinuität. Der Außenbereich der Nordseekarte wurde mit TIN interpoliert, um an der Küstenlinie einen 0-Wert zu erhalten, während der innere Bereich mit guten Ergebnissen mit Topogrid in die Fläche gebracht wurde. Da bei Topogrid nur vier Punkte zur Berechnung einer Gridzelle herangezogen werden, war das Löschen überlappter Punkte daher sehr wichtig. Eine Rasterweite von 1000 m erwies sich als zu klein (Einzelpunkte prägten sich zu stark durch); das finale 2500 m Raster erschien ein guter Kompromiss. Das Endprodukt hielt einer stichprobenartigen Überprüfung der Isolinien sowohl des TINs als auch des Topogrids mit Hilfe einer analogen Seekarte stand.

### 5.1.2 Deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) und der deutsche Küstenbereich

Die Karte der deutschen AWZ mit einer Rastergröße von 100 x 100 m wurde aus mehr als 16000000 Messwerten (1989-2002), die aus 16 Datensätzen und von sechs unterschiedlichen Datengebern (WSA Bremerhaven, WSA Tönning, WSA Emden, WSA Cuxhaven, WSA Wilhelmshaven und dem BSH in Hamburg) stammen, generiert (Abb. 8). Lücken in den digitalen Datensätzen wurden durch die Digitalisierung sechs topographischer Karten des Seegrundes (Herausgeber BSH) geschlossen.

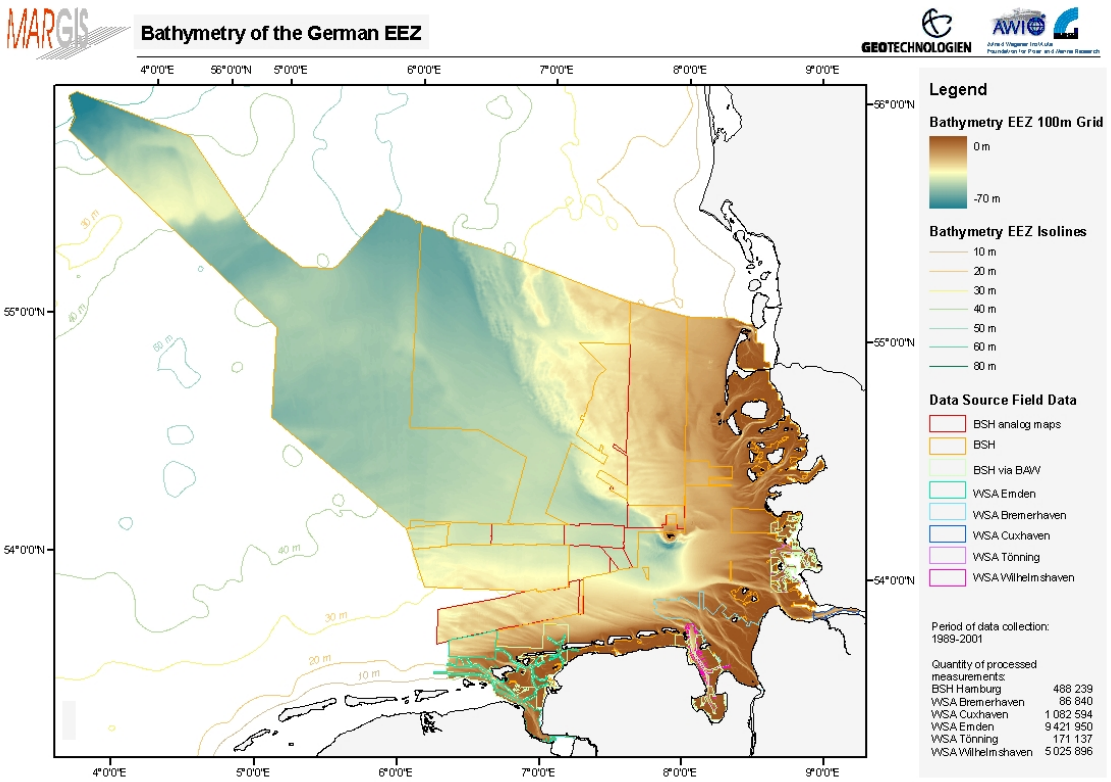



Abbildung 8 Bathymetrie der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) mit einer Rastergröße von 100 m x 100 m. Die Lage der genutzten Datensätze und deren Datengeber werden anhand von Polygonen markiert.

Alle Daten wurden evaluiert und homogenisiert: Sie wurden ihrer Qualität nach geprüft; nicht plausible Werte wurden gelöscht, wenn z.B. Sprünge im Bereich um 5m auftraten. Hier waren Peilungen während Baggerungen enthalten, so dass die Daten stark editiert werden mussten und Abschnittsweise nicht verwendbar waren. Wahrscheinlich handelte es sich um Daten unterschiedlicher Epochen (vor und nach der Baggerung); der Zeitbezug konnte nicht nachvollzogen werden.

Die Daten wurden mit einheitlichen Vorzeichen versehen, in eine gemeinsame Projektion gebracht und an Überlappungsbereichen wurde eine Datenauswahl nach Aktualität und Punktdichte getroffen. Des Weiteren wurden Daten, mit Seekarten-Null (SKN) als Bezugspegel mit Hilfe eines Programms des BSH einheitlich zum Bezugspegel „Normal Null“ (NN) umgerechnet. Aufgrund der enormen Datenmenge und der vom Programm *n1beko* speziell geforderten Datenformate war dies eine recht zeitaufwendige Prozedur.

Durch eine Zusammenfassung der Datensätze mit vergleichbarer Datendichte wurde die Anzahl der 22 Datensätze auf 7 Sub-Regionen reduziert, sowie ein weiteres Grenzpolygon mit passender Küstenlinie und AWZ-Begrenzung erstellt. Vor dem Interpolationsverfahren wurden einige single beam Datensätze auf ein 10 m Raster anhand der Medianwerte ausgedünnt, fehlerhafte Messpunkte mit Hilfe von Seekarten identifiziert und so eine in sich

stimmige Datengrundlage geschaffen. Zur Bestimmung des geeigneten Rasterverfahrens wurden einige Voruntersuchungen durchgeführt:

Topogrid lieferte nach der Zusammenfügung aller Datensätze keine guten Ergebnisse in flachen Gebieten; die Festlegung einer vertikalen Toleranz war aufgrund der inhomogenen Datenlage nicht zufriedenstellend möglich. Nach der Interpolation repräsentieren dann generierte Isolinien die Punktdaten nicht mehr richtig (Linienversatz). Auch Natural Neighbours, Inversed Distance Weight (IDW) und Spline eigneten sich nicht als Interpolationsmethoden wegen zu hoher Punktdichte oder der Generierung zu kantigen Ergebnissen. Das Kriging-Verfahren wurde aufgrund von starker Diversität der Varianzen in den Datensätzen ausgeschlossen.

Insgesamt stellte sich das Kombinieren aller Datensätze nicht als sinnvoll heraus, da der Gesamtdatensatz zu groß war. Gebietsweise wurde daher der Gesamtdatensatz in 11 unterschiedliche Regionen unterteilt, mit denen im Folgenden weitergearbeitet wurde. Diese neue Unterteilung diente nach Testinterpolationen zur Identifizierung von Inkonsistenzen in den Lotungen und zum Abgleich von unplausiblen Tiefensprüngen in den Datenpunkten. Alle resultierenden Grids enthielten eine 5 km breite Buffer-Zone und einen Überlappungsbereich zur späteren Zusammenführung der Datensätze.

Eine Berechung des finalen Grids mit Topogrid nach der Integration aller Datensätzen und begrenzt durch ein Gesamt-Begrenzungspolygon erbrachte nun ein zufrieden stellendes Ergebnis mit fließenden Übergängen zwischen den Datensätzen, auch wenn aufgrund der von Topogrid nur 4 verwendeten Punkte zur Berechnung einer Rasterzelle Tiefensprünge in den Ergebnisse in Gebieten mit hoher Punktdichte erwartet worden sind.

Es wurde die einheitliche Rastergröße von 100 x 100 m gewählt. In einigen Datensätzen bestand aufgrund der hohen Datendichte die Möglichkeit, ein Raster von nur 10m Weite zu rechnen, da die Küstengebiete jedoch sehr variabel waren und einige Datensätze auf eine inhomogenen Datenqualität schließen ließen, wurde diese Möglich nicht umgesetzt. Am Ende wurde das DGM leicht geglättet und Isolinien generiert.

**Zusammengefasst**:

*Probleme entstanden aufgrund:*

- Datenumfang, unterschiedliche Datensätze unterschiedlicher Punktdichte
- inkonsistente Datenerfassung durch unterschiedliche Datengeber
- Projektionen (Gauß Krüger, UTM 31 und 32) und unterschiedliche Bezugspegel
- Datenfehler: Navigationsfehler und Tiefen-Offsets (Tiefensprünge zwischen den einzelnen Datensätzen)

*Resultierende Datenprozessierung:*

- Vereinheitlichung der Daten bezüglich Projektion und Bezugspegel
- Ausdünnung von Daten
- Modifizierung der Eingangsdaten für ein besser an die Datensatzübergänge angepasstes Raster
- z. T. raue Isolinienstruktur; weitere Glättung hätte zu einer Reduzierung im Detail der Rinnenstrukturen geführt

Die unterschiedliche Datenqualität in den Eingangsdaten ließen zunächst eine separate DGM Modellierung günstig erscheinen. Jedoch war dann keine Konsistenz in einem kombinierten Raster herzustellen. Weiterhin sind die Datensätze auch in sich nicht homogen und Mess- und Navigationsfehler würden die höhere Auflösung wieder verschlechtern. Die Isolinien müssten in einem aufwendigen Prozess über ein *EdgeMatching* zusammengefügt werden. Da die Gebiete auch unregelmäßige Begrenzungen haben, ist bei einer Kartendarstellung die Randanpassung unterschiedlicher Datensätze erforderlich und erzeugt ein weniger plausibles Bild als mit dem zusammengefassten vorliegenden Datensatz (unterschiedlicher Rasterweite, keine Anpassung während des Interpolierens).

Aufgrund der unterschiedlichen Datenqualität (Navigationsfehler, Tiefen-Offsets, Datendichte) ist eine Kombination beider Datensätze nicht vorgenommen worden.

## 5.2 Bewertung der Verfügbarkeit von Messdaten ausgewählter Parametern

Im Rahmen des MarGIS Projektes wurde unter Mithilfe zahlreicher Kollegen aus unterschiedlichen Fachrichtungen und Instituten umfangreiche Datensätze über den Meeresboden der Nordsee zusammengestellt.

Trotz der auf den ersten Blick guten Datenlage, trifft dies nicht uneingeschränkt auf jeden der relevanten Parameter zu. So werden z.B. Temperatur und Salinität von allen Interessensgruppen routinemäßig auf Ausfahrten gemessen. Aufwendigere Messungen oder Datenerhebungen, wie Sauerstoff oder Sedimentzusammensetzung, werden nur gezielt angewandt und sind daher nicht in derselben Datendichte – weder zeitlich noch räumlich – verfügbar. In Abbildung 9 wird eine besonders schlechte Datenlage von Sauerstoff deutlich, für den in einem Zeitraum von 10 Jahren innerhalb der AWZ nur 60 Messwerte in der MUDAB abfragbar waren.

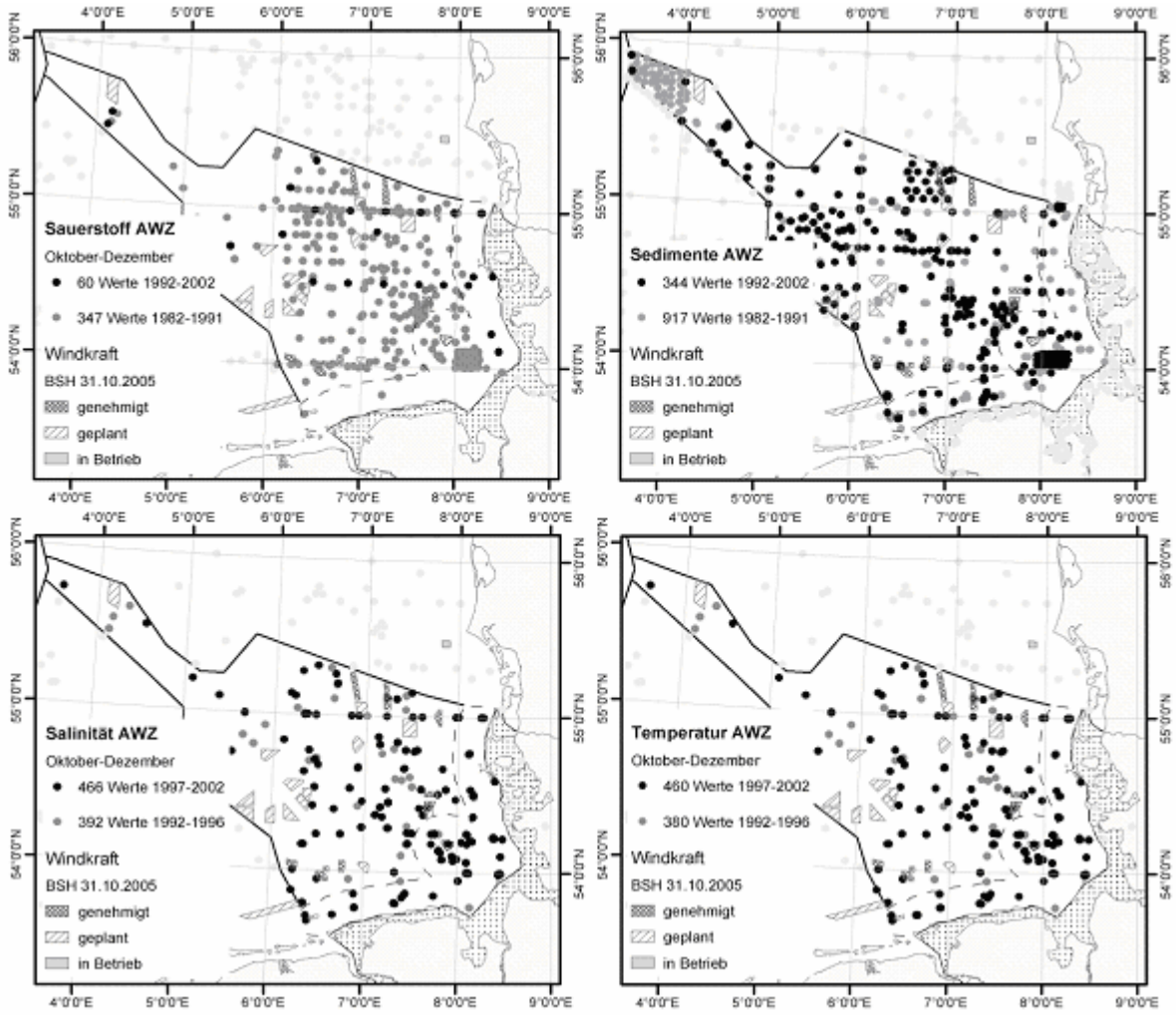



Abbildung 9 Zeitliche und räumliche Verteilung von abiotischen Messdaten innerhalb der deutschen AWZ. Links und rechts oben: Sauerstoffmessungen im vierten Quartal und Sedimentzusammensetzung gegliedert in 10-Jahres-Zeiträumen; links und rechts unten: Salinität und Temperaturmessungen im vierten Quartal in 5- und 15-Jahres-Zeiträumen.

Diese Anzahl von Messwerten ist so gering, dass es vermuten, dass die (nationale) Datenbank nicht kontinuierlich, bzw. zeitnah, von den sich beteiligenden Instituten gefüllt wird und sich somit die Datenzusammenfügung beträchtlich erschwert. Bei einer Gesamtfläche von 40800 km² (Krüger, 2002) der deutschen AWZ (7% der gesamten Nordsee) lassen sich aus 60 Messwerten nur unglaubwürdig Flächenkarten generieren.

Für die Nährstoff-Parameter wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat ist für die deutsche AWZ ähnlich wie bei der Temperatur und der Salinität eine gute Datenlage für einen 5-Jahres-Zeitraum vorhanden (Abbildung 10), die die Anwendung von Interpolationsverfahren nicht von vornherein ausschließen.

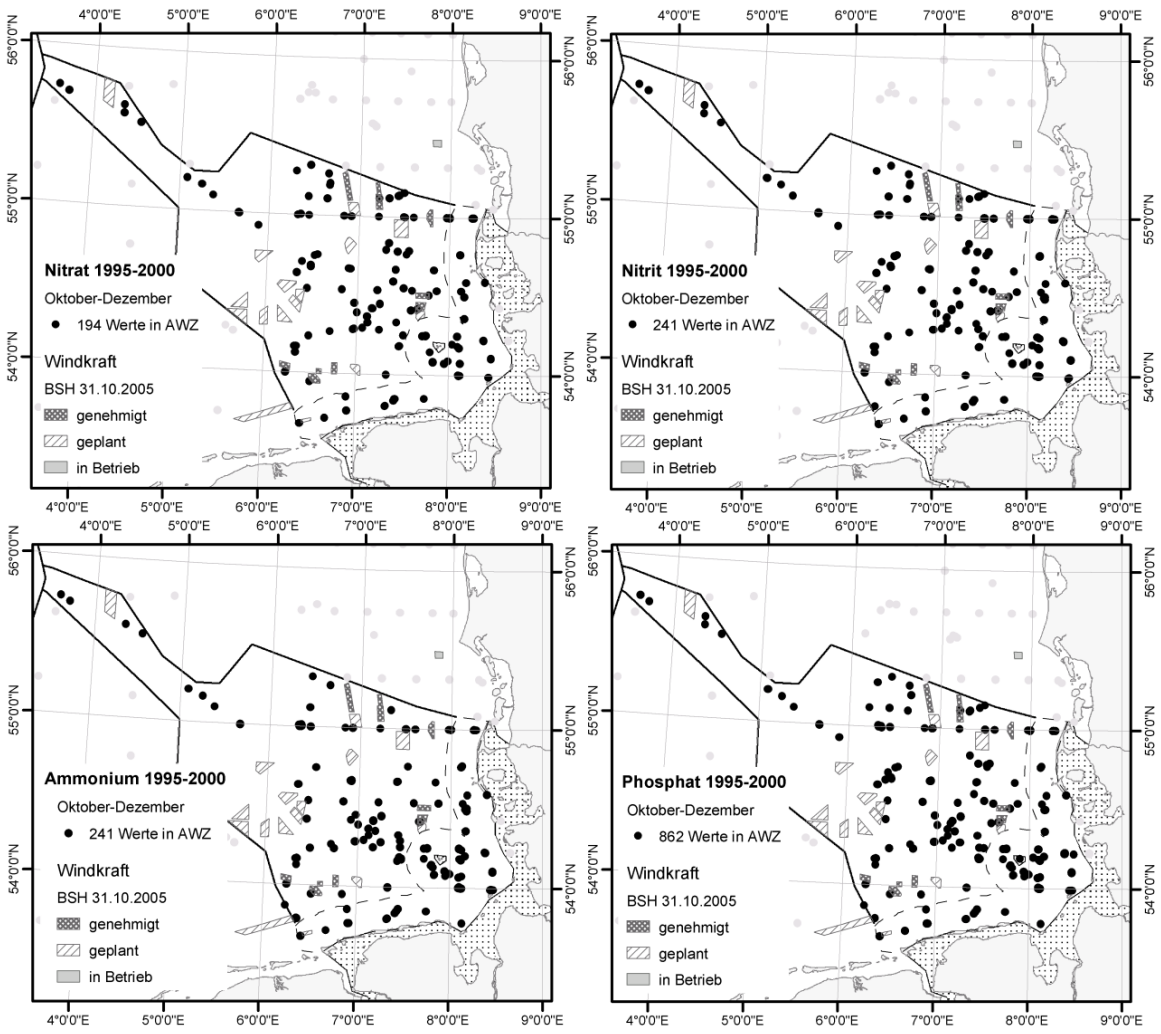



Abbildung 10 Zeitliche und räumliche Verteilung von abiotischen Messdaten innerhalb der deutschen AWZ. Nitrat-, Nitrit-, Ammonium- und Phosphat-Messpunkte des vierten Quartals im 5-Jahres-Zeitraum.

Betrachtet man die Messpunkte aller hier beispielhaft aufgeführten Parameter bezogen auf die vom BSH geplanten und genehmigten Flächen für Off-Shore-Windkraftanlagen (der einzige bereits in Betrieb genommene liegt außerhalb der deutschen AWZ in dänischen Gewässern), wird klar, dass aus den für die Forschung zugänglichen Daten nur bedingt Angaben über den ökologischen Wert dieser verhältnismäßig kleinen Flächen gezogen werden können, wohl aber Aussagen, besonders mit Hilfe von geostatistischen und multivariat statistischen Methoden, über generelle bzw. prediktive Verhältnisse der Gesamtfläche der AWZ gemacht werden können.

Anhand von Epi-Benthos-Daten, die zur Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee. im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz erhoben wurden und von Rachor und Nehmer (2003) zu benthischen Vergesellschaftungen zusammengefasst wurden (Abbildung 11), konnte die Datengrundlage für die Projektziele von MarGIS komplettiert werden. Die AWZ bildete somit den Testraum für das methodische Vorgehen (siehe TP 2, Hochschule Vechta).

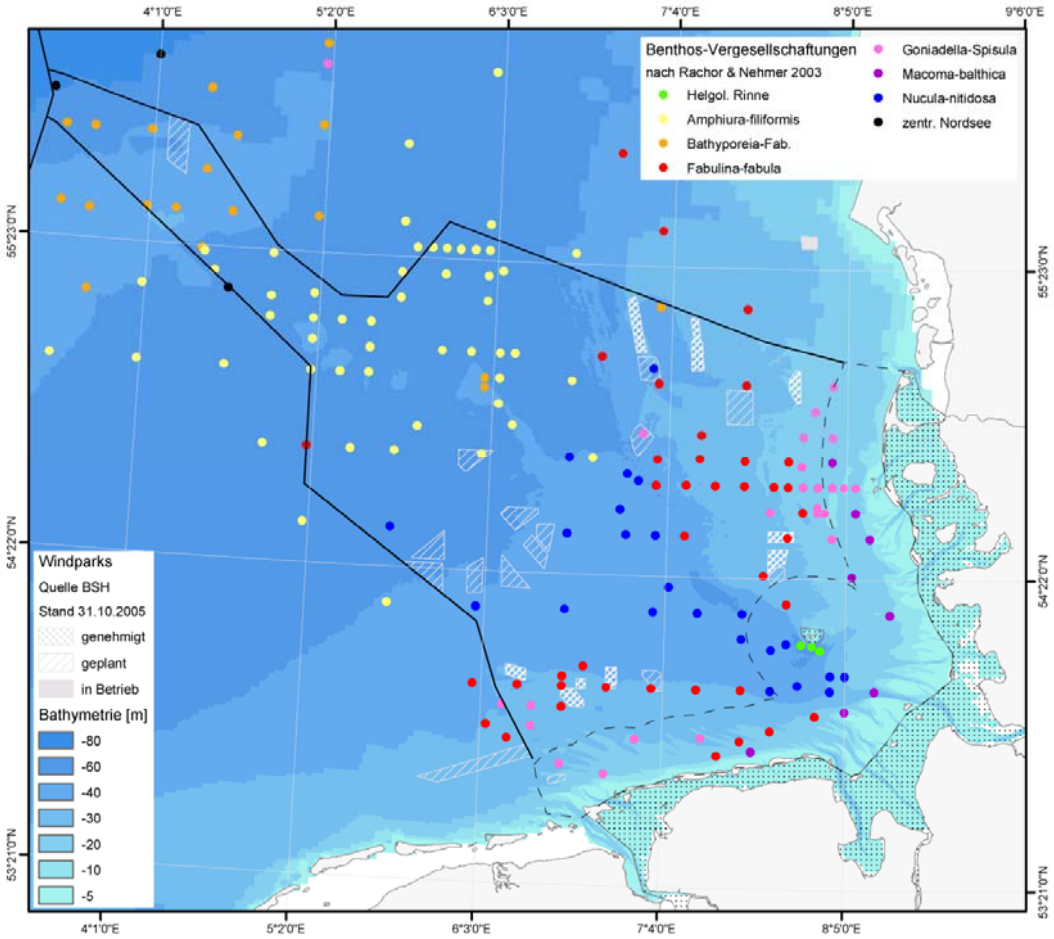



Abbildung 11 Benthos-Stationen im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz und deren Klassifikation nach Vergesellschaftungen (Rachor und Nehmer, 2003).

Für die nordseeweite Übertragung der Methode wurden biotische und abiotische (siehe Tabelle 1) zusammengetragen, hauptsächlich aus der ICES Datenbank, die im Rahmen von Monitoring-Programmen von allen Anrainerländern der Nordsee erhoben werden (z.B. der International Bottom Trawl Survey - IBTS).

# 6 Der Digitale Atlas „Meeresboden der Nordsee“

Im Digitalen Atlas „Meeresboden Nordsee“ (Abbildung 12) sind speziell Geo-Informationen für den unteren Bereich der Wassersäule und des Meeresbodens meereswissenschaftliche Daten zur Geologie, Geochemie, Meereschemie und benthischer Biologie zusammengestellt. Folgende Parameter wurden beispielsweise erfasst: Ammonium, Bathymetrie, benthische Biologie (epi- und endobenthische Organismen), Kieselsäure (Silikat), Korngrößenverteilungen, Fischereidaten (wie Population, Alter, Größe), Nitrat, Nitrit, Phosphat, Salinität, oder Temperatur.

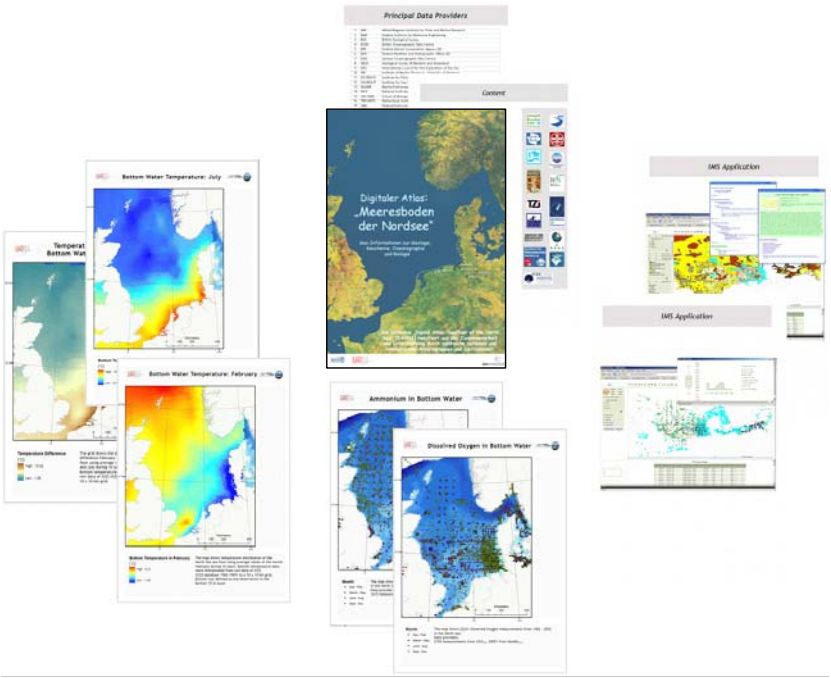



Abbildung 12 Der Digitale Atlas „Meeresboden Nordsee“.

Im Zentrum des Interesses steht, wie im MarGIS Projekt, speziell der Bereich des Meeresboden und der unteren Wassersäule, denn dieser Bereich ist Lebensraum für zahlreiche Organismen, durch vielfältige geochemische und physikalische Prozesse geprägt und unterliegt ständigen natürlichen und anthropogenen Veränderungen. Der Atlas bietet einen ersten Überblick über verfügbare Umweltinformationen dieses marinen Lebensraums der Nordsee. Über eine umfangreiche Darstellung der Daten hinaus liefert der Atlas die Beschreibung des Aufbaus der Geodatenbank, der Datenanalyse, des Typologisierungskonzeptes mittels geostatistischen und multivariat statistischen Methoden – also Informationen über das Datenmanagement und angewandten Auswerteverfahren. Des Weiteren vervollständigt die Übersicht der webbasierten Bereitstellung des Kartenmaterials über einen Internet Map Server (IMS) den Einblick über das Gesamtkonzept des MarGIS Projektes (Abbildung 13).

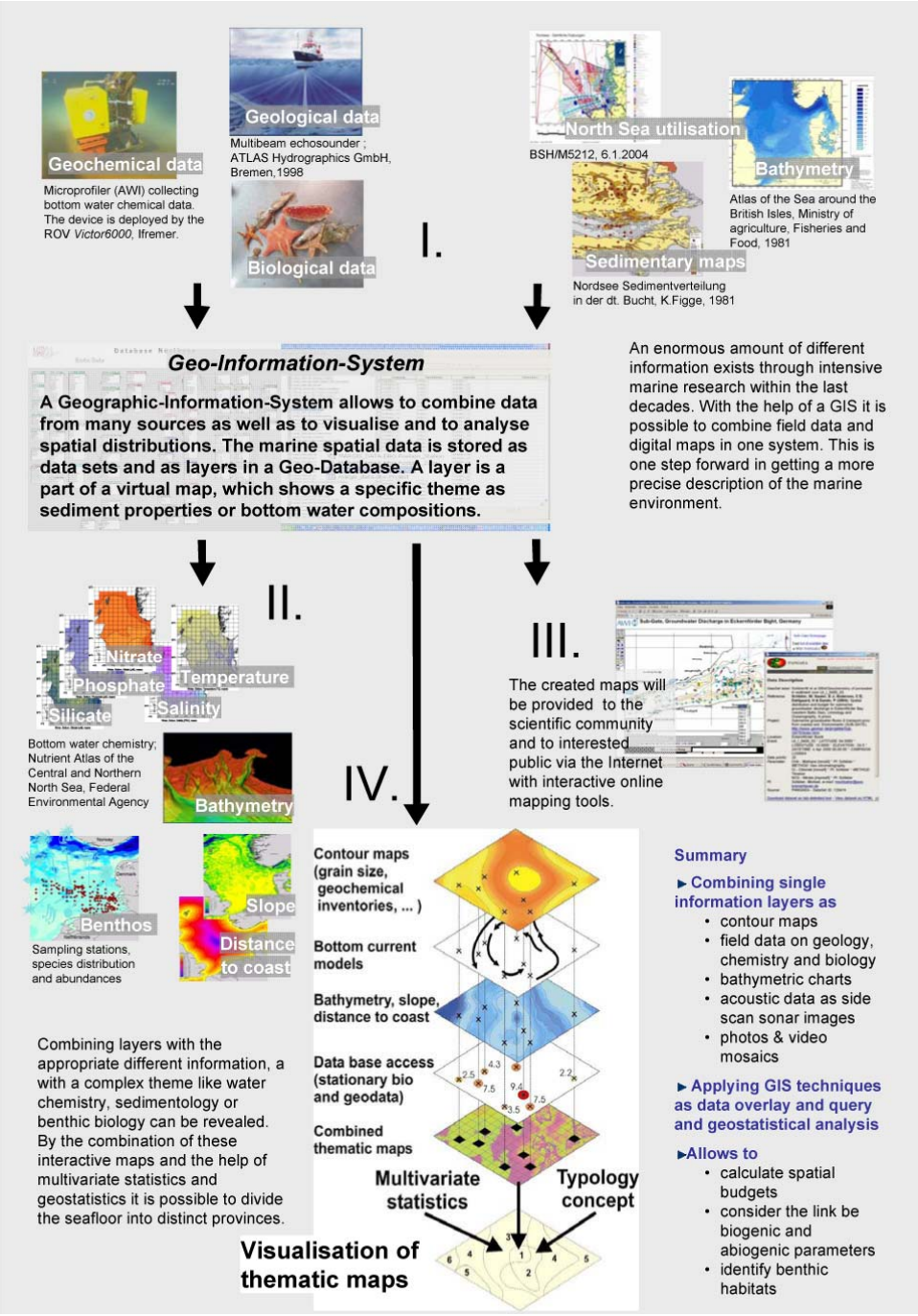



Abbildung 13 Das MarGIS Konzept: von einzelnen Informationsebenen zu Meeresboden-Provinzen.

Die im Atlas zusammengestellten Geo-Informationen resultieren aus einer intensiven Recherche in Publikationen, verfügbaren Projektberichten, in Marine Data Base Systems (MDBS) archivierten Geodaten und aus der engen Kooperation mit Wissenschaftlern verschiedener Fachdisziplinen.

Alle Datenquellen und Beiträge sind in den Metadaten des GIS-Projekts Digitaler Atlas „Meeresboden der Nordsee“ aufgeführt. Tabelle 3 gibt auf Institutsebene einen tabellarischen Überblick über die Datengeber und Quellen der im Atlas zusammengeführten Geo-

Information, auf die auch in jeder generierten Karte verwiesen wird. Ein beträchtlicher Bestand an publizierten Daten stammt aus Datenbanken die von internationalen oder nationalen Organisationen und Behörden betrieben werden. Prominente Beispiele sind, wie bereits in Abschnitt 1.1 erwähnt, die ICES Datenbank oder die Meeresumweltdatenbank (MUDAB).

Tabelle 3 Datengeber und Veröffentlichungen des Digitalen Atlas „Meeresboden Nordsee“.

| *Data Source* |
|---|
| Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research (AWI) |
| Federal Institute for Waterway Engineering (BAW) |
| British Geological Survey (BGS) |
| British Oceanographic Data Centre (BODC) |
| Federal Nature Conservation Agency (D) (BfN) |
| Federal Maritime and Hydrographic Office (D) (BSH) |
| German Oceanographic Data Centre (DOD) |
| Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) |
| International Council for the Exploration of the Sea (ICES) |
| Institute of Marine Research, University of Hamburg (IfM) |
| Institute for Fishery Ecology / Federal Research Centre for Fisheries (D) (IfÖ/BFA-Fi) |
| Institute for Sea Fisheries / Federal Research Centre for Fisheries (D) (ISH/BFA-Fi) |
| Marine Environmental Database of BSH and UBA (MUDAB) |
| National Institute for Coastal and Marine Management (NL) (RIKZ) |
| School of Biological Sciences, University of Wales, Swansea and Bangor (SBS/UWB) |
| Netherlands Institute of Applied Geo-science TNO - National Geological (TNO-NITG) |
| Federal Environmental Agency (D) (UBA) |
| North Directorate for Water and Navigation North Region (D) (WSD) |
| North West Directorate for Water and Navigation North West Region (D) (WSD) |
| Figge, K. (1981): Map of Sediment Distribution (Karte der Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht mit Beiheft), MapNo. 2900 of the former German Hydrographic Institute, Hamburg |
| Alan Judd (University of Newcastle) |
| Martin Hovland (Statoil) |
| ESRI |
| Norwegian Petroleum Directorate |
| (UKOOA):DEAL Data registry |
| Petroleum Geology of the North Sea - Basic concepts and recent advances. - K.W. Glennie (Ed.).- Fourth Edition, 1998. Blackwell Science |
| Gregersen,S., Leth,J., Lind,G., Lykke-Andersen,H. (1996): Earthquake activity and its relationship with geologically recent motion in Denmark. Tectonophysics 257, pp. 265-273 |
| Danish Energy Authority |
| Nederlands Instituut voor Geowetenschappen TNO, Utrecht, NL |
| Vermeulen, A.T., Eisma,R., Hensen,A., Slanina,J. (1999): transport model calculations of NW-European methane emissions. Environmental Science & Policy, 2, pp. 315-324 |
| de Hass, H. & van Weering, T.C. (1997): Recent sediment accumulation, organic carbon burial and transport in the northeastern North Sea. Marine Geology 136, pp. 173-187 |
| Jørgensen, N.O. (1992): Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from the Kattegat, Denmark:Geochemical and geological evidence.Marine Geology, 103/1-3, 1-13 |
| Jørgensen,N.O. (1992): Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from the Kattegat, Denmark: Geochemical and geological evidence. Marine Geology 103/1-3, pp. 1-13 |
| Hempel,P., Spieß,V., Schreiber,R. (1994): Expulsion of shallow gas in the Skagerrak - Evidence from sub-bottom profiling, seismic, hydroacoustical and geochemical data. Estuarine, Coastal and Shelf Science 38, pp. 583-601 |
| EU-project SCOPE - www.scope.ruc.dk, image of the geology of the Baltic Shield |

Der Atlas dient weiterhin als Ergänzung zur MarGIS IMS-Präsentation, die als solche für den nicht spezialisierten Anwender nicht auf den ersten Blick selbsterklärend erscheint und als Metadaten-Quelle über die im MarGIS Projekt zusammengetragenen und homogenisierten Daten.

# 7 Ausblick

Die im Rahmen des Teilprojekts zusammengestellten Geodaten, das Datenmodell und die Software zur automatischen Bildauswertung, die zusammen mit dem Technologiezentrum für Informatik entwickelt wurde (Jerosch et al., accepted), werden über das Projektende hinaus weiter genutzt. Dies gilt nicht nur für Arbeiten am AWI. Entsprechende Nachfragen sind bereits von anderen Arbeitsgruppen gestellt worden. Die Ergebnisse des MarGIS Projekts wurden bzw. werden in peer-review Zeitschriften publiziert.

# 8 Publikationen, Posterpräsentationen und Vorträge

## Publikationen


Jerosch, K., Schlüter, M., Pesch, R., Schröder, W., Köberle, A., Vetter, L., 2005. MarGIS Marine Geo-Information-System for Visualisation and Typology of Marine Geodata. *In: Conference Proceedings EnviroInfo 2005. Brno 2005. GEOTECH-176.*

Jerosch, K., Schlüter, M. Schäfer, A., 2004. Data Management Approach for Marine Data within a Geodatabase – Project MarGIS. *In: Science Report No. 4. Geotechnologies – Information Systems in Earth Management. Status Seminar RWTH Aachen University. 23.-24. March 2004.*

Jerosch, K., Lüdtke, A., Schlüter, M., Ioannidis, G.T. (accepted). Automatic content-based analysis of georeferenced image data with the IBU system: Detection of beggiatoa mats in seafloor video mosaics from the Håkon Mosby Mud Volcano. *Computers & Geosciences. GEOTECH-203.*

Jerosch, K., Pesch, R., Schlüter, M. (*submitted*). Application of Indicator Kriging for Analysis of Video Mosaics and Marine Habitat Mapping at Håkon Mosby Mud Volcano. *Ecological Informatics. GEOTECH-204.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Foucher, J.-P., Allais, A.-G., Klages, M., Edy, C. (*submitted*). Spatial distribution of benthic communities affecting the methane concentration at Håkon Mosby Mud Volcano. *Marine Geology. GEOTECH-202.*

Pesch, R., Jerosch, K. (*to be submitted*): Combining Geostatistical Methods and GIS to Estimate Temperature Maps of the Seafloor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea. International Journal of Geographic Information Science.

Pesch, R., Pehlke, H., Jerosch, K., Schröder, W. Schlüter, M. (*to be submitted).* Using Decision Trees to Predict Benthic Communities within and near the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea. *Environmental Monitoring and Assessment (to be submitted). GEOTECH-187.*

## Posterpräsentationen

Jerosch, K., Lüdtke, A., Schlüter, M., Ioannidis, G.T., 2005. Image analysis methods, geo-statistics and GIS techniques to derive spatial budgets for benthic communities at mud volcanoes. *General Assembly of the European Geosciences Union (EGU). Vienna, Austria, 24-29. April 2005.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Foucher, J.-P., Klages, M., 2005. Budget on spatial distribution of biological communities affecting the CH4 cycle at Håkon Mosby Mud Volcano. *General Assembly of the European Geosciences Union (EGU) Vienna, Austria, 24.-29. April 2005.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Foucher, J.-P., 2004. Geo-Referenced Video-Mosaiking as a Means to GIS-supported Sea Floor Community Mapping at Håkon Mosby Mud Volcano. *1st General Assembly of the European Geosciences Union (EGU) Nice, France, 25.-30. April 2004.*

Schlüter, M., Sauter, E. J., Jerosch, K., Foucher, J.-P., 2004. Geochemical provinces and $CH_4$ budget at Håkon Mosby Mud Volcano, western Barents Sea. *1st General Assembly of the European Geosciences Union (EGU) Nice, France, 25.-30. April 2004.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Schäfer, A., 2004. Data Management Approach for Marine Data within a Geodatabase. *Förderschwerpunkt Informationssysteme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten. BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien. Statusseminar Aachen, 23.-24. März 2004.*

## Vorträge

Jerosch, K., Schlüter, M., Foucher, J.-P., 2005. Biogeochemical habitat mapping at Håkon Mosby Mud Volcano. *2nd MarTech Workshop, co-organized by the EU project EXOCET/D. Bremerhaven, Bremen. 10.-12. October 2005.*

Pesch, R., Jerosch, K., Schlüter, M., 2005. MarGIS: Characterisation of provinces at the seafloor of the North Sea by GIS and geostatistical techniques. *Internationale GV-DGG-Tagung: Das System Erde. Universität Erlangen. 24.-29. September 2005.*

Jerosch, K., Schlüter, M., 2005. Kompilation, Visualisierung und räumliche Analyse von heterogenen Geodaten. *Statusseminar Geotechnologien im Rahmen der Internationalen GI-Tage Münster. 22.-24. Juni 2005.*

Schlüter, M., Waldmann, C., K. Müller und Hach, O. (2005). Geosensors in Marine Research: Surveys by Mobile Underwater Platforms. *Internationalen GI-Tage Münster.*

Jerosch, K., Schlüter, M., 2005. MarGIS Marine Geo-Information-System for Visualisation and Typology of the Sea Floor. *Internationaler Workshop der Working Group on Marine Habitat Mapping (WGMHM) des ICES (International Council for the Exploration of the Sea) in Bremerhaven, AWI. 06. April 2005.*

Schlüter, M., Jerosch, K., 2005. Integration, Auswertung und Verfügbarmachung komplexer, heterogener Datenbestände in den Meereswissenschaften. *DFG-Rundgespräch „Geowissenschaftliche Informationsportale". Universität Hannover 21.-22. Februar 2005.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Morchner C., 2005. Integration biologischer Datensätze - wie Fischbestand und benthische Organismen - in ein Geo-Informationssystem. *Kolloquium an der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Seefischerei. 24. Januar 2005.*

Jerosch, K. Schlüter, M., Foucher, J.-P., 2004. Habitat mapping due to geostatistical techniques at Håkon Mosby mud volcano by means of georeferenced video-mosaicking of seafloor video images. *Internationale Geologen-Tagung: GeoLeipzig – Geowissenschaften sichern Zukunft, Universität Leipzig. 30. September 2004.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Morchner, C., 2004. Das Datenmodel des MarGIS Projektes: Organisation von Marine Geodaten. *Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, Bundesamt für Naturschutz. Tagung und Workshop „Fachdatenbanken zum Meeresnaturschutz". 19. August 2004.*

Jerosch, K., Schlüter, M., Morchner, C., 2004. Integration und Organisation von marinen Geodaten: das Datenmodel des MarGIS Projektes. *Workshop "Internet basiertes GeoInformationsSystem Nordsee" AWI, Bremerhaven. 17. Juni 2004.*

# 9 Literaturverzeichnis


BGBL. (Bundesgerichtsblatt) 1994a Teil II: Gesetz zu internationalen Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes und des Nordostatlantiks, S.1355-1360.

BGBL. (Bundesgerichtsblatt) 1994b Teil II: Verordnung zu dem Übereinkommen vom 28. Juli 1994 zur Durchführung des Teiles XI des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982, S. 2565.

Busch, M., 2005. Die EUNIS Habitatklassifikation – Eine Grundlage für die Kartierung mariner Meeresbodenhabitate in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee?. Diplomarbeit. Universität Vechta. Institut für Umweltwissenschaften (in Bearbeitung).

Connor, D.W., Brazier, D.P., Hill, T.O., Northen, K.O., 1997a. Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 1, Littoral biotopes. Version 97.06, Joint Nature Conservation Committee Report, No. 229.

Connor, D.W., Dalkin, M.J., Hill, T.O., Holt, R.H.F., Sanderson, W.G., 1997b. Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 2, Sublittoral biotopes. Version 97.06, Joint Nature Conservation Committee Report No. 230.

Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L., Lieberknecht, L.M., Northern, K.O., Reker, J.B., 2004. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version

04.05. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough (Internet Version: www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification).

Cressie, N., 1993. Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, New York.

Davies, C.E., Moss, D., 1999. EUNIS Habitat Classification. Draft Final Report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Davies, C.E., Moss, D., 2000. EUNIS Habitat Classification. ICES Annual Science Conference. Theme Session on Classification and Mapping of Marine Habitats. CM 2000/T:04, Brügge.

Davies, C.E., Moss, D., 2002a. Cross-references between the EUNIS habitat classification and habitats included on Annex I of the EC Habitats Directive (92/43/EEC). Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Davies, C.E., Moss, D., 2002b. EUNIS Habitat Classification. Final Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. 125pp.

Davies, C.E., Moss, D., Hill, M.O., 2004. EUNIS Habitat Classification Revised 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity,European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Degraer, S., van Lancker, V., Moerkerke, G., van Hoey, G., Vincx, M., Jacobs, P., Henriet, J.P., 2002. Intensive evaluation of the evolution of a protected benthic habitat. Brüssel.

EU - Der Rat der Europäischen Gemeinschaften, 1992. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 206: 7-50.

Figge, K., 1981. Erläuterungen zur Karte der Sedimentverteilung in der deutschen Bucht 1:250000 (Karte Nr. 2900).

Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. Journal of Geology 62 (4), 344-359.

Folk, R.L., 1974. The petrology of sedimentary rocks: Austin, Tex., Hemphill Publishing Co., 182 p.

Gosselain, V., Hudon, C., Cattaneo, A., Gagnon, P., Planas, D., Rochefort, D., 2005. Physical variables driving epiphytic algal biomass in a dense macrophyte bed of the St. Lawrence River (Quebec, Canada). Hydrobiologia. Vol. 534 (1-3): 11- 22(12).

Gosselck, F., Bönsch, R., Brosda, K., Hübner, J., Meißner, K., Sordyl, H., 2003. Gemeinsame Charakterisierung der deutschen Nord- und Ostseeküstengewässer vor dem Hintergrund internationaler Vereinbarungen - Teil B Ostsee. Abschlussbericht zum FuE Vorhaben 0330041 (BMBF).

Gonzales-Gurriaran, E., Freire, J., Fernandez, L., 2003. Geostatistical analysis of spatial distribution of *Liocarcinus depurator, Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). In: Marine Biology, 115: 453-461.

HELCOM, 2004. Convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea, 1992. (Internet Version: http://sea.helcom.fi/helcom/convention.html)

Hutchinson, M.F., 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney. Columbus, Ohio: International Geographical Union.

Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology 106, 211-232.

Hsü und Thiede, 1991. Use and Misuse of the Seafloor. John Wiley.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea), 2005. Report of the Working Group on Marine Habitat Mapping (WGMHM). Bremerhaven.

INK (Internationale Nordseeschutzkonferenz), 2002. Erklärung von Bergen. Fünfte Internationale Konferenz zum Schutz der Nordsee. 20.–21. März 2002. (Internet Version: http://www.dep.no/archive/mdvedlegg/01/19/Berge037.pdf), Bergen.

Kröncke, I., Bergfeld C., 2001. Review of the current knowledge on North Sea benthos. Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung. Reihe Z: Interdisziplinäre Zentrumsberichte, Nr. 12. Synthesis and New Conception of North Sea Research (SYCON), Working Group 10. Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg (Internet Version www.rrz.uni−hamburg.de/SYKON/ Library/FG10.pdf).

Krüger, J.-A., 2002. NABU-Schutzgebietkonzept für deutsche Meere. NATURA 2000-Schutzgebiete in Nord- und Ostsee. – Bonn.

Olea, R., 1999. Geostatistics for engineers and earth scientists. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.

OSPAR, 1998. OSPAR Strategy on the Protection and Conservation of the Ecosystems and Biological Diversity of the Maritime Area. OSPAR Agreement Reference Nr. 1998-19. London.

OSPAR, 2004a. Initial OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. OSPAR Agreement Reference Nr. 2004-06. London.

OSPAR, 2004b. Descriptions of habitats on the Initial list of threatened and/or declining Species and Habitats. OSPAR Agreement Reference Nr. 2004-07. London.

OSPAR, 2005. Case Reports for the Initial List of Threatened and/or Declining Species and Habitats in the OSPAR Maritime Area. London.

Pratje, O., 1951. Die Fortsetzung der Endmoränen am Boden der Nordsee. In: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 103, S. 75-77.

Poon, K.F., Wong, R.W.H., Lam, M.H.W., Yeung, H.Y., Chiu, T.K.T., 2000. Geostatistical modelling of the spatial distribution of sewage pollution in coastal sediments. Water Research 34(1), 99-108.

Rachor, E.; Nehmer, P., 2003. Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee. - Bremerhaven (Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben 899 85 310, im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz).

Roff, J.C.; Taylor, M.E., 2000. National frameworks for marine conservation- a hierarchical geophysical approach. Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems 10: 209-223.

Schernewski, G., Wielgat, M., 2004. Towards a Typology for the Baltic Sea – Managing the Baltic Sea. Coastline Reports 2 : 35-52.

Streif, H., 2003: Die Nordsee im Wandel – vom Eiszeitalter bis zur Neuzeit. In Lozán, J.L., Rachor, E., Reise, K., Sündermann, J., Von Westernhagen, H. (Eds.), Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer: Eine aktuelle Umweltbilanz. Wissenschaftliche Auswertungen, 447 pp.

Sündermann, J., 1995. The variable circulation and transport fields in the German Bight - oberservations and model simulations. Proc. IAPSO XXI. General Assembly, Honululu, Hawaii, 5-12.

Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Jounal of Geology 30, 377-392.

Webster R., Oliver M.A., 2001. Geostatistics for environmental scientists. Wiley & Sons. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.

# Digitaler Atlas: „Meeresboden der Nordsee"

Geo-Informationen zur Geologie, Geochemie, Ozeanographie und Biologie

**Die Initiative „Digital Atlas: Seafloor of the North Sea" [DASNS] resultiert aus der Zusammenarbeit und Unterstützung durch zahlreiche nationale und internationale Arbeitsgruppen und Institutionen.**

AWI MARGIS GEOTECHNOLOGIEN

## Der Digitale Atlas *„Meeresboden der Nordsee“*

wurde im Rahmen der Projekte MarGIS und METROL erstellt sowie durch BfN-Projekte und zahlreiche wissenschaftliche Arbeitsgruppen und Institutionen unterstützt. Hierdurch war es möglich umfangreiche Datensätze zur Geologie, Sedimentologie, Geochemie und Biologie zusammenzustellen.

Im Zentrum unseres Interesses steht speziell der Bereich des Meeresboden und der unteren Wassersäule. Dieser Bereich ist Lebensraum für zahlreiche Organimsen, durch vielfältige geochemische und physikalische Prozesse geprägt und unterliegt ständigen natürlichen und anthropogenen Veränderungen.

Der Aufbau einer Geodatenbank, die Datenanalyse mittels des Geo-Informationssystems ArcGIS und die webbasierte Bereitstellung des Kartenmaterials über einen Internet Map Server (IMS) sollen einen ersten Überblick über verfügbare Umweltinformationen dieses marinen Lebensraums liefern.

Bereits hier möchten wir uns für die große Unterstützung und das Interesse an dem Projekt bedanken und auf die neben stehende Abbildung hinweisen.

Stellvertretend für zahlreiche Fachwissenschaftler möchte wir uns hier speziell bei Dr. E. Rachor, Prof. Dr. U. Brockmann (IfM-HH), Wissenschaftlern und Mitarbeitern des AWI und der Bundesanstalt für Hydrographie und des Geologischen Dienstes von Dänemark (GEUS) **** für ihre Unterstützung und Beratung bedanken.

Michael Schlüter & Kerstin Jerosch

Alfred-Wegener-Institut
November 2005

Ermöglicht wurden die Arbeiten auch durch Drittmittelförderungen des BMBF, der DFG, des BfN und der Europäischen Union.

# Inhalt


- Vorwort
- 1. Der Digitale Atlas der Nord See
- 1.1 Hintergrund: Die Projekte *MarGIS* und *METROL*
- 1.2 Datenquellen
- 1.3 Datenaufbereitung
- 1.4 Datenaufbereitung und -management
  - Daten-Akquirierung und Bewertung
  - Daten-Aufbereitung: Bathymetrie
  - Daten-Management: Messwert-Datenbank
  - Aggregation unterschiedlicher Datentypen in einer Geodatenbank
  - Anwendung einer Geodatenbank
  - Metadaten
  - Datenabfragen

o Typologisierungskonzept
  o Geostatistische Analyse von Messwerten
  o Prediktive Kartierung benthischer Provinzen

- Thematische Karten
- Internetbasierte Bereitstellung der Karten: der Internet Map Server
- Glossar
- Literatur
- Danksagung

# *Vorwort*

Die Nordsee ist als Randmeer des Nordatlantik von den am stärksten besiedelten und industrialisierten Ländern Europas umgeben. Dem entsprechend sind auch der Nutzungsdruck und die Belastungen. Neben der Fischerei nutzen wir das Meer zur Gewinnung von Öl, Gas, Sand und Kies, beanspruchen es für Schifffahrt und Transporte mit Rohrleitungen und Kommunikations- und Stromkabeln, aber auch für militärische Übungen; die Nutzung der Windenergie ist neu hinzugekommen und wird wahrscheinlich stark zunehmen. Der Küstenraum besitzt hohe Bedeutung für die Erholung. Eutrophierung, bestimmte Schadstoffbelastungen, Ausbau- und Hafenbaumaßnahmen an den großen Flussmündungen sowie die bislang nicht nachhaltig arbeitende Fischerei stellen die stärksten bekannten Belastungen dar.

Angesichts dieser Belastungen und des zunehmenden Nutzungsdrucks und dem Mangel an Nachhaltigkeitdenken ist es erforderlich, die Nutzungen zu ordnen und auf dafür geeignete Bereiche zu beschränken. Wegen der kaum vom Menschen sinnvoll zu steuernden großräumigen ökosystemaren Prozesse muss zudem gewährleistet sein, dass große Freiräume erhalten bleiben, in denen diese natürlichen Vorgänge weiterhin wenig gestört ablaufen können.

Für alle hierfür erforderlichen Entscheidungen im Sinne eines integrierten Küstenzonen-Managements sind gute wissenschaftliche Daten erforderlich, wenn möglich, in räumlicher Darstellung mit Hilfe von geographischen Informationssystemen. Der erste entsprechend umfassende Ansatz dazu im Nordseebereich war der „Atlas of the Seas around the British Isles" von Lee & Ramster (1981, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food des Vereinigten Königreichs). Er enthielt sowohl grundlegende Karten zur Morphologie, Bodenbeschaffenheit, Hydrographie und Ökologie der Nordsee und westlich davon gelegenen Meeresbereichen als auch Karten zur Verteilung und Nutzung wichtiger Fischbestände, Nutzungen anderer Art sowie zu schifffahrtsbezogenen Aspekten.

Der im Rahmen der Projekte *MarGIS und METROL erarbeitete neue elektronische GIS-Atlas enthält entsprechende neue Daten in kartographisch aufgearbeiteter Form und hat zudem den Vorteil der jederzeitigen Aktualisierung und des Rückgriffs auf die den Karten zugrunde liegenden Datensätzen.*

Es ist zu wünschen, dass dieses Werk durch zusätzliche Informationen aus der Wissenschaft, der Verwaltung und auch von der Anwenderseite weiter entwickelt wird und sich mit seiner Hilfe die für die Nordsee erforderliche nachhaltige Nutzungs- und Schutzstrategie entwickeln kann (s. dazu u.a. Entwurf der EU-Kommission „Thematic Strategy on the Protection and Conservation of the Marine Environment", 2005).

Eike Rachor
im Juli 2005

# *Überblick und Zielsetzung*

Der Ozean und seine Randmeere sind von zentraler Bedeutung für die zukünftige Klimaentwicklung, die Rekonstruktion der Erdgeschichte sowie globale Stoffkreisläufe und bildet einen wichtigen Lebensraum des Erdsystems. Kommerzielle Nutzungen wie die Fischerei oder die Öl- und Gasförderung sind auf lokaler wie auch globaler Ebene wichtige Wirtschaftsfaktoren. Dem entsprechend haben wissenschaftliche, umweltbezogene und ökonomische Interessen an der maritimen Umwelt in den letzten wenigen Jahren deutlich zugenommen.
Meereswissenschaftliche Untersuchungen, das *Coastal Zone Management und ökonomische Anforderungen – wie die offshore Öl- und Gasförderung, die Sand- und Kiesgewinnung, Pipeline und Kabelverlegungen oder die Fischerei-* erfordern umfangreiche und konsistente Geo-Informationen. Dies beinhaltet sowohl die Verfügbarkeit von geologischen, geochemischen, sedimentologischen oder biologischen Meßdaten als auch von thematischen Karten über Verteilungsmuster benthischer Organismen oder geologischer Strukturen im tieferen Untergrund der Nordsee.
Geo-Informationen zur Meeresumwelt sind Grundlage für die Raumplanung und nachhaltige Nutzung von Meeresregionen und in Bezug auf internationale Konventionen wie die Europäische Wasserrahmen Richtlinie oder die Ausweisung von Naturschutzgebieten.

Der *Digitale Atlas „Meeresboden der Nordsee" resultiert aus unseren meereswissenschaftlichen Interessen. Die hier zusammengestellten Geo-Informationen sind im wesentlichen Ergebnisse aus den beiden Projekten:*

**MarGIS: Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten.** Gefördert über das BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien Informations-systeme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten. **www.martech.org*** www.geotech.org***

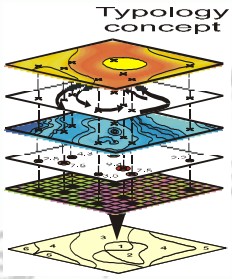
**METROL: Methane fluxes in ocean margin sediments: microbiological and geochemical control.** Gefördert über das 5th RP der EU. Koordinator Prof. Dr. B. B. Jørgensen, MPI-Bremen. **www.metrol.org***

Die Geo-Informationen resultieren aus einer intensiven Recherche in Publikationen, verfügbaren Projektberichten, in Marine Data Base Systems (MDBS) archivierten Geodaten und aus der engen Kooperation mit Wissenschaftlern verschiedener Fach- disziplinen. Alle Datenquellen und Beiträge sind in den Metadaten des GIS-Projekts Digitaler Atlas der Nordsee aufgeführt. Der Abschnitt *Referenz der Datenquellen* gibt, auf Institutsebene, einen tabellarischen Überblick.
Ein beträchtlicher Bestand an publizierten Daten stammt aus Datenbanken die von internationalen oder nationalen Organisationen und Behörden betreiben werden. Prominente Beispiele sind die *ICES Datenbank (International Council for the Exploration of the Sea) oder die Marine Umweltdatenbank (MUDAB) initiiert und betrieben von der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem Umweltbundesamt (UBA).*
Die Zusammenführung großer, heterogener Datenbestände ist ein komplexer, dynamischer Prozeß. Hierbei kommt den Metadaten eine hohe Bedeutung zu. Diese Metadaten sind als XML-Formate im ISO 19115 Standard in dem GIS Projekt hinterlegt. Über den Internet Map Server sind bzw. werden diese Informationen einsehbar.
Wir hoffen das der *Digitale Atlas „Meeresboden der Nordsee"* wissenschaftliche Zielsetzungen unterstütz und die schulische und universitäre Ausbildung fördert.

**MarGIS: Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten**

www.margis.org*** www.geotech.org***

GEOTECHNOLOGIEN




**Partner:**

**Prof. Dr. Michael Schlüter (Coordinator),**
**Dipl. Geogr. Kerstin Jerosch,**
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Sektion Marine Geochemie
D-27570 Bremerhaven, Am Handelshafen 12,
E-Mail: mschlueter@awi-bremerhaven.de

**Prof. Dr. Winfried Schröder, Dr. Roland Pesch**
Institut für Umweltforschung (IUW), Hochschule Vechta,
Postfach 1553, D-49364 Vechta,
E-Mail: wschroeder@iuw.uni-vechta.de

**Prof. Dr. Lutz Vetter, Dipl. Ing. Andreas Koeberle**
Abteilung Geoinformatic,
Fachhochschule Neubrandenburg, Postfach 11 01 21, D-17041 Neubrandenburg,
E-Mail: vetter@fh-nb.de

Zu den Zielsetzung von MarGIS zählt soll die Charakterisierung von Provinzen am Meeresboden der Nordsee, anhand der Kombination von geologischen, biologischen und chemischen Parametern. Hierfür wurde eine GIS basierte Datenbankstruktur aufgebaut, die es ermöglicht große, heterogene Datenbestände zu integrieren und für geostatistische Analysen bereit zustellen.
Mittels GIS wurden Felddaten (Punktdaten an diskreten Messstellen oder Messungen entlang von Transekten und Vertikalprofilen) und thematische Karten in einem System aggregiert. Dies ermöglicht eine rasche Visualisierung der Daten, die Berechnung von Isolinien und raumbezogene Abfragen über mehrere Informationslagen.
Geostatistische Verfahren wie Kriging sowie multivariate statistische Verfahren wurden verwendet, um Teilregionen des Meeresbodens, die durch eine ähnliche Merkmalskombination biogener und abiogener Meßdaten charakterisiert sind, zu identifizieren.
Die in dem Projekt getesteten und angewendeten Verfahren ermöglichen es Provinzen am Meeresboden –analog zu terrestrischen Habitatskartierungen- zu identifizieren. Dies unterstützt Aspekte der maritimen Raumplanung, z. B. als Folge von Nutzungsanforderungen oder internationale Regelungen zur Habitskartierung.

MarGIS wurde gefördert über das BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien
Informationssysteme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten

**METROL: Methane fluxes in ocean margin sediments: microbiological and geochemical control.**

**Partner** (mit Bezug zu GIS Aktivitäten)**:**

**Prof. Dr. B. B. Joergensen (Coordinator)**
**Dr. C. Borowski**
Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie (MPI)

MPI-Bremen

**Prof. Dr. M. Schlüter,**
**Dipl. Geol. U. Fritsche**
**Dipl Ing. A. Beyer**
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Sektion Marine Geochemie
D-27570 Bremerhaven, Am Handelshafen 12,
E-Mail: mschlueter@awi-bremerhaven.de

**Dr. J.B. Jensen & Dr. T. Laier**
GEUS
Denmark

Weltweit sind in zahlreichen Küstenregionen hohe Methankonzentrationen in Oberflächensedimenten zu beobachten. Dies ist auf die zum Teil sehr hohen Gehalte an organischem Material (OM) und die hieraus resultierende Bildung an biogenem Methan zurück zuführen. Das OM stammt vornehmlich aus dem zum Meeresboden sinkenden Plankton oder wird als partikuläres Material über Flüsse eingetragen.
Das Methan wird durch die mikrobielle Umsetzung des frischen organischen Materials gebildet. Die Methanbildung kann so intensiv sein das sich freies Gas – Gasblasen- im Sediment formieren. Neben der Bildung von $CH_4$ findet, meist in der Nähe der Sediment-Wasser-Grenzfläche der mikrobielle Abbau von $CH_4$ statt.
Das METROL Projekt untersucht die $CH_4$ Bildung und die Effizienz des „mikrobiellen Filters", der im Sediment zum Abbau von $CH_4$ führt und nur geringe Mengen dieses Treibhausgases in das Bodenwasser entweichen läßt.

Ein Bestandteil des vorwiegend mikrobiologisch und geochemisch ausgerichteten Projektes ist der Aufbau einer GIS basierten Datenbasis, in der Informationen zur Verteilung von gasreichen Sedimenten und von morphologischen Merkmalen, wie Pockmarks, Reefs und Seeps, die auf den Austritt von $CH_4$ hinweisen zusammengefaßt sind. Weiterhin wurden potentielle Lagerstätten und Transportpfade die eventuell thermogenes Methan aus dem tieferen Untergrund an die Sedimentoberfläche leiten untersucht.
Durch GIS Techniken wie Buffer und Overlay lassen sich unterschiedliche Informationslagen in Beziehung setzten um räumliche Korrelationen zwischen dem Vorkommen von z. B. Pockmarks und gasreichen Sedimenten abzuleiten.

# *Referenz der Datenquellen*

| Reference No. | Source Name |
|---|---|
| 1 | Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research (AWI) |
| 2 | Federal Institute for Waterway Engineering (BAW) |
| 3 | British Geological Survey (BGS) |
| 4 | British Oceanographic Data Centre (BODC) |
| 5 | Federal Nature Conservation Agency (D) (BfN) |
| 6 | Federal Maritime and Hydrographic Office (D) (BSH) |
| 7 | German Oceanographic Data Centre (DOD) |
| 8 | Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) |
| 9 | International Council for the Exploration of the Sea (ICES) |
| 10 | Institute of Marine Research, University of Hamburg (IfM) |
| 11 | Institute for Fishery Ecology / Federal Research Centre for Fisheries (D) (IfÖ/BFA-Fi) |
| 12 | Institute for Sea Fisheries / Federal Research Centre for Fisheries (D) (ISH/BFA-Fi) |
| 13 | Marine Environmental Database of BSH and UBA (MUDAB) |
| 14 | National Institute for Coastal and Marine Management (NL) (RIKZ) |
| 15 | School of Biological Sciences, University of Wales, Swansea and Bangor (SBS/UWB) |
| 16 | Netherlands Institute of Applied Geo-science TNO - National Geological (TNO-NITG) |
| 17 | Federal Environmental Agency (D) (UBA) |
| 18 | North Directorate for Water and Navigation North Region (D) (WSD) |
| 19 | North West Directorate for Water and Navigation North West Region (D) (WSD) |
| 20 | Figge, K. (1981): Map of Sediment Distribution (Karte der Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht mit Beiheft), MapNo. 2900 of the former German Hydrographic Institute, Hamburg |
| 21 | Alan Judd (University of Newcastle) |
| 22 | Martin Hovland (Statoil) |
| 23 | ESRI |
| 24 | Norwegian Petroleum Directorate |
| 25 | (UKOOA):DEAL Data registry |
| 26 | Petroleum Geology of the North Sea - Basic concepts and recent advances. - K.W. Glennie (Ed.).- Fourth Edition, 1998. Blackwell Science |
| 27 | Gregersen,S., Leth,J., Lind,G., Lykke-Andersen,H. (1996): Earthquake activity and its relationship with geologically recent motion in Denmark. Tectonophysics 257, pp. 265-273 |
| 28 | Danish Energy Authority |
| 29 | Nederlands Instituut voor Geowetenschappen TNO, Utrecht, NL |
| 30 | Vermeulen, A.T., Eisma,R., Hensen,A., Slanina,J. (1999): transport model calculations of NW-European methane emissions. Environmental Science & Policy, 2, pp. 315-324 |
| 31 | de Hass, H. & van Weering, T.C. (1997): Recent sediment accumulation, organic carbon burial and transport in the northeastern North Sea. Marine Geology 136, pp. 173-187 |
| 32 | Jørgensen, N.O. (1992): Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from the Kattegat, Denmark:Geochemical and geological evidence.Marine Geology, 103/1-3, 1-13 |
| 33 | Jørgensen,N.O. (1992): Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from the Kattegat, Denmark: Geochemical and geological evidence. Marine Geology 103/1-3, pp. 1-13 |
| 34 | Hempel,P., Spieß,V., Schreiber,R. (1994): Expulsion of shallow gas in the Skagerrak - Evidence from sub-bottom profiling, seismic, hydroacoustical and geochemical data. Estuarine, Coastal and Shelf Science 38, pp. 583-601 |
| 35 | EU-project SCOPE - www.scope.ruc.dk, image of the geology of the Baltic Shield |

# Methodik im Überblick

## Messungen

**Abb.**: in situ Microprofiler (AWI) für Messungen von Sauerstoffprofilen am Meeresboden (Wassertiefen bis 6000m). Das Gerät kann vom Schiff oder auch mit einem ferngesteuerten Unterwasserroboters eingesetzt werden. Die Daten ermöglichen eine Quantifizierung des Transfers von organischem Material zum Meeresboden.

**Abb.**: Multibeam Echosounder; ATLAS Hydrographics GmbH

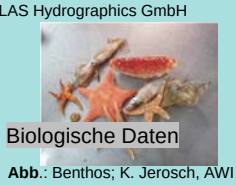
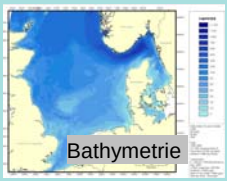



**Abb**.: Benthos; K. Jerosch, AWI

## Thematische Karten

Quelle: BSH/M5212, 6.1.2004



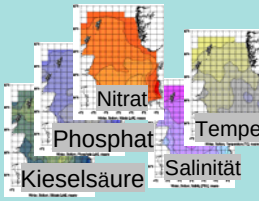

**Karte: Karte:** Bathymetrische Karte der Nodrsee (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1981).

**Karte**: Nordsee Sedimentverteilung in der dt. Bucht, K.Figge, 1981

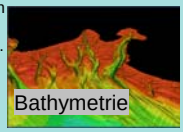
## Datenintegration in DBMS & GIS

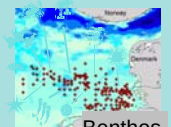
### Geo-Informations-System

**Geo-Informationssysteme ermöglichen die Integration unterschiedlicher, raumbezogener Geodaten (Karten, Messpunkte, Messungen entlang von Profilen, etc) in eine Geodatenbank. Dies ermöglicht Abfragen auf unterschiedlichen Informationsebenen und die Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse. Durch Techniken wie Overlay, Buffer, Kriking etc. können Kontourlinien und flächenbezogene Stoffbilanzen berechnet werden.**

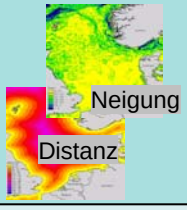


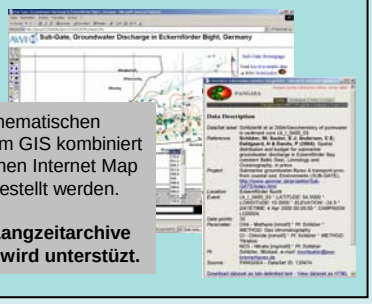

Daten: Chemische Zusammensetzung des Bodenwassers (Prof. Dr. U. Brockmann, D. H. Topcu (July 2002), Nutrient Atlas of the Central and Northern North Sea, Federal Environmental Agency.




species distribution and abundances

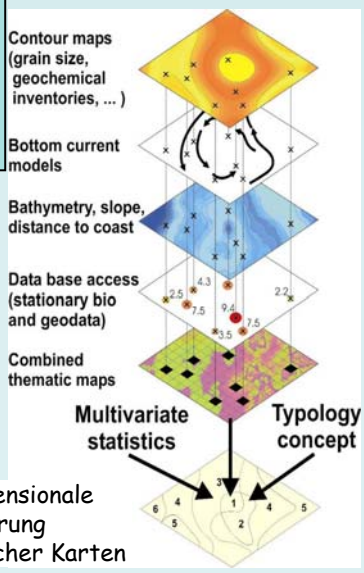


Rohdaten und thematischen Karten können im GIS kombiniert und z.b. über einen Internet Map Server bereits gestellt werden.

**Der Export in Langzeitarchive wie PANGAEA wird unterstüzt.**

Durch die Kombination unterschiedlicher Informationslagen (z.b. Wassertemperatur, Salinität, Nährstoffangebot, Sedimentologie, benthos Vergesellschaftung) lassen sich räumliche Zusammenhänge zwischen diesen Parametern untersuchen. In Verbindung mit Geostatistik können beispw. Provinzen am Meeresboden identifiziert und flächenbezogen Stoffbilanzen berechnet werden.




Mehrdimensionale Visualisierung thematischer Karten

## Zusammenfassung

**Auswertung einzelner Informationslagen:**

- Darstellung und Abfrage von Felddaten zur Geologie, Geochemie, Biologie etc.
- Erstellung bathymetrischer Karten
- Multibeam Daten, Side Scan Sonar Daten, georeferenzierte Bilder und Videomosaicks

**Anwendung von GIS Techniken wie Overlay, Buffer, Trendflächen und geostatistische Analyse**

**Dies ermöglicht:**

- die Berechnung von flächenbezogenen Budgets
- Idenfikation räumlicher Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Parametern
- Identifikation benthischer Habitate und Provinzen

# *Datenzusammenstellung (1/2)*

Im Digitalen Atlas der Nordsee sind speziell für den unteren Bereich der Wassersäule und des Meeresbodens meereswissenschaftliche Daten zur Geologie, Geochemie, Meereschemie und benthos Biologie zusammengestellt.
Die hier zusammengestellten Geo-Informationen resultieren aus einer intensiven Recherche in Publikationen, verfügbaren Projektberichten, in Marine Data Base Systems (MDBS) archivierten Geodaten und aus der engen Kooperation mit Wissenschaftlern verschiedener Fachdisziplinen. Alle Datenquellen und Beiträge sind in den Metadaten des GIS-Projekts Digitaler Atlas „Meeresboden der Nordsee" aufgeführt. Abschnitt *Referenz der Datenquellen* gibt, auf Institutsebene, einen tabellarischen Überblick.
Ein beträchtlicher Bestand an publizierten Daten stammt aus Datenbanken die von internationalen oder nationalen Organisationen und Behörden betreiben werden. Prominente Beispiele sind die *ICES Datenbank (International Council for the Exploration of the Sea) oder die Marine Umweltdatenbank (MUDAB) initiiert und betrieben von der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem Umweltbundesamt (UBA).*
Die nachfolgende Tabelle liefert einen Überblick über die verwendeten Datenquellen. Folgende Parameter wurden beispielsweise erfaßt: Ammonium, Bathymetrie, benthische Biologie (epi- und endobenthische Organismen), Kieselsäure (Silikat), Korngrößen-verteilungen, Fischereidaten (wie Population, Alter, Größe), Nitrat, Nitrit, Phosphat, Salinität, oder Temperatur.

| Charge | Period | Region | Object of Study | Description | Data | Sampl. | Posi. | Stat. | Exp. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AWI | 2000 | EEZ | benthos | BT | 184 | 184 | 184 | 184 | 1 |
| AWI | 2000 | EEZ | benthos | BT, Van Veen | 65341 | 180 | 180 | 180 | 1 |
| EC | 2000 | eNS | benthos | BT | 7694 | 270 | 269 | 269 | 5 |
| CEFAS | 2000 | pNS | abiotics | Sed., WC | 59 | | | | |
| SBS/UWB | 2000 | eNS | benthos | BT | 7653 | 270 | 270 | 270 | 5 |
| GFS | 1999 | eNS | benthos | BT | 7699 | 241 | 241 | | 5 |
| ICES | 1976-2002 | eNS/BS | abiotics | WC | 40820 | 40820 | 40764 | 40764 | 174 |
| ICES | 1999-2002 | eNS | fish | GOV, IBTS | 57730 | | | | |
| ICES | 1985/1986 | eNS | fishes | GOV, IBTS | 109217 | 1047 | 1047 | 1047 | 19 |
| ICES | 1985/86 | eNS | Benthos | GOV, NSBS | 21386 | 506 | 306 | 235 | 10 |
| ICES | 1999-2002 | eNS | fishes | GOV, IBTS | 388052 | 3007 | 3007 | 3007 | 53 |
| IFMHH | 1984-2000 | eNS | abiotics | WC | 3811 | 3811 | 3810 | 3810 | 36 |
| BFA/IFOE | 1981-1997 | eNS | fish diseases | GOV | 158855 | 2175 | 2175 | 56 | 53 |
| BFA/IFOE | 1984-2002 | sNS | pelag. fishlarva | GOV, dab | 1357 | 1141 | 1141 | 514 | 1 |
| BFA/IFOE | 1984-1999 | sNS | pelag. fishlarva | species, deformations | 5952 | 1029 | 1029 | 595 | 1 |
| BFA/ISH | 2003 | GB | fish | pelagic, GOV | 4854 | 47 | 94 | 47 | 1 |
| BFA/ISH | 1986 | eNS | fish | pelagic, GOV | 14097 | 128 | 256 | 128 | 1 |
| BSH | 1982-2000 | eNS/BS | abiotics | WC | 48691 | 48477 | 27884 | 27884 | 821 |
| | | | | ∑ | 943452 | 103333 | 82657 | 78990 | 1187 |

* BS: Baltic Sea, BT: Beam trawl, EEZ: German Exclusive Economical Zone, eNS: entire North Sea, GB: German Bight, GOV: Grande Ouverture Verticale (Bottom trawl), NSBS: North Sea Benthos Survey, IBTS: International Bottom Trawl Survey, pNS: partial North Sea, WC: Water Chemistry

# *Datenzusammenstellung (2/2)*

Weiterhin wurden thematische Karten der Sedimentverteilung, zum Vorkommen gasreicher Sedimente, über geologische Störungszonen, Intensitäten von Erdbeben oder über das Vorkommen von Pockmarks, submarinen Grundwasser-Austrittsstellen sowie von Kaltwasser-Riffen berücksichtigt. Nutzungskarten, beispielsweise über Regionen der Öl- und Gasförderung oder Pipelines wurden ebenfalls eingebunden.
Die Vielzahl an Parametern resultiert aus den Zielsetzungen der Projekte MarGIS und METROL. Die eine Charakterisierung unterschiedlicher Provinzen (Regionen mit ähnlichen biotischen und abiotischen Merkmalausprägungen) des Meeresboden und Untersuchungen zum Vorkommen von Methan im Sediment und tieferen Untergrund zum Ziel hatten.
Die Verarbeitung dieser heterogenen und aus verschiedensten Quellen stammenden Datenbestände erforderte eine sehr zeitaufwendige „Harmonisierungsphase" und die schrittweise Anpassung des Datenbank-Modells und Aufbaus einer direkt an das GIS gekoppelten Geodatenbank. Spezielle Aufmerksamkeit wurde auf den Eintrag der Metadaten, entsprechend IOS 19115 gelegt.

# *Beispiel für Bearbeitung von Meßdaten: Bathymetrische Übersichtskarte der Nordsee*

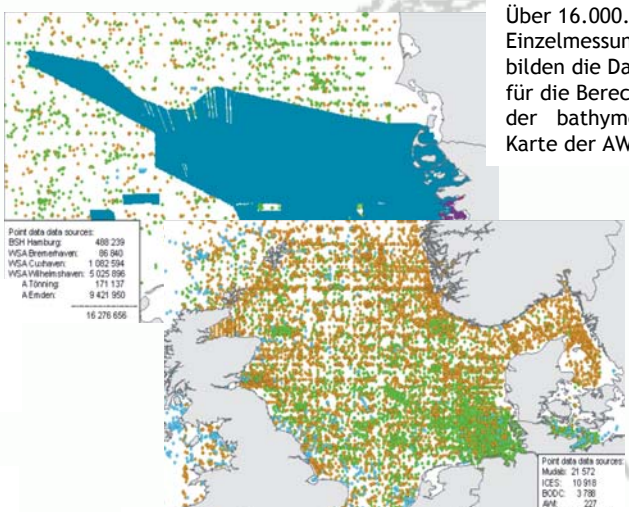
*Erstellung einer digitalen, bathymetrischen Übersichtskarte für die Nordsee zur Unterstützung meereswissenschaftlicher Arbeiten*

*(in Zusammenarbeit mit der AG Bathymetrie Dr. H.-W.- Schenke & Dipl. Ing. A. Beyer des AWI)*

Für Teilregionen der Nordsee sind hoch genaue bathymetrische Karten verfügbar bei der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und hydrographischen Institutionen der angrenzenden Länder. Darüber hinaus besteht ein Bedarf an digitalen, z. T. weniger detaillierten Übersichtskarten zur Bathymetrie der Nordsee (z. B. für eine erste Datenanalyse und -visualisierung).

## *Arbeitsschritte*

**1.** Für die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) und für die gesamte Nordsee wurden mehr als 16.000.000 bzw. 42.500 bathymetrische Messungen zur Kartenerstellung verwendet.

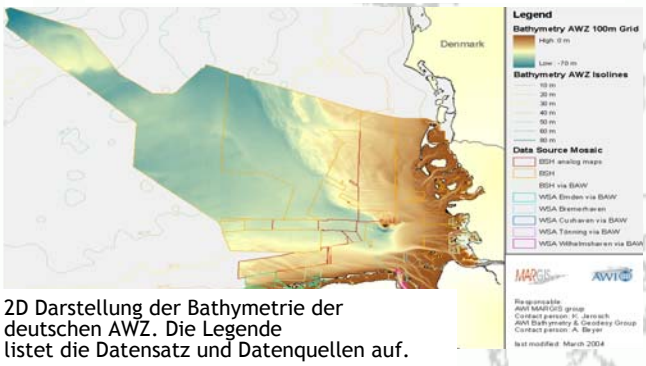



Über 16.000.000 Einzelmessungen bilden die Datenbasis für die Berechnung der bathymetrischen Karte der AWZ.

**2.** Die Daten wurden gesichtet, auf ein gemeinsames Referenzsystem bezogen und mit Metadaten versehen. Anschließend erfolgte der Import der Daten in das GIS.

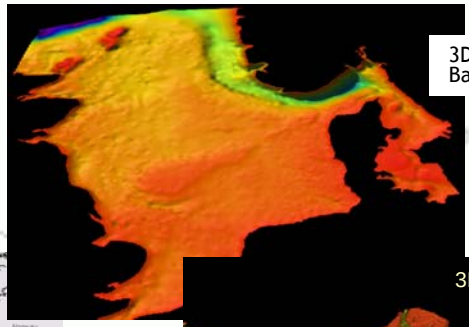
**3.** Die ungleichmäßig verteilten Messstellen wurden mittels TIN (Triangulated Irregular Network), unter Einbeziehung der Küstenlinie, in einen Rastendatensatz umgerechnet. Anschließend wurde das TIN, mit der „Topogrid-Interpolation" in ein „Digital Elevation Model" (DEM) umgerechnet und in einen Rasterdaten konvertiert.
Die regionale Verteilung der Messstellen erlaubt eine Rasterzellengröße von 2.5 km für die Nordsee und von 100 m für die AWZ.
Zur Vermeidung eventueller „Über-interterpretationen" wurde der detaillierte Datensatz auf ein gröberes Gitter von 2.5 x 2.5km umgerechnet.

Die bathymetrische Karte der Nordsee wurde anhand von 42.500 Single Beam Messungen berechnet .

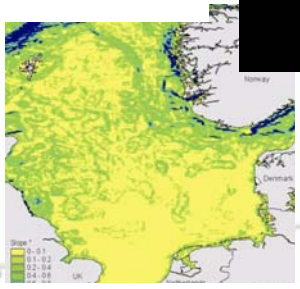



2D Darstellung der Bathymetrie der deutschen AWZ. Die Legende listet die Datensatz und Datenquellen auf.

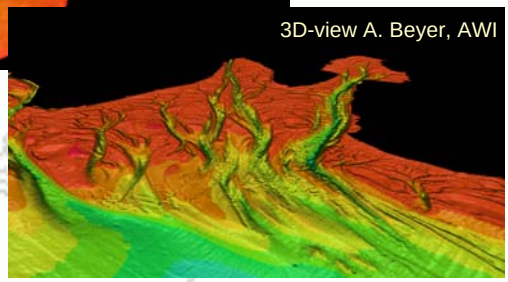
**4.** Die Übersichtskarten ermöglichen die Berechnung von Abstandskarten (z.B. Entfernung von der Küstenlinie), Hangneigungskarten und 3D Darstellungen. dies ermöglicht z.B. 3D Darstellungen von Sedimentkarten oder der $CH_4$ Verteilung im Sediment.



3D Darstellung der Bathymetrie der Nordsee.



Beispiel für GIS-Technik:Berechnete Hangneigungskarte der Nordsee.

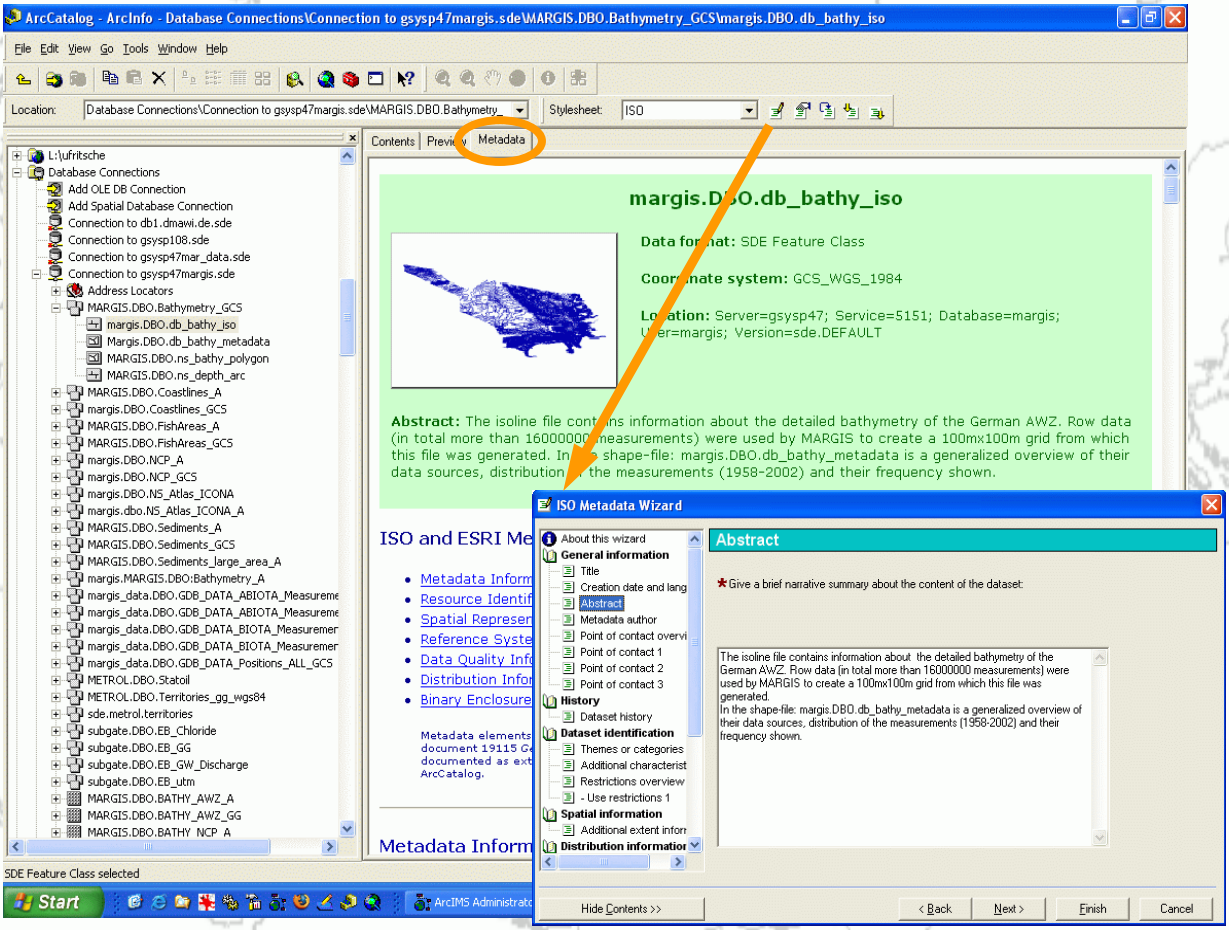



3D Detailkarte der Bathymetrie in der AWZ (Rastermaß: 100 m x 100 m).

# *Meta Daten – ISO 19115*

Metadaten beschreiben *Wo, wie, wann und von Wem* die „eigentlichen" Meßwerte beprobt und gemessen oder Vermessungen, Kartierungen oder andere Datenerhebungen durchgeführt wurden. Dies sind wesentliche Informationen für die Dokumentation und Bewertung wissenschaftlicher Daten und Ergebnisse.
In der Meeresforschung beinhalten die Metadaten unter anderem die Koordinaten des Beprobungsstation, das zur Ortsbestimmung verwendet geographische Bezugssystem und Datum, das Gerät mit dem beispielsweise die Wassersäule oder das Sediment beprobt wurde sowie die analytischen Techniken mit den die Meßwerte (z.b. Sauerstoffkonzentration des Bodenwassers, oder die Korngröße des Oberflächensediments) bestimmt wurden.
Metadaten für die Beschreibung von Karten umfassen u. a. die verwendeten Datenquellen, die Kartenprojektion und das geodätische Datum oder die Nennung der Techniken die zur Berechnung von Isolinen verwendet wurden.

Für den Digitalen Atlas Meeresboden der Nordsee wurde die Metadaten entsprechend des *„ISO 19115 Standard for Geographic Information—Metadata" eingegeben. ISO 19115 berücksichtigt die Anforderungen an bereits existierende Metadaten Standards.* Die Integration der Metadaten erfolgte direkt im GIS, wobei Informationen zur Kartenprojektion etc. automatisch in das Metadaten-Formular übermommen werden.




Metadata Darstellung innerhalb von ArcGIS 9.0 (ESRI). Vordefinierte Formulare unterstützen die Eingabe der Information entsprechend dem ISO Standard 19115.

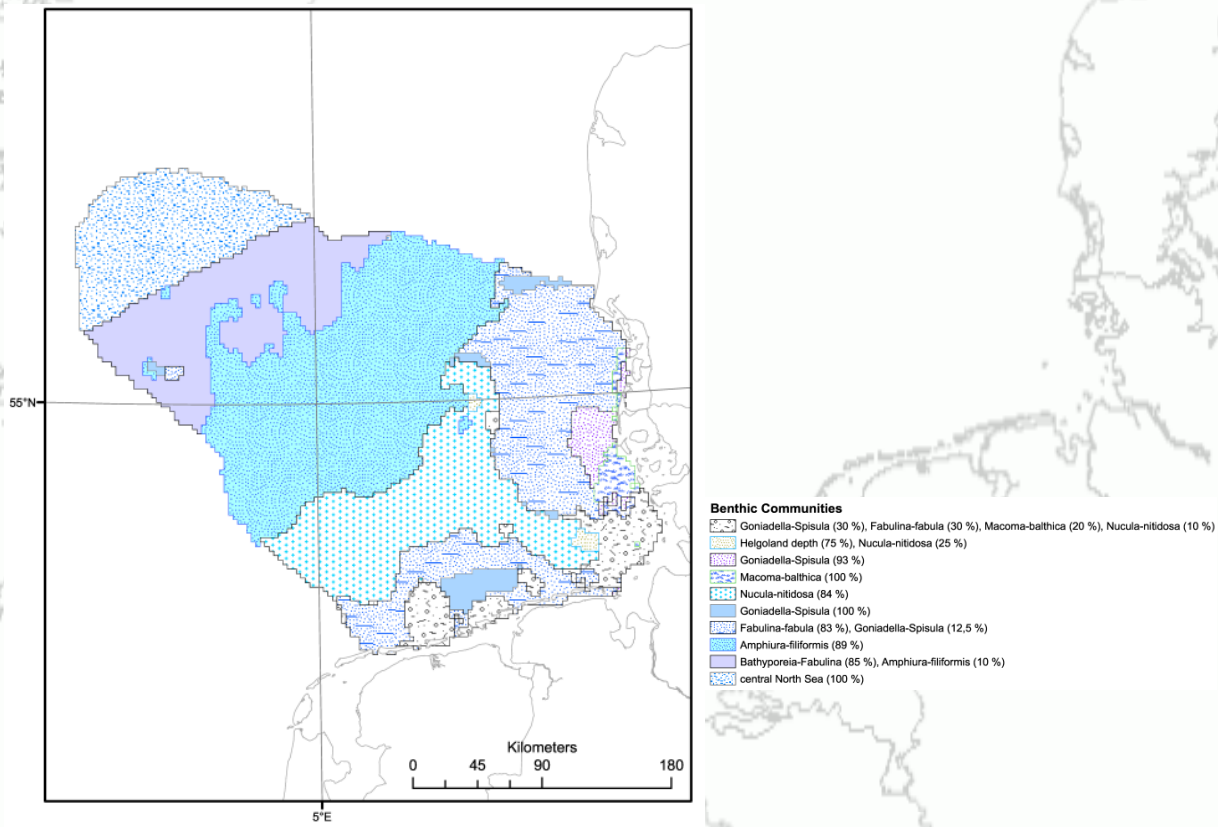
# *GIS gestützte Datenanalyse*

In den Meereswissenschaften, wie auch in der terrestrischen Umweltforschung, erfolgt die Datenerhebung meist an diskreten Beprobungsorten an denen Sediment- oder Wasserproben für chemische, geologische oder biologische Analysen genommen werden. Eine kontinuierliche Datenerfassung, beispielsweise entlang von Profillinien ist nur für die Quantifizierung einiger Parameter möglich, die z. B. mittels optischer oder akustischer Techniken messbar sind.
Bei dem überwiegenden Teil der für die Nordsee zusammengestellten Daten handelt es sich um Messungen an diskreten Beprobungspunkten, die durch eine X/Y-Position (Lat/Long) bestimmt sind und an denen in einer oder in mehren Wasser- oder Sedimenttiefen Proben genommen werden.
Geostatistische Verfahren ermöglichen es, für die -in der Regel an regional ungleichmäßig verteilten Messpunkten- erhobenen Messwerte kontinuierliche Isolinien-Karten zu erstellen. Ein hierfür sehr geeignetes Verfahren ist die Variogrammanalyse und das Kriging.

Zur Charakterisierung regionaler Unterschiede und von Provinzen am Meeresboden wurden im wesentlichen folgende Arbeitsschritte durchgeführt:
1.) die Anwendung geostatistischer Verfahren wie Variogrammanalyse und Kriging zur Berechnung von kontinuierlichen Verteilungskarten und

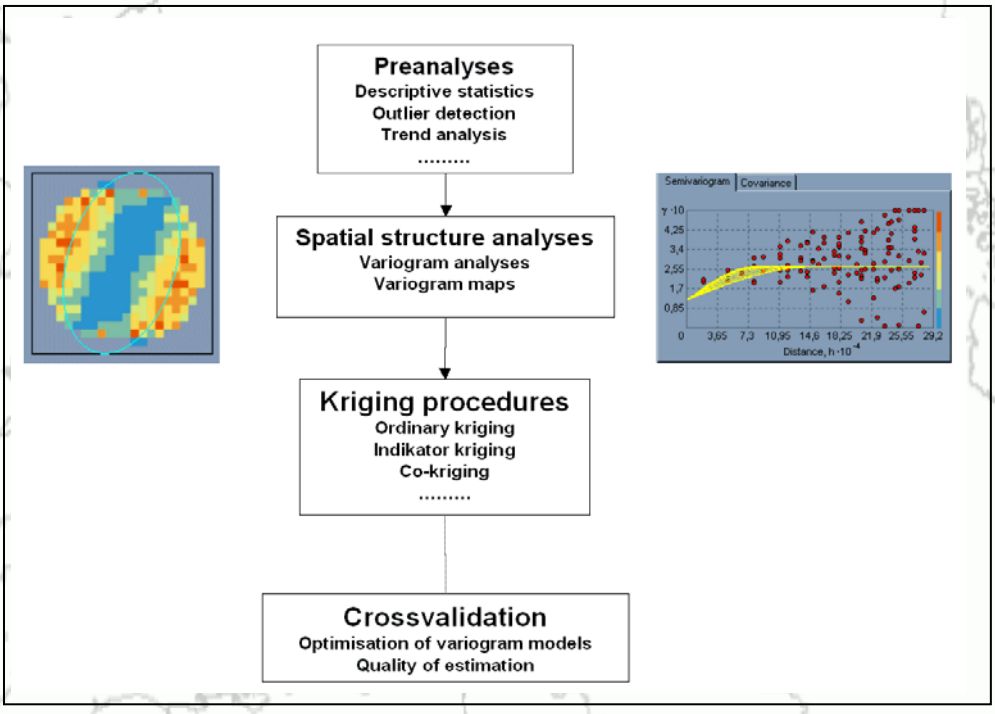
2.) Multivariate Verfahren für die Untersuchung von statischen Zusammenhängen zwischen der Merkmalsausprägung biotischer und abiotischer Parameter,

3.) die Koppelung von GIS-Techniken und den Ergebnissen der Multivariaten Verfahren um das Verteilungsmuster benthische Provinzen abzuleiten und flächenbezogene Bilanzierungen durchzuführen.



# *GIS gestützte Datenanalyse: Geostatistik (1/2)*

Im Rahmen des MarGIS Projekts wurden geostatistische Verfahren verwendet, um meereswissenschaftliche Messdaten, die an diskreten Messpunkten erhoben wurden in die Fläche zu interpolieren.
Geostatische Techniken wurden zunächst für geologische Untersuchungen und die Exploration von Mineralvorkommen entwickelt und angewendet (Krige 1951; Matheron 1965, 1971). Sie wurden stetig weiterentwickelt und werden heute in zahlreichen terrestrischen und meereswissenschaftlichen Untersuchungen und Aufgabenfelder eingesetzt.
In der Meeresforschung werden GIS und geostatische Verfahren erst seit relativ kurzer Zeit verwendet. Beispiele sind die Bilanzierung von benthischen Stoffflüssen (Schlüter et al., 1998), Untersuchungen zur Schadstoffverteilung (Poon et al. 2000) oder Kartierungen zur Tiefenlage stratigraphischer Einheiten (Chihi et al. 2000). Regionale Verteilungen von Meeresorganismen wurden u.a. von Harbitz & Lindstrøm (2001) oder Jelinski et al. (2002) untersucht. Lembo et al. (1999) verwendeten geostatistische Verfahren zur Kartierung von „Rose Shrimp" im Tiefenwasser des Thyrrhenischen Meers. González-Gurriarán et al. (1992) und Maynou et al. (1998) untersuchten die Verteilung der "Brachyuran" Speziesverteilung entlang des Galizischen Kontinentalrands.
Im Vergleich zu deterministischen Techniken wie IDW (Inverse Distance Weighting) berücksichtigen geostatistische Verfahren die räumliche Autokorrelation zur Berechung von Schätzwerten. Beim Kriging, das u.a. die Arbeitsschritte 1. Variogrammanalyse und 2. Kriging umfaßt, wird die räumliche Autokorrelation im ersten Arbeitsschritt untersucht. Die daraus resultierenden Kenngrößen wie Aussageweite und Schwellwert sind Grundlage für den zweiten Arbeitsschritt der die Berechnung von Schätzwerten umfaßt anhand deren Verteilungskarten erstellt werden (s.a. Schlüter et al., 1996).
Ein weiterer Informationsgewinn der Variogrammanalyse und des Kriging ist das Aufzeigen von Richtungsabhängigkeiten und die Berechnung von Standardabweichungen, die als sogenannte „standard error maps" visualisiert werden. Weiterhin unterstützen Techniken wie die Kreuzvalidierung die Qualitätskontrolle der Ergebnisse.

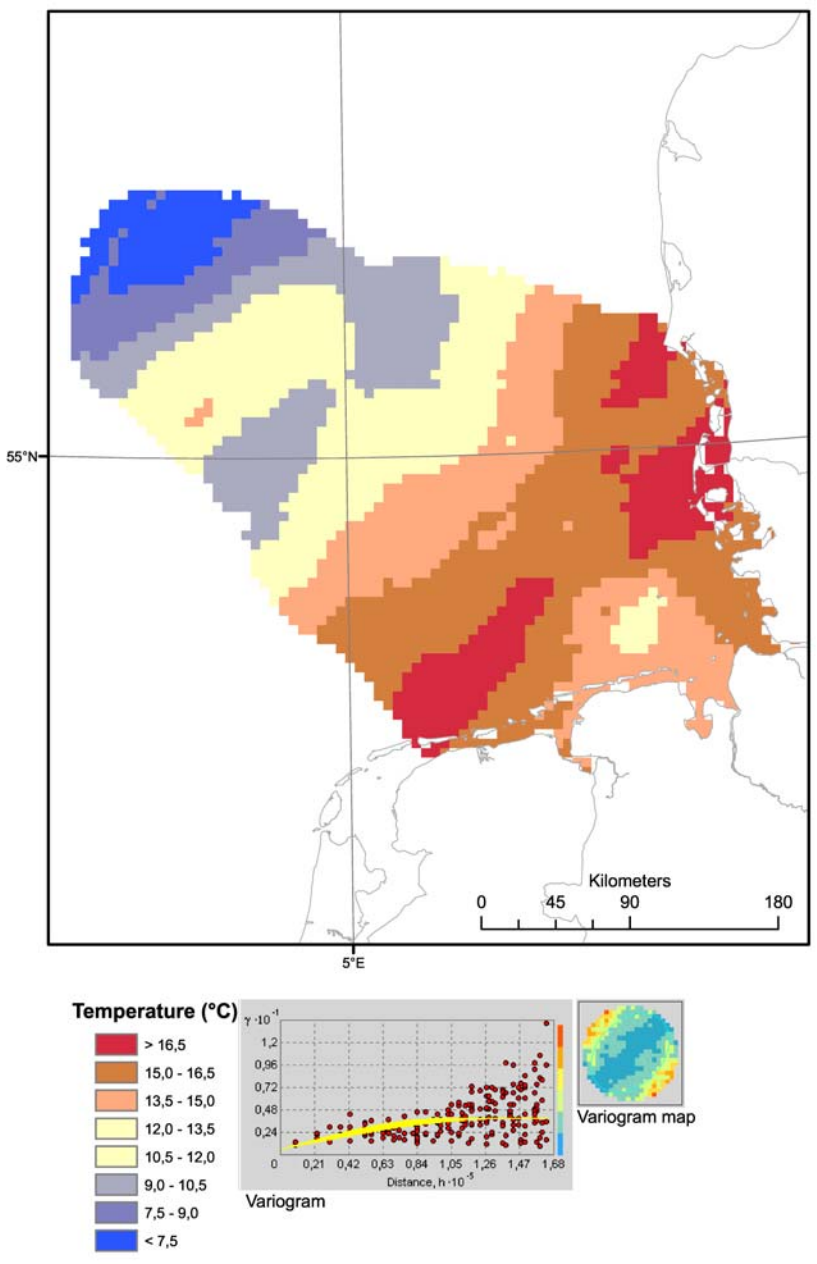


# *GIS gestützte Datenanalyse: Geostatistik (2/2)*

Beispiele für die Ergebnisse der Variogrammanalyse und des Kriging geben die beiden nachfolgenden Karten, die für die AWZ die Temperatur des Bodenwassers im Winter- und Sommerhalbjahr darstellen (Mai bis August 2000 und Januar bis März 1995 – 2000). Im GIS wurde die „Buffer-Technik" verwendet um die Meßwerte, die in der AWZ und einem ca. 40km breiten Umrandungsbereich liegen für die geostatistische Analyse auszuwählen. Dies minimiert Randeffekte.

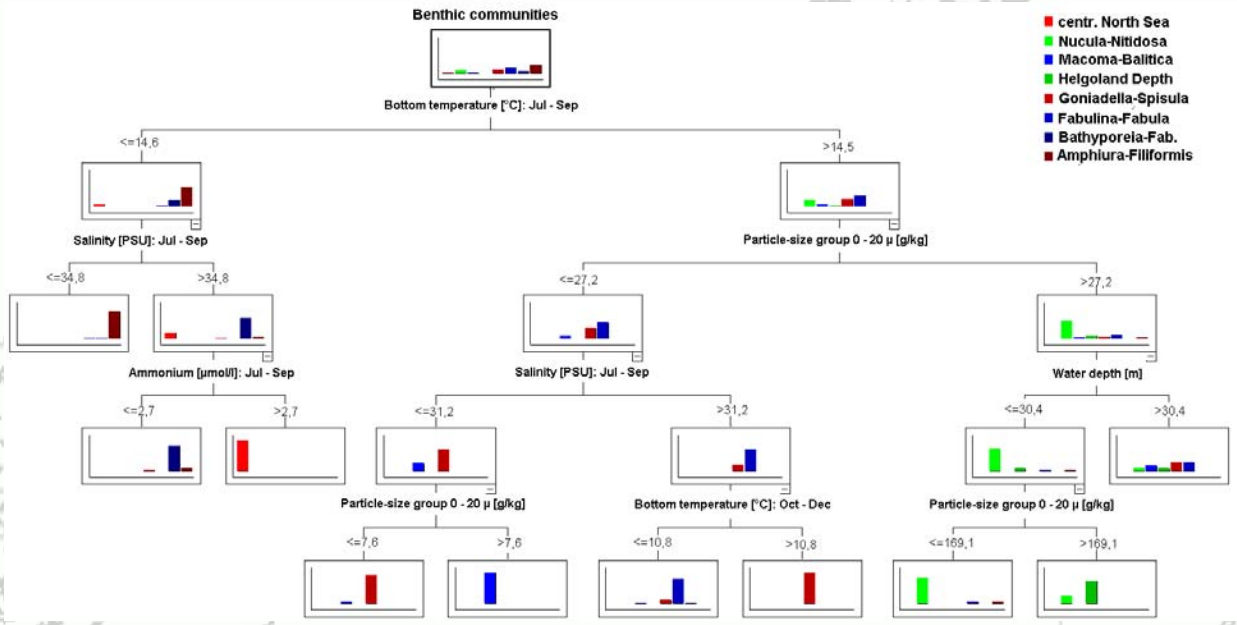
Die Ergebnisse der Variogrammanalyse weisen für beide Zeiträume auf eine ausgeprägte räumliche Autokorrelation hin. Die nahezu küstenparallel ausgerichtet Anisotropie des Variogramms spiegelt die ozeanographischen Verhältnisse wieder. Die für den Zeitraum Mai bis August 2000 berechnete Verteilung zeigt, das mit Ausnahme eines schmalen ca. 13°C aufweisendem Bereichs im inneren der deutschen Bucht, eine kontinuierliche Abnahme der Temperatur von der Küste zum äußeren Bereich der AWZ zu verzeichnen ist.

Estimated Temperature of the Bottom Water (Mai - August 2000)



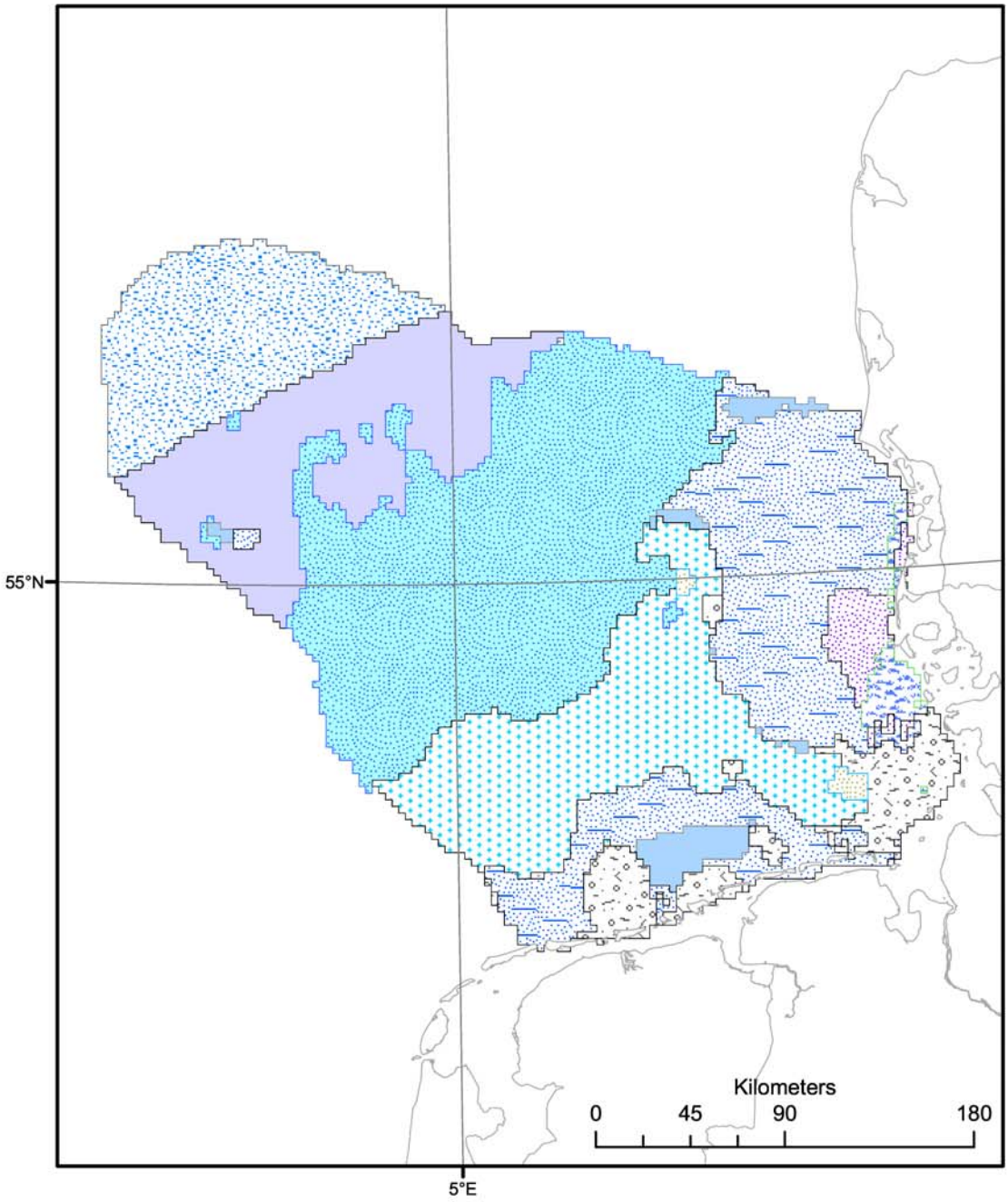
# *Typology Concept: Predictive Mapping of Benthic Habitats*

Together with data on benthic organisms collected at 184 sites within the German Bight, geostatistically estimated raster maps were used to calculate predictive habitat maps for the German Exclusive Economic Zone (EEZ) by means of Classification and Regression Trees (CART). CART is a so called tree-growing algorithm that produces decision trees to predict or classify the outcome of a certain feature (= dependent variable) from a given set of predic-tor variables. The theory of regression trees was developed by Breiman et al. (1984). In the MarGIS project decision trees were calculated to predict the occurrence of benthic communities derived by Rachor and Nehmer (2003) from geostatistically estimated grid data on grain size (0-20 µ, 20-63 µ und 63-2000 µ) as well as on temperature, salinity, silicate, ammonium, nitrate, phosphate and dissolved oxygen. Different decision trees were computed for different sets of predictors and time intervals. The following dendrogram is an example.




Each decision tree starts with one root node containing all observations of the sample. The tree depicts the rules which govern the subdivision of the sample data into subsets or nodes. Each split increase the homogeneity of the subsets with regard to the features of the dependent variable, i.e. the nine benthic communities. The end nodes at best are dominated by one or two communities. Since each end note is defined by a set of decision rules, the tree can be applied to predict the occurrence of benthic communities at places where no such information is available. As this was done for all geostatistically estimated raster cells within the EEZ including a 40 km buffer, predictive habitat maps for benthic organisms could be calculated. Such a map is depicted in the following.

**Predictive Habitat Map for Benthic Communities for the EEZ incl. a 40 km buffer**

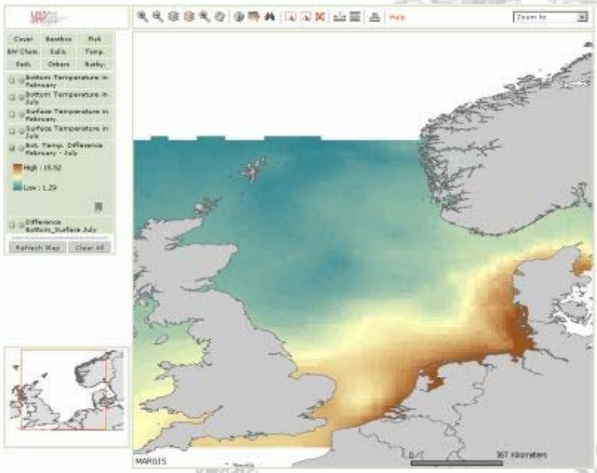



**Benthic Communities**

- Goniadella-Spisula (30 %), Fabulina-fabula (30 %), Macoma-balthica (20 %), Nucula-nitidosa (10 %)
- Helgoland depth (75 %), Nucula-nitidosa (25 %)
- Goniadella-Spisula (93 %)
- Macoma-balthica (100 %)
- Nucula-nitidosa (84 %)
- Goniadella-Spisula (100 %)
- Fabulina-fabula (83 %), Goniadella-Spisula (12,5 %)
- Amphiura-filiformis (89 %)
- Bathyporeia-Fabulina (85 %), Amphiura-filiformis (10 %)
- central North Sea (100 %)

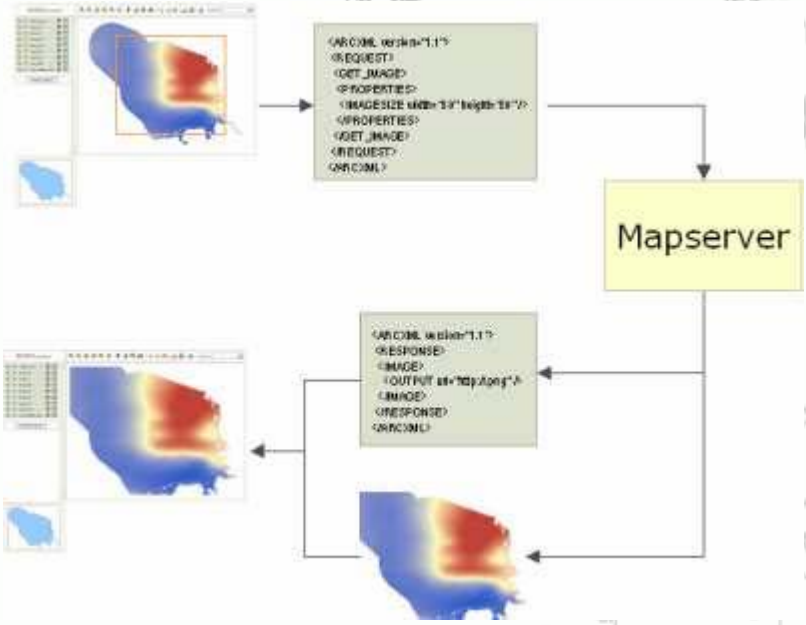
Web Application

To present the results of our work in the internet, a Html-viewer was developed. These viewer enabled the user to view the maps interactively in his browser and includes the following functions: pan, zoom, different queries types, measurement, view layers in different categories, download metadata. The application is based on the mapserver ArcMS.



Mapserver

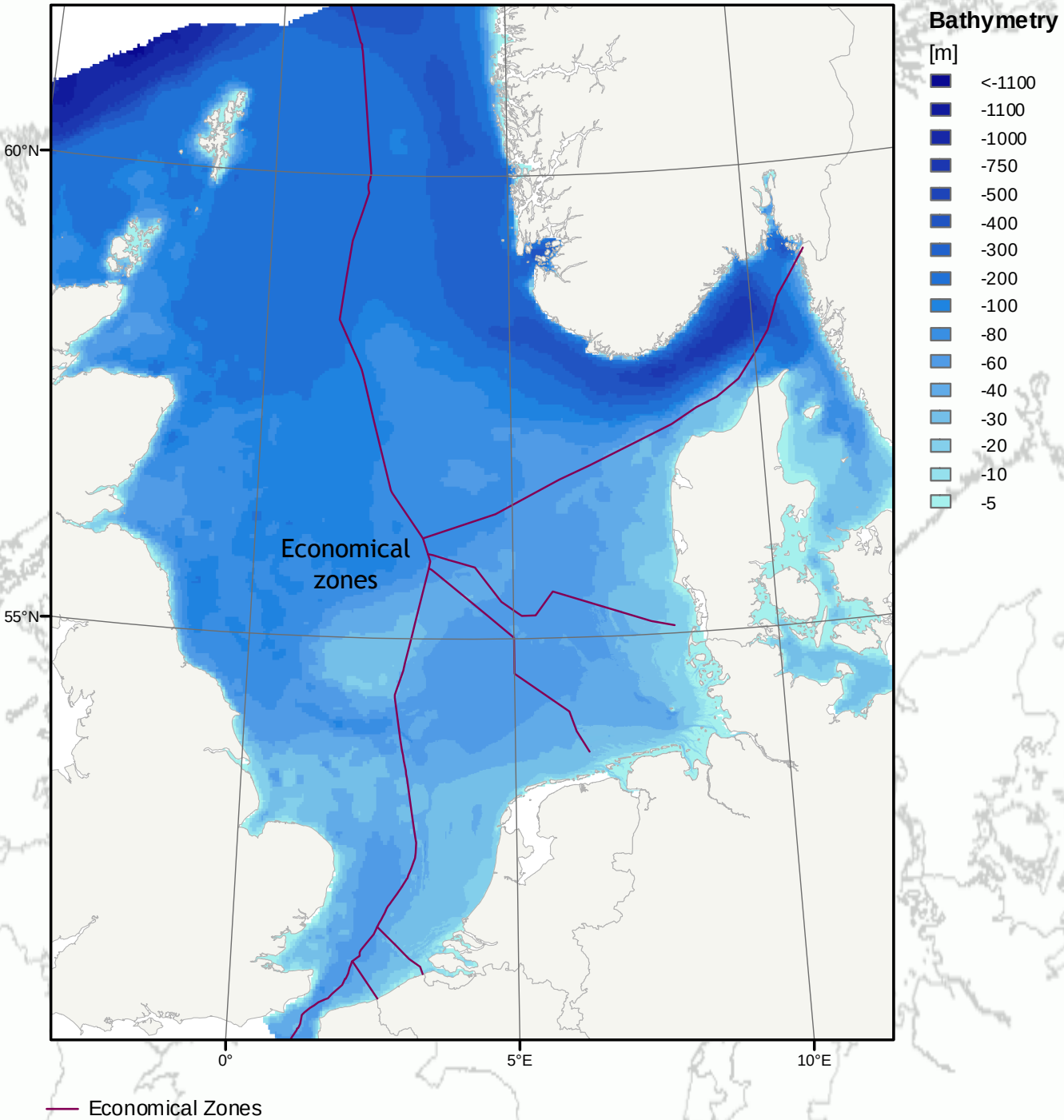
A mapserver is a programme to disseminate maps in the internet. Based on different geodata and inputs of the user, a mapserver creates pixel images or vector data and sends them to the client of the user. Furthermore a mapserver can start different querys on the geodata. The client of the MarGIS Projekt is an HTML-client, who runs in the most modern browsers. The input of the users will be sent to the mapserver by HTML-forms and the response of the mapserver will be analysed and showed by the use of java script. For example, if the user pans the map in the viewer, the coordinates of the new view will be sent to the mapserver. The mapserver creates the image of the new coordinates and saves it on the server.




Than a response with a link to these image will be created and sent to the client by the mapserver. The client analyses the response and replaces the old image in the view by the new one. Creating a query is working on the same way. The user creates a SQL-query in a special forms or a spatial query on the map. The query will be sent to mapserver which uses these on the geodata. The response is sending back to the client, where a java script analyses and displays the data. The client and server communicate via a special XML called AXL. The XML has the advantage that it is easily to process by the java script due to standardisation.

# Bathymetrie und Wirtschaftszonen

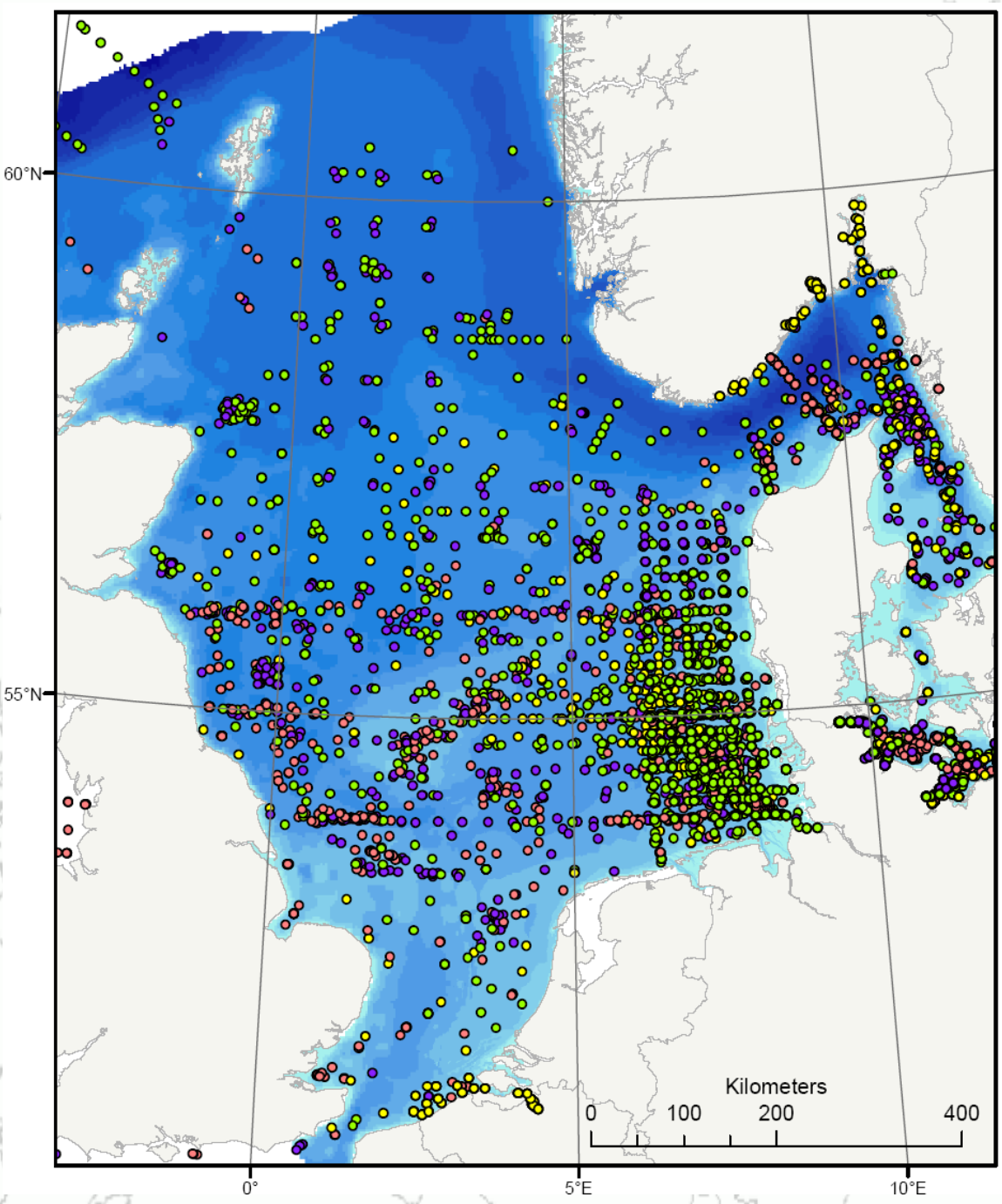
The map shows the bathymetry of the North Sea (more detailed grids from the EEZ and the Dutch Continental Shelf) and the economical zones of the north sea.




Map No.: 1

Data Source: p. 7 Reference No.: 4, 6, 9, 10, 13, 14

# *Dissolved Oxygen in Bottom Water*



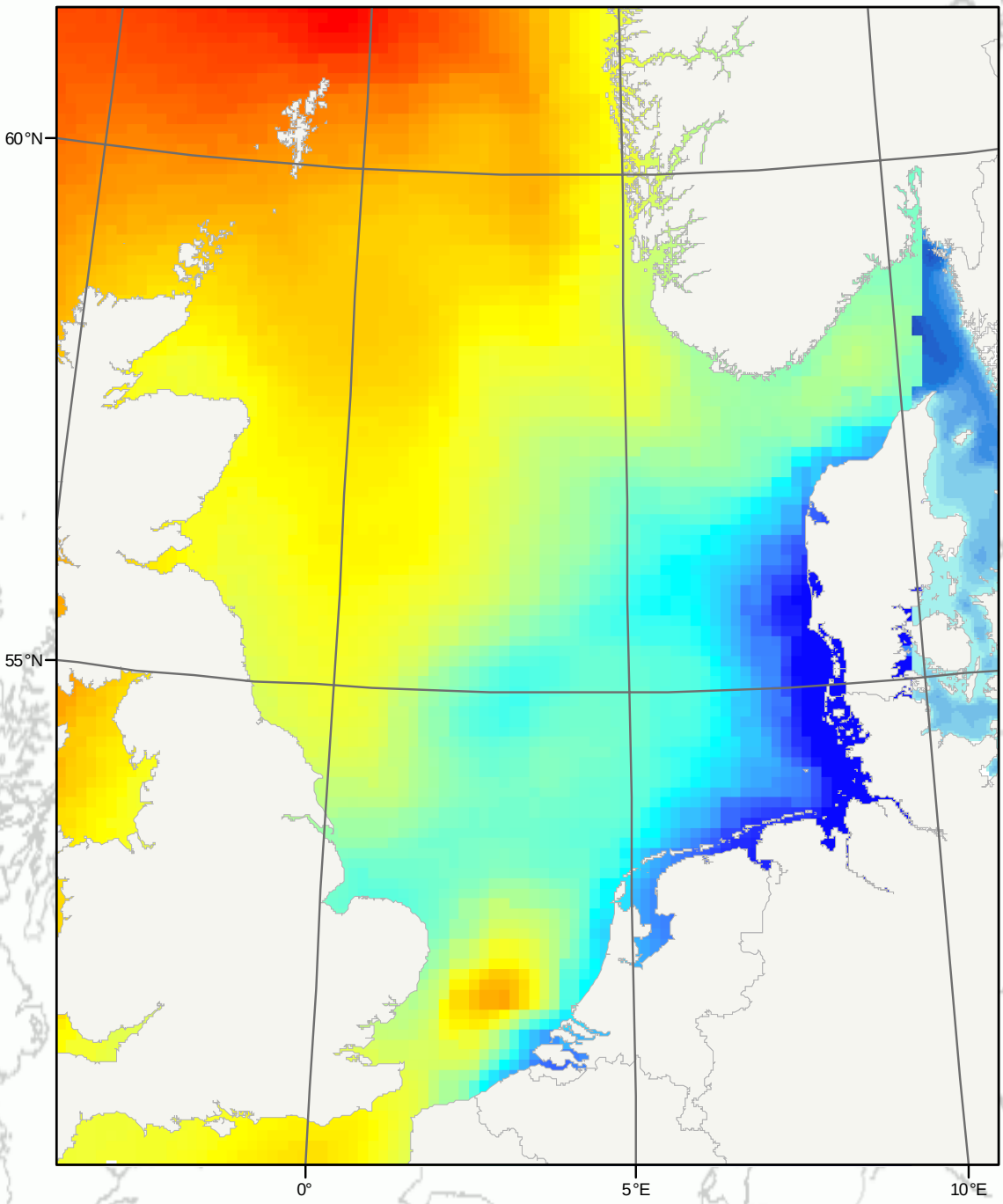

**Month**

- Dec - Feb
- March - May
- June - Aug
- Sept - Nov

The map shows 22241 Dissolved Oxygen measurements from 1982 - 2002 in the North Sea.
Data providers:
2190 measurements from ICES(9), 20051 from Mudab(13)

# *Bottom Water Temperature: February*

The map shows temperature distribution of the North Sea sea floor using average values of the month February during 10 years. Bottom temperature data were interpolated from raw data of ICES (ICES database 1980-1989) to a 10 x 10 km grid. Bottom was defined as any observation in the bottom 10 m layer.

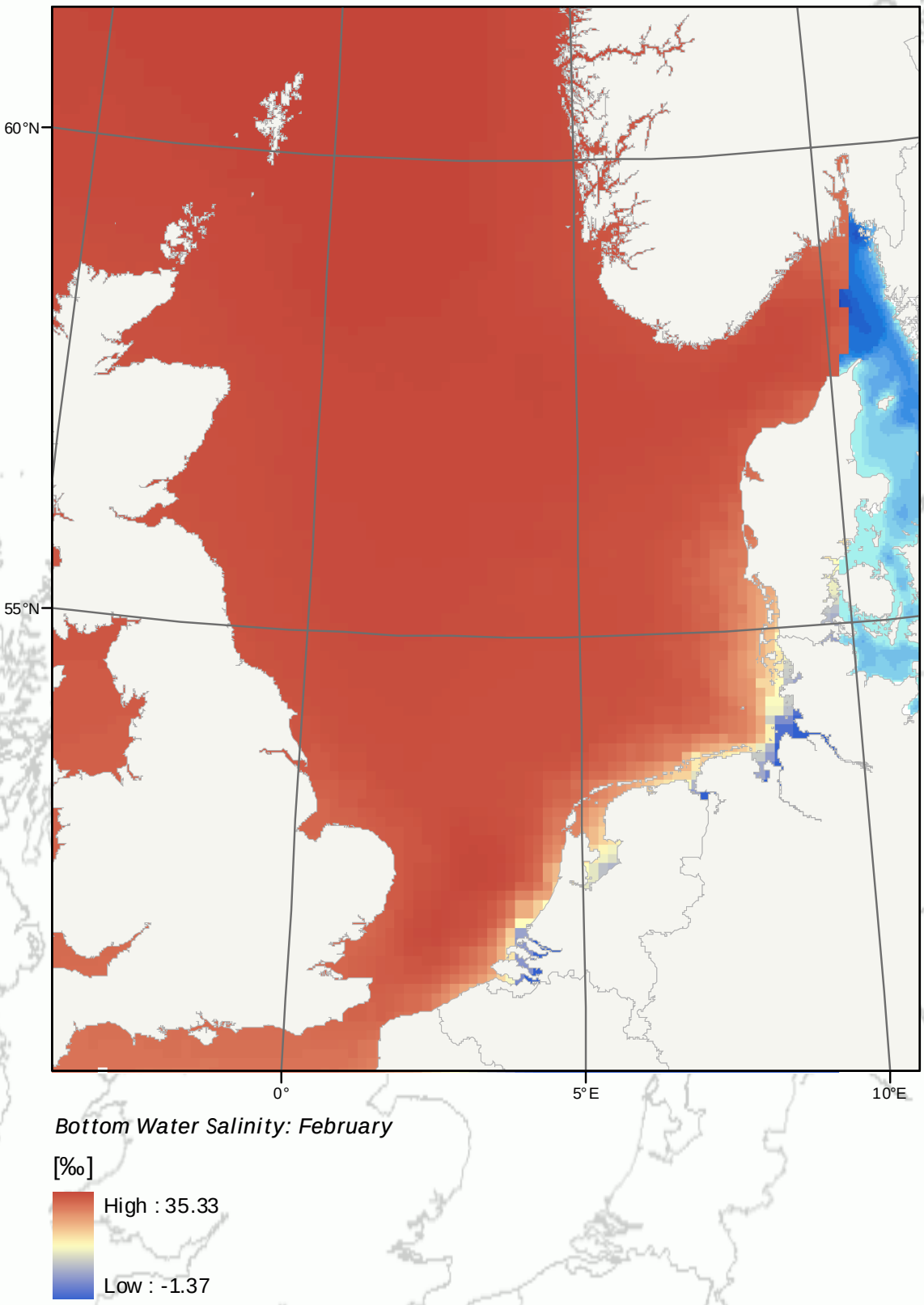



Map No.: 3

Data Source: p. 7 Reference No.: 9

# *Bottom Water Salinity: February*

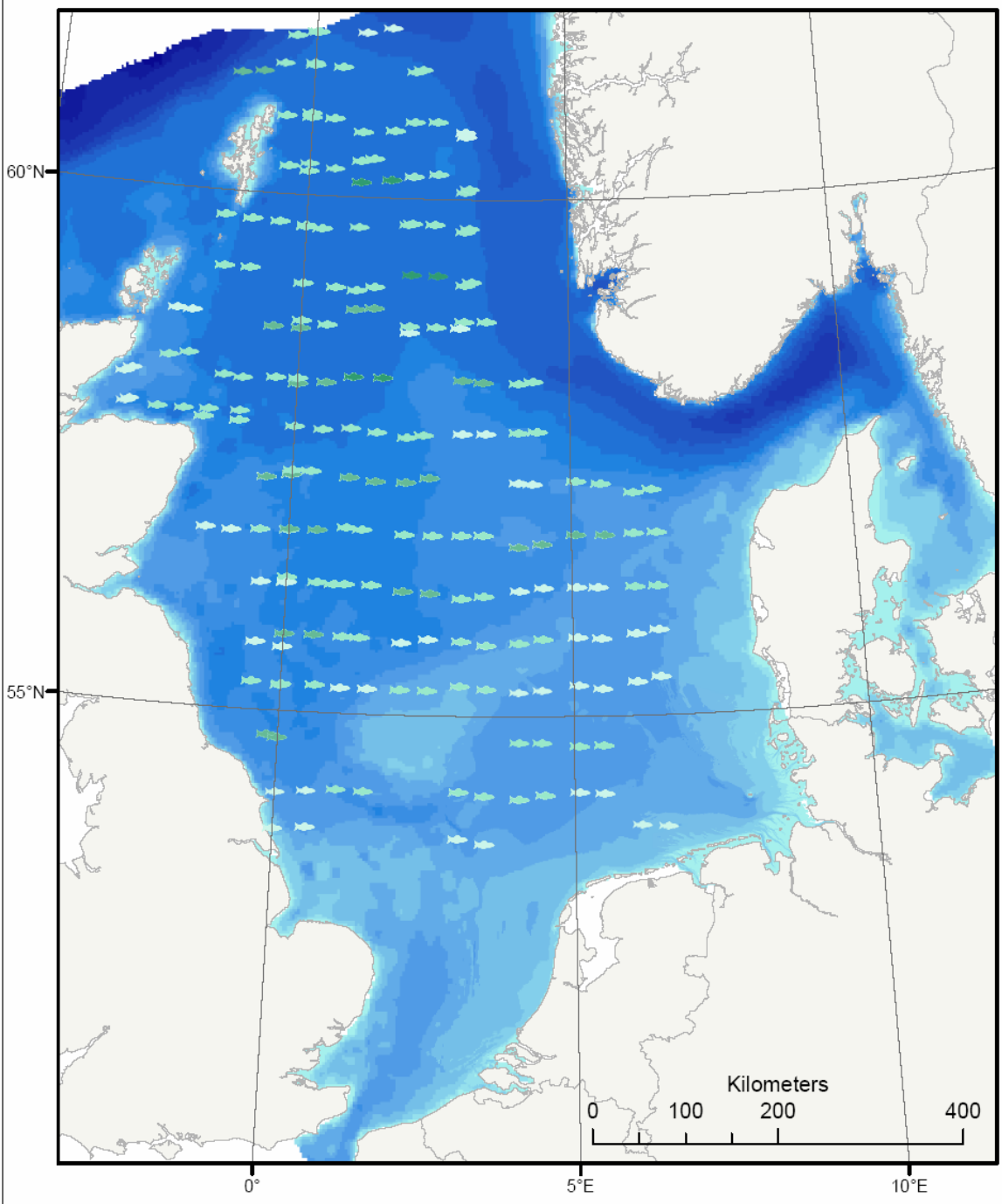
The map shows the salinity distribution of the North Sea at the sea floor using average values of the month February during 10 years. Bottom salinity data were interpolated from raw data of ICES (ICES database 1980-1989) to a 10 x 10 km grid. Bottom was defined as any observation in the bottom 10 m layer.




Map No.: 9

Data Source: p. 7 Reference No.: 9

# Age of the Codfish: 1986




**Alter**

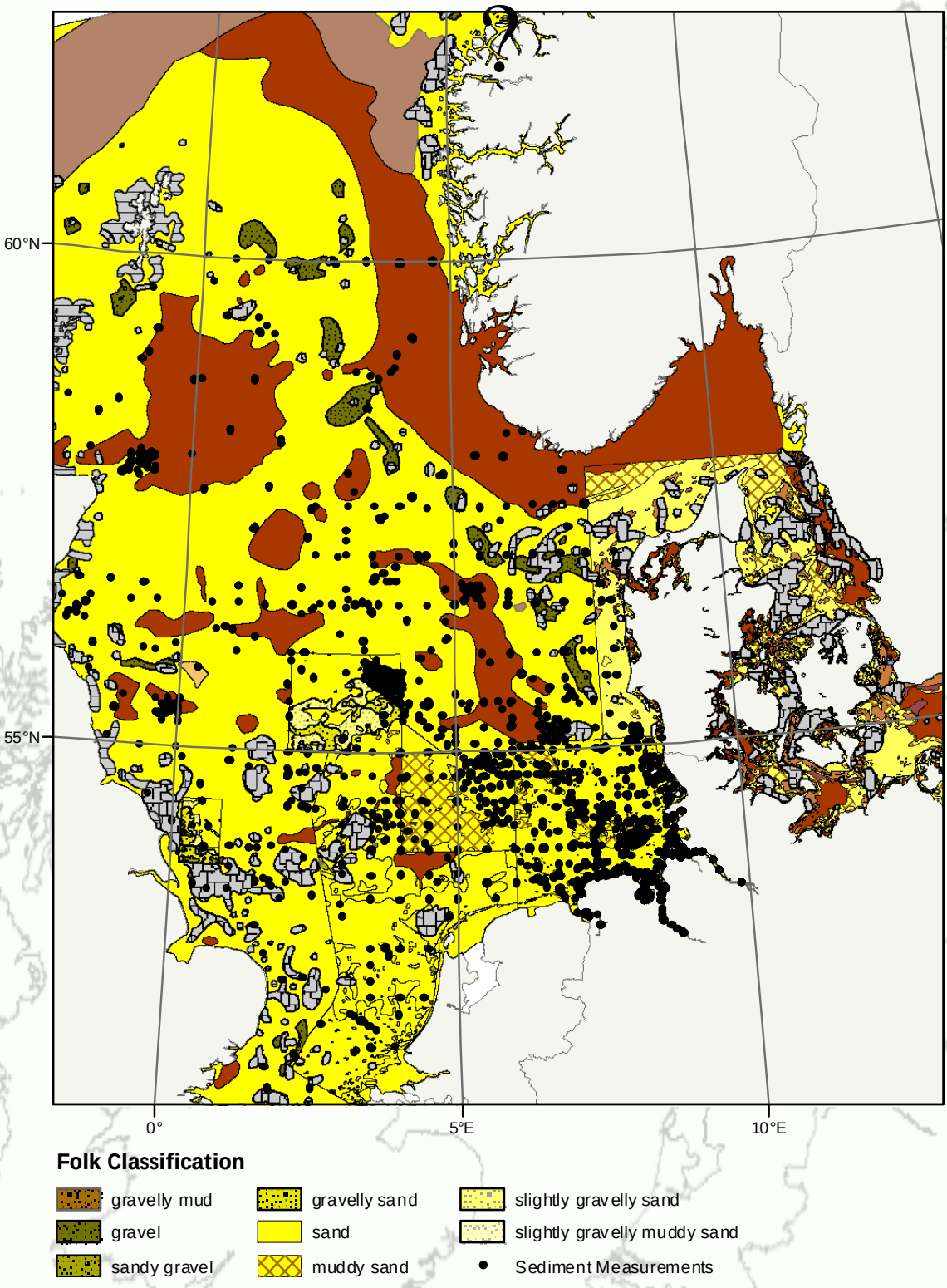
- 1 - 2
- 3 - 6
- 7 - 10
- 11 - 13

This map shows the Age of Codfish (see picture) in the Northsea of the year 1986.
Data provider:
$ISH_{12}$

http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cfm?ID=69&what=species

# *Overview Sediment Maps*

Sediment maps apply different sedimentological classification schemes. Examples are the Folk or Wendworth classification. The different sediment classes applied in the source maps, were converted to the Folk Classification. The source maps were simplified and only main sediment types are shown herein. Specific features as boulders, ripple fields etc. were not included.

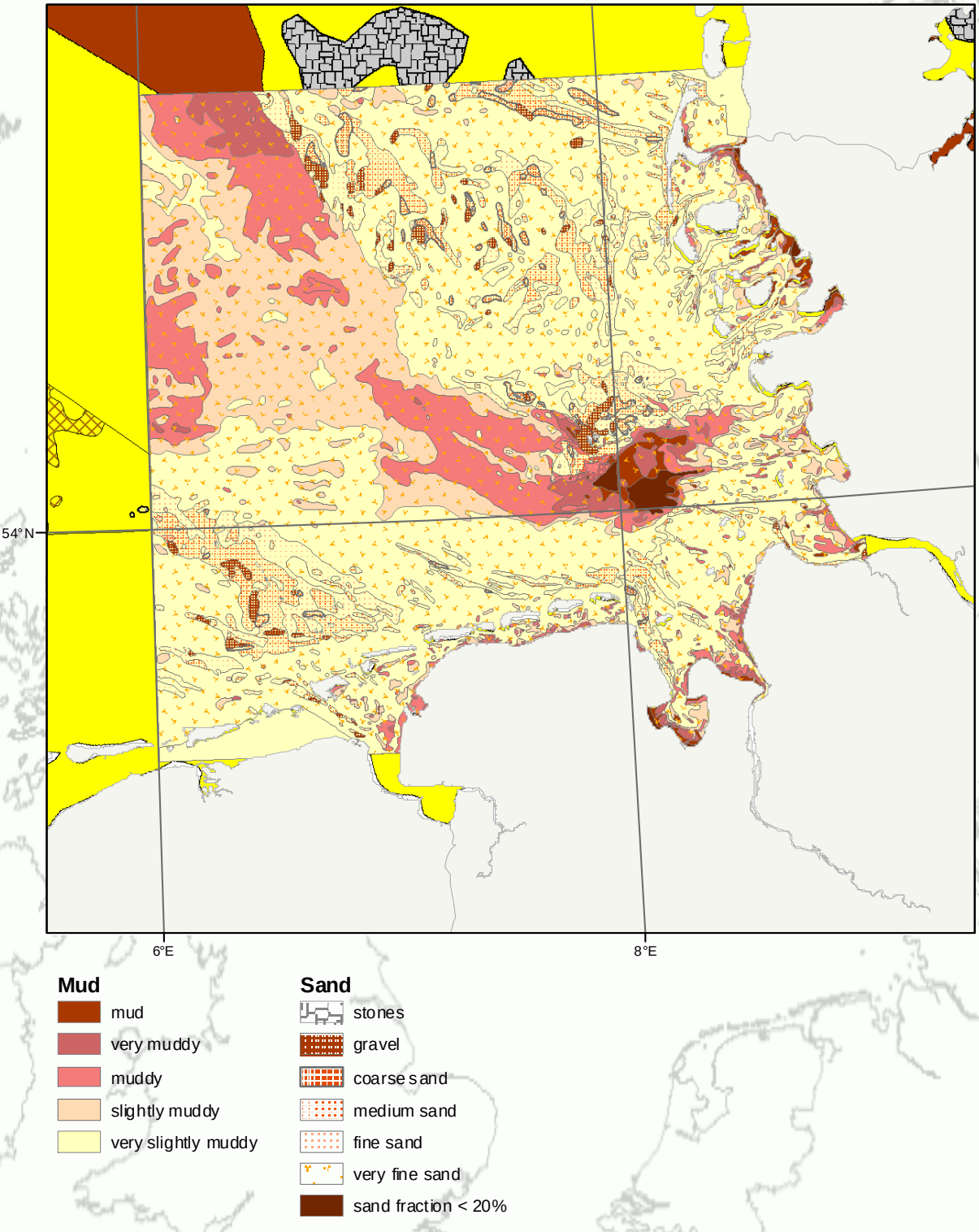



Map No.: 11

Data Source: p. 7 Reference No.:

# *Sediment Map of the German Bight I*

The map consists of the International Quarternary Map and the sediment map of Figge, (1981), MapNo. 2900 of the former German Hydrographic Institute, Hamburg, Germany. The map is a compilation of the sand and mud layer of the Figge map.

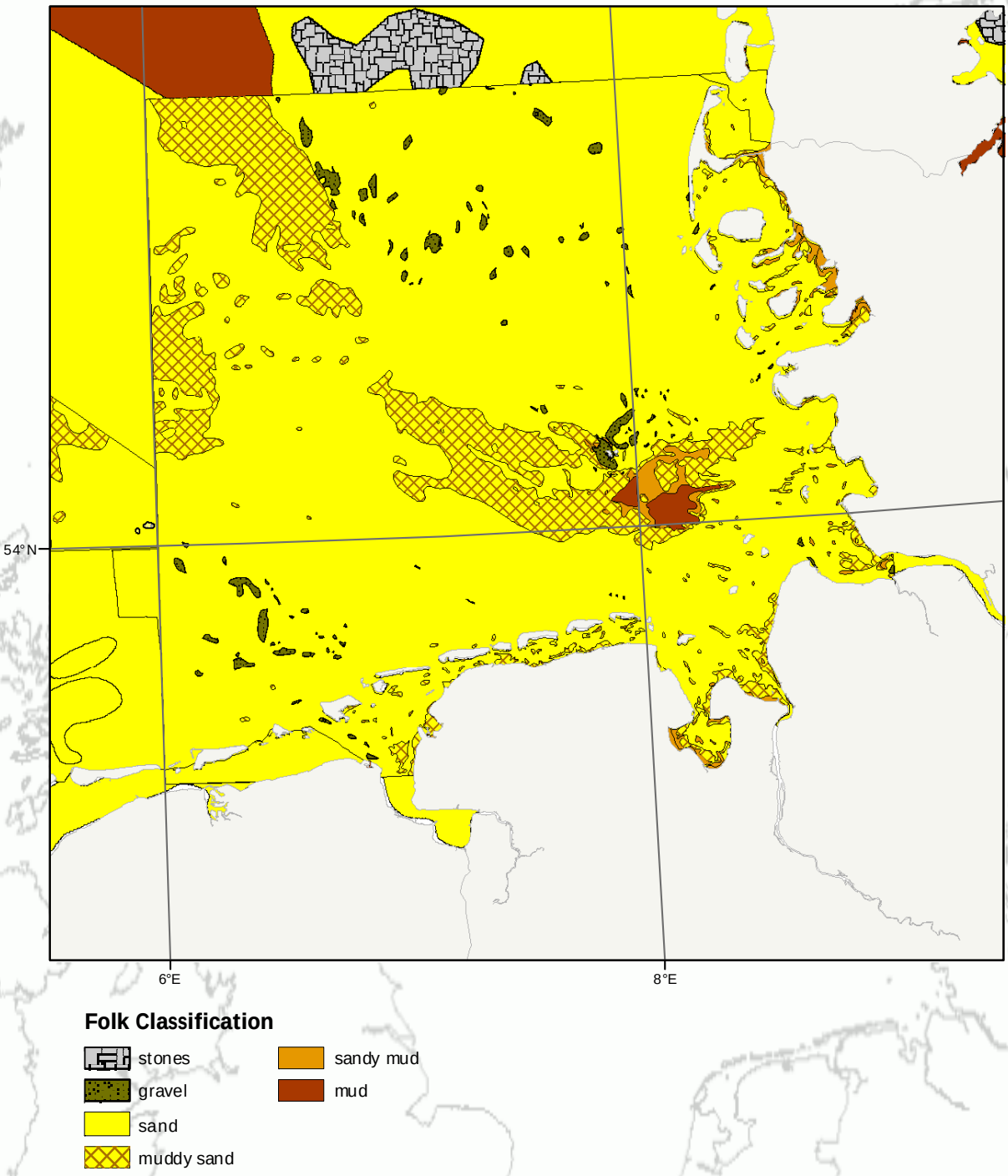



Map No.: 12

Data Source: p. 7 Reference No.: 20

# *Sediment Map of the German Bight II*

Combining the International Quarternary Map and the sediment map of Figge (1981, Map No. 2900 of the former German Hydrographic Institute, Hamburg, Germany) this simplified overview map on the sedimentology of the German Bight was generated. The sand and mud fractions are aggregated according to the Folk Classification.

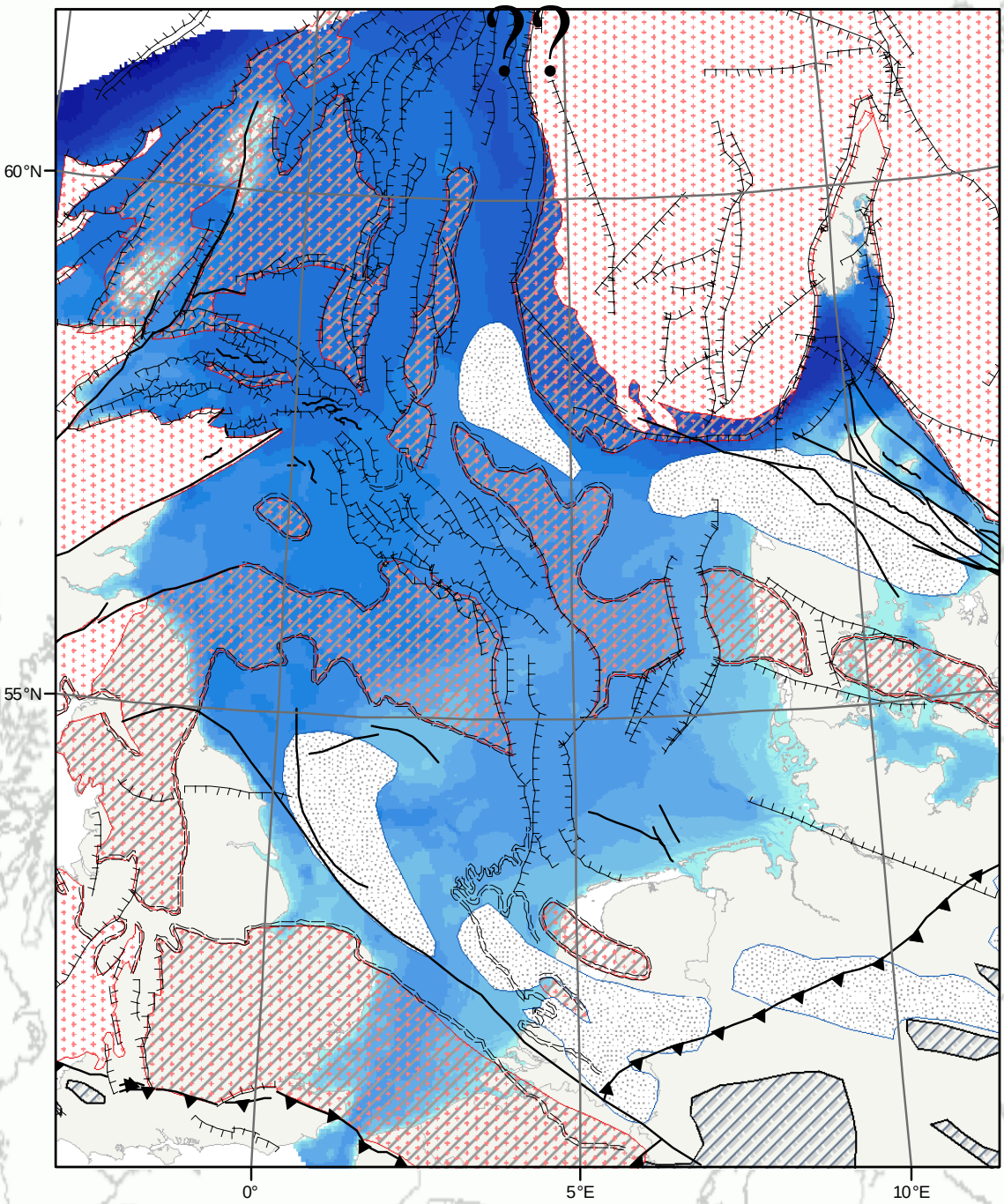



Map No.: 13

Data Source: p. 7 Reference No.: 20

# *Tecto Structures and Morphology*

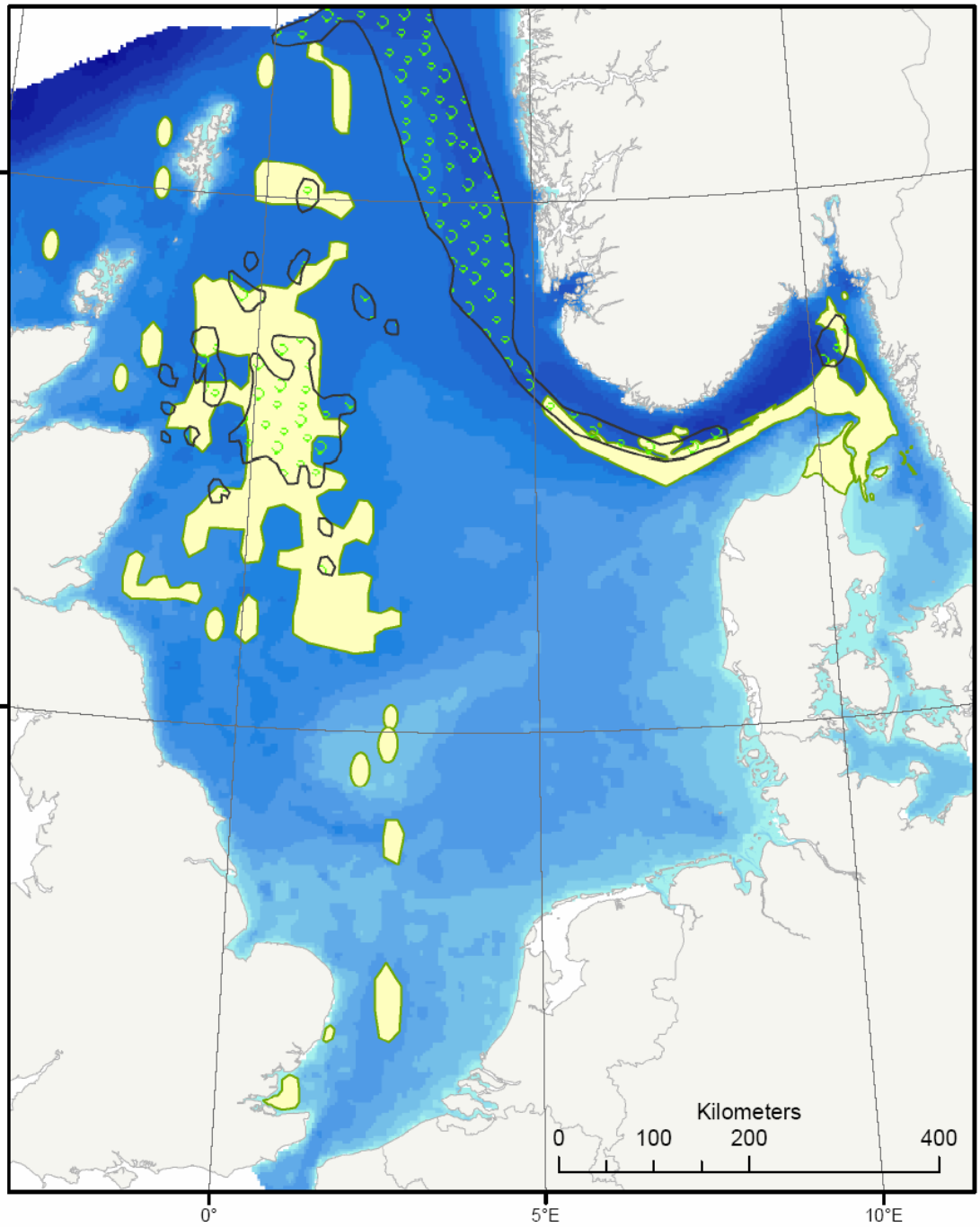
The map shows tectonic structures and morphologies of the North sea… ULRICH




Map No.: 15

Data Source: p. 7 Reference No.:

# Shallow Gas and Pockmark Areas

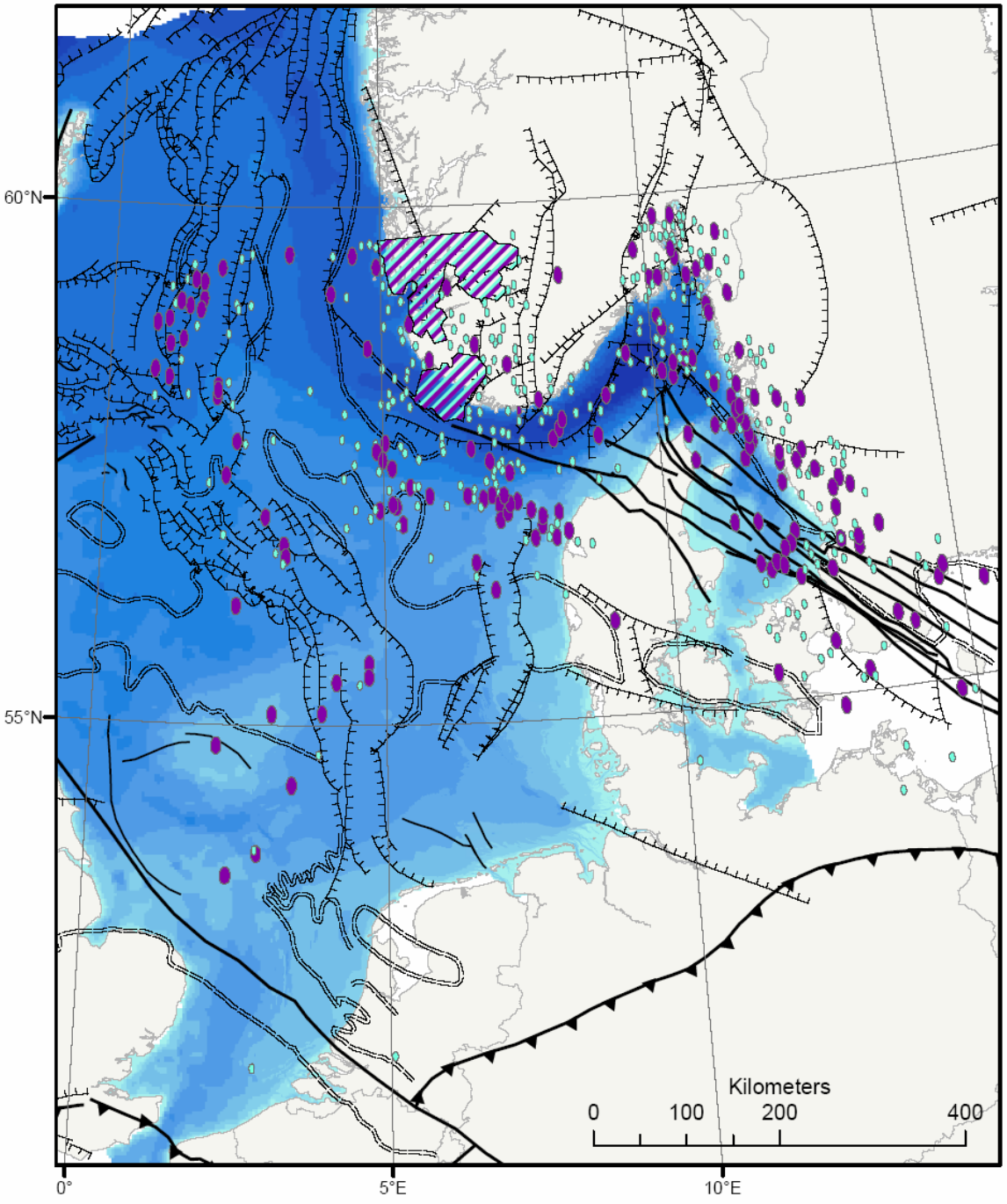



**Areas**

- Shallow Gas
- Pockmarks

The map shows areas where gas accumulation in marine sediments in shallow sediment depths is reported and areas where numerous pockmarks occur in contrast to areas without any occurrence of pockmarks.

# Earthquakes and Tecto Strukture




**Earthquakes**

Magnitude of Epicenters

- < 2,5
- >= 2,5
- High density of epicenters

**Tecto Structures**

- Basin/Slope Margin
- Dip Slip Fault (normal or reverse)
- Fault Trace
- Main Fault
- Variscan Deform. Front

The map shows Epicenters of earthquakes in marine regions of North Europe as detected and reported by several authorities of different countries.
Current Status: Danish and southwestern Norwegian
Region covered

# *MarGIS*

# *Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten*

im Förderschwerpunkt

*Informationssysteme im Erdmanagement:*

*Von Geodaten zu Geodiensten*

(BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien)

FKZ 03F0370B

Teilprojekt:

Flächenhafte Typologisierung des Meeresgrunds

mit Hilfe geostatistischer und multivariat-statistischer Verfahren

Prof. Dr. Winfried Schröder

Dr. Roland Pesch

Dipl.-Geogr. Hendrik Pehlke

Marc Busch

Abschlussbericht

September 2005

Gliederung

Abbildungsverzeichnis ..... 3

Tabellenverzeichnis ..... 3

1 Einführung ..... 5

2 Hintergründe und Zielsetzung ..... 7

3 Bestehende Vorgaben und Forschungsstand ..... 8

3.1 Internationale Aktivitäten ..... 9

3.2 Nationale Aktivitäten ..... 12

4 Aufbereitung der abiotischen Messinformationen ..... 16

5 Geostatistische Berechnung von Seegrundkarten für abiotische Kenngrößen ..... 19

5.1 Methodische Grundlagen ..... 20

5.2 Durchführung ..... 25

5.2.1 AWZ der Nordsee ..... 26

5.2.2 Gesamte Nordsee ..... 30

5.2.3 Westliche Ostsee ..... 31

5.3 Ergebnisse ..... 32

5.3.1 AWZ der Nordsee ..... 33

5.3.2 Gesamte Nordsee ..... 36

5.3.3 Westliche Ostsee ..... 38

6 Statistische Ableitung von Seegrundprovinzen für die Nord- und Ostsee ..... 40

6.1 Methodische Grundlagen ..... 40

6.2 Durchführung ..... 43

6.2.1 CART-Analysen ..... 43

6.2.2 Cluster-Analysen ..... 46

6.3 Ergebnisse ..... 47

6.3.1 Prädiktive Habitatkartierung in der AWZ der Nordsee ..... 47

6.3.2 Prädiktive Habitatkartierung in der Nordsee ..... 51
6.3.3 Abiotische Seegrundtypisierung der Ostsee ..... 55
7 Ausblick ..... 57
Literatur ..... 59

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: MarGIS Datenbankstruktur (Abiotische Daten - Beispiel Temperatur) ..... 17

Abbildung 2: Variogramm-Analyse (angelehnt an Johnston et al. 2001)..... 21

Abbildung 3: Kenngrößen eines Modellvariogramms..... 22

Abbildung 4: Räumliche Abgrenzung der Untersuchungsgebiete ..... 25

Abbildung 5: Methodische Vorgehensweise zur Ableitung benthischer Habitatkarten..... 44

Abbildung 6: Benthische Lebensgemeinschaften in der Nordsee (nach Rachor & Nehmer 2003)..... 45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - AWZ ..... 28

Tabelle 2: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - Nordsee..... 31

Tabelle 3: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - Ostsee..... 32

Abbkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| AWI | Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven |
| AWZ | Ausschließliche Wirtschaftszone |
| BALANCE | Baltic Sea Management |
| BGBL | Bundesgerichtsblatt |
| BSH | Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie |
| CART | Classification and Regression Trees |
| CHARM (1) | Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management |
| CHARM (2) | Characterisation of the Baltic Sea Ecosystems |
| DFNA | Danish Forest and Nature Agency |
| EEA | European Environmental Agency |
| EUNIS | European Nature Information System |
| FFH | Flora-Fauna-Habitat |
| HABMAP | Habitat Mapping for conservation and management of the Southern Irish Sea |
| HELCOM | Helsinki Commision |
| ICES | International Council for the Exploration of the Sea |
| IFAÖ | Institut für Angewandte Ökologie aus Neubrodersdorf |
| IFM | Institut für Meereskunde, Universität Hamburg |
| INK | Internationale Nordseeschutzkonferenz |
| IFREMER | Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer |
| IUW | Institut für Umweltwissenschaften, hochschule Vechta |
| JNCC | Joint Nature Conservation Committee |
| MAREBASSE | Management, Research and Budgeting of Aggregates in Shelf Seas related to End-users |
| MESH | Mapping European Seabed Habitats-Projekt |
| MNCR | Marine Nature Conservation Review |
| MUDAB | Meeresumweltdatenbank |
| NERI | National Environment Research Institute |
| NOVANA | Nationwide Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments |
| OSPAR | Oslo-Paris-Übereinkommen |
| REBENT | Réseau Benthique |
| SAC | Special Areas of Conservation |
| SPA | Special Protected Areas |
| SRU | Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen |
| UBA | Umweltbundesamt |
| VELMU | Finnish Inventory Programme for the Underwater Marine Environment |
| WRRL | Wasserrahmenrichtlinie |

# 1 Einführung

Das Kooperationsprojekt *„MarGIS: Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten"* zielte darauf ab, aus der Kombination von Geo- und Sachdaten, multivariat-statistischen und geostatistischen Verfahren sowie GeoInformationssystemen (GIS) Meeresbodentypen für die Nord- und Ostsee zu identifizieren. Diese Typologisierung (Klassifizierung) des Meeresbodens soll planerische Belange unterstützen, die Nutzbarkeit großer geowissenschaftlicher Datenbestände verbessern und helfen, raum-zeitliche Zusammenhänge und Veränderungen, denen Küstenregionen unterliegen, zu modellieren. Die geplante Ergebnisverwertung hat sowohl die Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen, den Transfer von Konzepten und statistischen Ver-fahren in Behörden und Planungsbüros als auch die Bereitstellung von marinen Sachinformationen für Schüler, Studenten und die interessierte Öffentlichkeit über das Internet zum Ziel.

Das Vorhaben wurde in Kooperation zwischen dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) Bremerhaven (Prof. Dr. Michael Schlüter, Dipl.-Geogr. Kerstin Jerosch – Teilprojekt 1), dem Institut für Umweltwissenschaften (IUW), Hochschule Vechta (Prof. Dr. Winfried Schröder, Dr. Roland Pesch, Dipl. Geogr. Hendrik Pehlke, Marc Busch – Teilprojekt 2) und der Fachhochschule Neubrandenburg (Prof. Dr. Lutz Vetter, Dipl-Ing. Andreas Köberle – Teilprojekt 3) durchgeführt. Auf die Teilprojekte entfielen folgende Aufgabenbereiche:

Teilprojekt 1 (AWI Bremerhaven):

- Recherche und Beschaffung biotischer und abiotischer Sach- und Geodaten für den Bereich der Nord- und Ostsee,
- Bewertung der Datenqualität und Aufbereitung der recherchierten und erhobenen Geodaten im GIS,
- Aufbau eines meereswissenschaftlichen Geo-Informationssystems (GIS),
- Aufbau eines Datenmodells zur Erfassung von biotischen und abiotischen Mess- und Metadaten,
- Integration der Mess- und Metadaten in die daraus resultierende Sachdatenbank sowie
- Interpretation und Bilanzierung räumlicher Verteilungsmuster.

Teilprojekt 2 (IUW Hochschule Vechta) :

- Aufarbeitung der abiotischen Mess- und Metadaten gemäß der zwischen dem AWI und dem IUW abgestimmten Sachdatenbankstruktur,
- Anwendung von geostatistischen Verfahren zur Berechnung von Flächenkarten für ausgewählte biotische und abiotische Messparameter für den Meeresboden der Nord- und Ostsee,

- Beschreibung der Schätzgüte der derart berechneten Flächenkarten mit geeigneten statistischen Maßzahlen,
- Anwendung ausgewählter multivariat-statistischer Verfahren zur flächenhaften, ökologisch ausgerichteten Typologisierung des Meeresbodens der Nord- und Ostsee,
- Berwertung der derart berechneten marinen Habitatklassen vor dem Hintergrund des nationalen und internationalen Forschungsstands sowie
- Diskussion aller vom Teilprojekt 2 erzielten Ergebnisse mit wissenschaftlichen und administrativen Institutionen und Arbeitsgruppen sowie potenziellen Nutzern und wirtschaftlichen Unternehmen. [1]

Teilprojekt 3 (Fachhochschule Neubrandenburg):

- Bereitstellung internetfähiger GIS-Technologien zur Verbreitung der marinen Sach- und Geodaten sowie der vom IUW und dem AWI berechneten Ergebnisse über das Internet,
- Anwendung von im terrestrischen Bereich etablierten landschaftsplanerischen Konzepten auf meereswissenschaftliche Fragestellungen sowie
- Gewährleistung eines effizienten, sachbezogenen Informationsaustauschs mit kleinen und mittelständigen Unternehmen (KMU), Planungsbüros und Behörden.

Der hier vorliegende Endbericht beschreibt die Ergebnisse des Teilvorhabens 2 und widmet sich der ökologisch orientierten Klassifikation des Seegrunds der Nord- und der Ostsee. Gemäß der vom Projektträger gemachten Vorgaben zum Abfassen von Abschlussberichtes (Anlage 2 zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF) wird im ersten Teil des Berichtes kurz auf Vorraussetzungen und Aufgabenstellung des Teilvorhabens Bezug genommen (Kapitel 2). Eine Beschreibung der Planung und der Verzahnung der im MarGIS beteiligten Teilvorhaben erfolgte bereits in diesem Kapitel. Kapitel 3 widmet sich dem wissenschaftlichen Forschungsstand in Form nationaler und internationaler Vorgaben und Vorhaben, so sich diese mit der ökoologischen Klassifizierung des Seegrunds der Nord- und Ostsee befassen. Die Ergebnisse des Teilprojektes inkl. der zu ihrer Erstellung verwendeten methodischen Schritte werden in den Kapiteln 4 bis 6 eingehend erläutert. Dabei wird vorerst Bezug genommen auf die datenbankgerechte Aufarbeitung der vom AWI recherchierten abiotischen Messinformationen (Kapitel 4), gefolgt von einer Beschreibung der dem Projekt durchgeführten geostatistischen Analysen (Kapitel 5). Der ökologischen Seegrundprovinzierung für die Offshore-Bereiche von Ost- und Nordsee widmet sich dann das Kapitel 6. Im Sinne eines Ausblicks werden die Ergebnisse des Teilvorhabens abschließend im Hinblick auf de-

[1] Diese erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem AWI und der Fachhochschule Neubrandenburg.

ren vorraussichtlichen Nutzen und deren Verwendbarkeit kritisch diskutiert (Kapitel 7). Alle im Projektzeitraum berechneten Ergebnisse in Form von Karten, Tabellen und Diagrammen sind dem Anhang zu entnehmen (Anhang A bis C). Dort befindet sich ebenfalls eine Auflistung der abgefassten sowie in Planung befindlichen Veröffentlichungen (Anhang D).

## 2 Hintergründe und Zielsetzung

Hintergründe. Benthische Lebensräume in Nord- und Ostsee werden in immer größerem Ausmaß von anthropogenen Eingriffen wie dem Bergbau, der Baggergutverklappung, der Installation von Pipelines und Kabeltrassen sowie zukünftig auch von Offshore-Windparkanalgen beeinflusst (SRU 2004). Aufgrund dieses hohen anwachsenden Nutzungsdrucks wird die räumliche Erfassung benthischer Habitate[2] als Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten sowie als naturschutzfachliche Berwertungsgrundlage dringend benötigt. Die Bundesrepublik Deutschland ist in internationalen Abkommen dazu verpflichtet, seltene und bedrohte Habitate der Nord- und Ostsee zu ermitteln und nachhaltig zu bewirtschaften. Die wichtigsten Abkommen sind das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen von 1982 (Artikel 194) (BGBL 1994a), die Vereinbarungen zum Programm der Helsinki Commision (Helcom) zur Einrichtung von Schutzgebietsnetzen (Artikel 15) (Helcom 2004), das Oslo-Paris-Übereinkommen (OSPAR) zum Schutz des Nordatlantiks von 1998 (Anhang V, Art. 3) (BGBL 1994b), die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) (Der Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992) sowie die von den Anrainerstaaten der Nordsee, im Rahmen der internationalen Nordseeschutzkonferenz (INK), unterzeichnete Erklärung von Bergen von 2002 (Teil II) (INK 2002).

Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten jeder Art sind Klassifikationssysteme, nach denen der jeweilige Untersuchungsraum in Lebensraumtypen oder Habitatklassen aufgeteilt werden kann. Innerhalb einiger der genannten internationalen Abkommen werden diesbezügliche Vorgaben gemacht bzw. auf bereits bestehende oder sich in Entwicklung befindliche Klassifikationsysteme hingewiesen. So verweist die Erklärung von Bergen von 2002 auf das von der Europäischen Umweltagentur (European Environmental Agency - EEA) entwickelte Klassifikationssystem EUNIS (European Nature Information System). EUNIS ist ein hierarchisch aufgebautes Klassifikationsverfahren zur biologischen Typisierung terrestrischer und mariner Lebensräume und soll es den Mitgliedstaaten der Europäischen Union er-

[2] Es existieren unterschiedliche Definitionen des Begriffs Habitat. Im Folgenden wird ein Habitat verstanden als "[a] recognisable space which can be distinguished by its abiotic characteristics and associated biological assemblage, operating at particular spatial and temporal scales" (ICES 2005).

möglichen, flächendeckende Habitatkartierungen in eigener Zuständigkeit, jedoch nach einheitlichen Kriterien durchzuführen. Das EUNIS-Modell macht konkrete Vorgaben hinsichtlich der abiotischen und biotischen Rahmenbedingungen, nach denen ein Habitat zu klassifizieren ist, berücksichtigt dabei aber nur z.T. die dafür zur Verfügung stehende Datenlage.

Zielsetzung. Wie EUNIS zielte auch das MarGIS-Projekt auf die ökologische Klassifizierung des Seegrunds ab. Nur sollte hier ein Ansatz verfolgt werden, der auf verfügbaren digitalen Geoinformationen aufbaut. Ziel war es, ökologische Seegrundprovinzen oder Meeresbodentypen für die Offshore-Bereiche der Nord- und Ostsee unter Berücksichtigung der vom AWI beschafften biotischen und abiotischen Daten abzuleiten. Die dabei vorgesehene Methodik beruht ausschließlich auf objektiven statistischen Verfahren und umfasst

(1) den Einsatz von geostatistischen Verfahren zur Berechnung von Flächenkarten für die bodennahe Wasserschicht und den Seegrund der Nord- und Ostsee hinsichtlich biologisch bedeutsamer abiotischer Standortfaktoren sowie
(2) die Verwendung von multivariaten Cluster-Analysen und Entscheidungsbaumverfahren zur statstisch begründeten Ableitung von benthischen Habitattypen oder ökologischen Seegrundprovinzen. Hierbei sollen die unter (1) berechneten Rasterkarten Berücksichtigung finden.

Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund aktueller Bemühungen um marine Lebensraumkartierungen in der Nord- und Ostsee erläutert werden. Daher soll im folgenden Kapitel vorerst ein Überblick über den diesbezüglichen Forschungsstand gegeben werden.

## 3 Bestehende Vorgaben und Forschungsstand

Sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene gibt es zahlreiche nationale und internationale Aktivitäten zur Abgrenzung und Kartierung mariner (benthischer) Lebensräume der Nord- und der Ostsee. Im Folgenden werden nur die wichtigsten der damit in Verbindung stehenden, v.a. die Offshore-Bereiche betreffenden, Projekte aufgeführt. Eine detaillierte Darstellung der v.a. für die Nordsee zutreffenden Aktivitäten findet sich bei Busch (2005).

### *3.1 Internationale Aktivitäten*

EU-Wasserrahmenrichtlinie[3]. Die am 22. Dezember 2000 in Kraft getretende EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zielt darauf ab, den Mitgliedsländern der EU Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne zur Verfügung zu stellen, mit denen der Zustand europäischer Oberflächengewässer verbessert, geschützt oder saniert werden kann. Für die Umsetzung dieser Maßnahmen wurde von der EU ein zeitlicher Ablaufplan erstellt, der beinhaltet, dass bis März 2005 eine Bestandsaufnahme und Typisierung aller Gewässer durchgeführt werden sollte. Gemäß des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen bezieht sich die WRRL streng genommen nicht mehr auf die Offshore-Bereiche von Nord- und Ostsee. Allerdings liefert sie Vorgaben zur Typologisierung aquatischer, auch benthischer, Lebensräume und wird daher an dieser Stelle genannt.

FFH-Richtlinie[4]. Mit Wirkung vom 21. Mai 1992 verpflichtet die FFH-Richtlinie alle Mitgliedstaaten der EU zur Errichtung eines zusammenhängenden europäischen Netzes von Schutzgebieten (Der Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992). Diese Special Areas of Conservation (SAC) bilden zusammen mit den Vogelschutzgebieten gemäß der EU-Vogelschutzrichtlinie (Vogelschutzrichtlinie, 79/409/EWG vom 2. April 1979), den Special Protected Areas (SPA), das Schutzgebietssystem NATURA 2000. Zwar stellt die FFH-Richtlinie kein Habitatklassifikationssystem im engeren Sinne zur Verfügung, jedoch werden konkrete Angaben zu besonders schützenswertenden Arten und Lebensräumen gemacht, für deren Erhalt Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen. Die FFH-Richtlinie wurde in einigen europäischen Staaten bereits erfolgreich umgesetzt. In Deutschland erfolgte bislang die Meldung von 10 marinen NATURA 2000 Gebieten. Dies entspricht ca. 31 % der deutschen AWZ.

EUNIS[5]. Im Rahmen des von der EEA veröffentlichten, auch über das Internet zugängigen Informationssystems EUNIS (s. Kapitel 2) werden digitale Informationen zur terrestrischen und marinen Flora und Fauna Europas zur Verfügung gestellt. Auf der Grundlage dieser Daten wurde ein umfassendes, hierarchisch strukturuertes Klassifikationsverfahren entwickelt, um ausgehend von biotischen und abiotischen Standortfaktoren Habitate auf europäischer Ebene auszuweisen (Davies & Moss 1999, 2000, 2002a, 2002b; Davies et. al 2004). Das übergreifende Ziel dieses Klassifikationsschemas ist die europaweite Harmonisierung der Vorgehensweise bei der Habitatkartierung. Gemäß der Erklärung von Bergen 2002 soll das EUNIS-Verfahren in allen Anrainerstaaten der Nordsee eingesetzt werden. Aktuell

---

[3] http://www.europa.eu.int/comm/environment/water/

[4] http://europa.eu.int/comm/environment/nature/nature_conservation/eu_nature_legislation/habitats_directive/index_en.htm

[5] http://eunis.eea.eu.int

wird es in einem nationalem Forschungsprojekt in Norwegen und in dem Mapping European Seabed Habitats-Projekt (MESH) (s.u.) auf bestehende und zu erweiternde digitale Datengrundlagen angewendet und getestet.

OSPAR[6]. Im Juni 2003 wurde von den Mitgliedstaaten des OSPAR-Übereinkommens beschlossen, bis zum Jahr 2010 ein marines Schutzgebietsnetz mit Namen OSPAR Network of Marine Protected Areas (MPAs) einzurichten (OSPAR 2004a; 2005). Zu den Mitgliedsstaaten zählen Belgien, Deutschland, Dänemark, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Island, Luxemburg, Norwegen, Niederlande, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz und die Europäische Union. Im Rahmen dieses Netzwerks hat der OSPAR-Ausschuss für Biodiversität (BDC) auf Basis einer Liste über gefährdete Arten in Zusammenarbeit mit der EEA und dem Internationalen Rat für Meeresforschung (International Council for the Exploration of the Sea - ICES) im Jahr 2004 eine eigene Habitatklassifikation entwickelt. Diese setzt sich aus insgesamt 14 Lebensraumklassen über gefährdete bzw. prioritäre Arten zusammen. Der Schwerpunkt dieser Klassifikation liegt dabei auf benthischen Lebensräumen. Ausführliche Beschreibungen der jeweiligen Habitattypen sowie Hinweise zu der Kompatibilität des Klassifikationsmodells mit dem EUNIS-Ansatz werden in OSPAR (2004b) gegeben.

MESH[7]. Mapping European Seabed Habitats (MESH) ist ein seit Mai 2004 laufendes internationales Programm zur Kartierung mariner Meeresbodenhabitate. Es wird koordiniert und geleitet vom Joint Nature Conservation Committee (JNCC), zusammengesetzt aus Vertretern von Naturschutzbehörden aus England, Wales, Schottland und Irland. Weiterhin nehmen Frankreich, Belgien und die Niederlande an dem Vorhaben teil. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich auf die Ausschließlichen Wirtschaftszonen und Küstengewässer der teilnehmenden Nationen. Das übergreifende Ziel des MESH-Vorhabens ist die Erstellung von flächenhaften Habitatkarten des Meeresbodens für Nordwesteuropa. Genau wie im MarGIS-Projekt sollen diese Karten über webfähige GIS-Applikationen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Besondere Berücksichtigung finden sollen dabei die bestehenden, europaweit geltenden Klassifikationsansätze der EU, so vor allem EUNIS und die Habitattypenvorgaben gemäß FFH-Richtlinie.

CHARM(1)[8]. Unter Leitung des IFREMER-Instituts wird zusammen mit dem Durrell Institute of Conservation and Ecology (DICE) der Universität Kent (England) seit dem Jahr 2003 ein EU-INTERREG IIIb

---

[6] http://www.ospar.org

[7] http://www.searchmesh.net

[8] http://charm.canterbury.ac.uk/index.htm

Programm namnens CHARM (Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management) durchgeführt. Anhand von Daten über bedeutende Lebensräume und Arten sowie der dort vorherrschenden ökologischen Standortverhältnisse (Bathymetrie, Sedimente, Salinität, Bodentemperatur u.a.) soll in diesem Projekt für den östlichen Ärmelkanal ein Habitatatlas für das Management mariner Ressourcen herausgebracht werden (ICES 2004). Dieser soll als Bewertungsgrundlage für wirtschaftliche Nutzungsansprüche im Untersuchungsgebiet eingesetzt werden. Die Vorgehensweise bei der Habitatklassifikation lehnt sich an EUNIS an.

CHARM(2)[9]. Das von von der Europäischen Kommission geförderte Projekt CHARM (Characterisation of the Baltic Sea Ecosystems) zielte darauf ab, eine ökologische Typologisierung der Küstengewässer der Ostsee mit Hilfe biotischer und abiotischer Daten durchzuführen (Schernewski & Wielgat 2004). Zwischen 2002 und 2005 beteiligten sich Forschungsanstalten der Anrainerstaaten der Ostsee (bis auf Russland) an diesem Projekt. Übergreifendes Ziel war es, mit Hilfe der derart generierten Küstengewässertypen Empfehlungen über Bezugszustände und Überwachungstrategien im Sinne der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie auszusprechen. Allerdings wurden im Projekt nicht nur die Küstenregionen berücksichtigt, sondern auch die küstenfernen Offshore-Bereiche. Am Ende des Projektzeitraums wurde somit eine grenzüberschreitende, die gesamte Ostsee umfassende Typolgierung der Ostsee präsentiert (Schrenewski & Wielgalt 2004). Im Gegensatz zu den Zielen des MarGIS-Projektes wurden der gesamte Wasserkörper und nicht ausschließlich die untere Wassersäule bzw. der daran angerenzende Seegrund in die Typologisierung einbezogen.

HELCOM[10]. Durch die Helsinki Commission (HELCOM) wurde 1998 eine für die Biotope der Ostseeregion geltende Liste gefährdeter Pflanzen- und Tierarten herausgegeben, die den Anrainerstaaten als Leitfaden zur Einrichtung von Schutzgebieten zur Verfügung gestelt werden wurde (HELCOM 1998). Allerdings beschränkt sich diese Liste (noch) weitestgehend auf Arten, die in den küstennahen Abschnitten der Ostsee vorkommen. Bezüglich der küstenfernen Offshore-Bereiche wird nur auf den oberen Teil der Wassersäule ('diving depth') Bezug genommen (HELCOM 2003).

BALANCE[11]. In dem kommenden Jahren sollen in dem Interreg-III-Projekt BALANCE (Baltic Sea Management) digitale Karten über marine Landschaften und Habitate der Ostsee für die räumliche Planung entwickelt und bereitgestellt werden. U.a. sollen dazu für vier ausgewählte Pilotgebiete (Nördlicher

---

[9] http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_vand/4_Charm/charm_main.htm

[10] http://www.helcom.fi/

[11] http://geus.net/balance

Kattegat, Bornholm Tiefe, Alandinseln und der Golf von Riga) flächenhafte, auch benthische Habitatkarten erstellt werden. Insgesamt sollen sich an diesem Vorhaben rund 20 Partner aus 10 verschiedenen Ländern beteiligen. Die Leitung wird von der Danish Forest and Nature Agency (DFNA) übernommen.

### *3.2 Nationale Aktivitäten*

Großbritannien. Mit dem JNCC legte Großbritannien bereits 1987 den Grundstein für den marinen Habitatschutz in Form eines umfangreichen Untersuchungsprogramms britischer Küstengewässer namens Marine Nature Conservation Review (MNCR[12]). Ziel dieser Studie war es, Basisinformationen über die Existenz, die Beschaffenheit und den Zustand mariner Habitate und Arten zu beschaffen, um so wertvolle, v.a. benthische Lebensräume für die Zukunft zu sichern und Managementverfahren für deren Nutzung abzuleiten. Das Ergebnis war eine auf die Küstenbereiche Großbritanniens bezogene Biotopklassifikation, die 1997 in zwei Bänden publiziert wurde (Connor et al., 1997 a, b).

In Anlehnung an MNCR wurde im Jahre 1992 unter Leitung des JNCC das Projekt BioMar gestartet, das seit 1997 als 'The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland' weitergeführt wurde (Connor et al. 2004). Aufbauend auf den Ergebnissen des MNCR sollten im BioMar-Projekt marine Habitate abgeleitet werden. Die diesbezüglichen Erkenntnisse stellen das wissenschaftliche Grundgerüst der marinen EUNIS-Habitatklassifikation dar und sind über das internetbasierte Informationssystems MEARMAID (Marine Environmental Resource Mapping and Information[13]) abrufbar.

Von 2002 bis 2004 wurde wiederum unter Leitung des JNCC das sogenannte 'Irish Sea Pilot' Projekt durchgeführt (Joint Nature Conservation Committee 2004). Ziel des Projekts war es, anhand eines Pilotgebietes in der Irischen See Strategien für den marinen Umweltschutz zu testen und weiterzuentwickeln. Aus dem Projekt ging zahlreiches Kartenmaterial hervor (z.B. über die Bathymetrie, die Sedimentzusammensetzung, die Salinitäts- und Temperaturverhältnisse sowie über Benthosgemeinschaften). In dem Projekt wurde weiterhin das Konzept 'Marine Landscapes' angewendet, das ursprünglich von Roff & Taylor (2000) für marine Gewässer in Kanada entwickelt wurde. Im Sinne einer prädiktiven Habitatkartierung zielt 'Marine Landscapes' darauf ab, aus geophysikalischen und hydrographischen Informationen pelagische und benthische Habitattypen abzuleiten, ohne dass biologische Daten erhoben werden müssen (Golding et al. 2004). Da die im Irish Sea Pilot Prokt ermittelten Habitatklassen nicht

---

[12] http://www.jncc.gov.uk/page-1596

[13] http://www.jncc.gov.uk/mermaid

ohne weiteres auf andere Gewässer übertragen werden konnten, wurde 2004 ein 18-monatiges Anschlussprogramm namens 'Broadscale Mapping of the Seas around the UK' begonnen (ICES 2005).

Irland. Seit 1999 wird im Irish National Seabed Survey (INSS[14]) die gesamte Offshore-Topographie der Ausschließlichen Wirtschaftszonen Irlands mit modernen Fernerkundungsmethoden durch Flugzeuge und Forschungsschiffe erfasst. Die derart gesammelten Daten sollen ein Management mariner Ressourcen in der Irischen See ermöglichen und als Datengrundlage für künftige Habitatkartierungen dienen (ICES 2002). Neben der Fortführung von INSS und der Mitwirkung an dem MESH-Projekt (s.o.) soll im Herbst 2005 weiterhin das zweijährige Programm HABMAP (Habitat Mapping for conservation and management of the Southern Irish Sea) gestarted werden. Unter der Leitung vom Marine Institut of Ireland soll im HABMAP-Projekt aus bathymetrischen, sedimentologischen und biologischen Daten ein Habitatmodell für die südliche Irische See entwickelt werden.

Belgien. Neben der Teilnahme am MESH-Projekt sind für Belgien drei Aktivitäten zu nennen, in denen sich mit marinen Habitatkartierungen befasst wird bzw. wurde. (1) Von 1999 bis 2001 wurde im Auftrag der belgischen Regierung von der Universität von Gent (Renard Centre of Marine Geology) das HABITAT-Programm[15] durchgeführt (Degraer et al. 2002). Das Programm zielte darauf ab, zeit- und kostengünstige Monitoringstrategien für marine Schutzgebiete zu entwickeln. So wurde im Rahmen von HABITAT ein Modell entwickelt, mit dem Lebensräume makrobenthischer Organismen auf Grundlage hochauflösender Sonaraufnahmen abgeleitet werden konnten. (2) Im Hinblick auf den zunehmenden wirtschaftlichen Nutzungsdruck in der belgischen Ausschließlichen Wirtschaftszone wurde von 2003 bis 2004 im GAUFRE-Projekt[16] an verschiedenen Kartenwerken gearbeitet, die als Planungsgrundlage für anthropogene Nutzungen in der AWZ herangezogen werden sollten. Unter anderem ging es dabei auch um die Kartierung benthischer Lebensräume (ICES 2005). (3) Aufbauend auf dem HABITAT-Programm wird seit 2002 das MAREBASSE-Projekt[17] (Management, Research and Budgeting of Aggregates in Shelf Seas related to End-users) durchgeführt. Das vierjährige Programm zielt darauf ab, die sedimentäre Zusammensetzung des Meeresbodens in der belgischen Ausschließlichen Wirtschaftszone mit modernsten Methoden zu kartieren und Verfahren zu entwickeln, mit denen der Meeresgrund unter ökonomischen Gesichtspunkten analysiert werden kann. Auf der Grundlage einer eigens entwickelten Sedimentklassifikation sollen Karten hergestellt werden, die neben der Sedimentverteilung auch Auf-

---

[14] http://www.gsiseabed.ie/

[15] http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=en&COD=MN/DD2/007#descr

[16] http://www.law.rug.ac.be/intpub/maritiem_instituut/gaufre.html

[17] http://users.ugent.be/~vvlancke/Marebasse/

schluss über den Sedimenttransport geben können. Neben ökonomischen Nutzungsaspekten sollen die derart gewonnenen Daten auch für die Vorhersage benthischer Organsimen verwendet werden (ICES 2005).

Niederlande. Seitens des niederländischen Amtes für Verkehr und Wasserwirtschaft (Rijkswaterstaat) wurde erst kürzlich die Entwicklung eines Habitatklassifizierungsverfahrens mit dem Fokus auf benthische Habitate in marinen Gewässern und Ästuarien abgeschlossen (ZES-Klassifikation). Das Verfahren ist vollständig kompatibel mit dem EUNIS-Verfahren und basiert auf verschiedenen physikalische Kenngrößen wie Salinität, Substratformen, Bathymetrie sowie Strömung und Wellenexposition (ICES 2005). Nach dieser Habitatklassifikation wurden bereits Bereiche der niederländischen Nordseeküste und der Ausschließlichen Wirtschaftszone kartiert.

Frankreich. Unter Leitung des IFREMER-Instituts (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) arbeiten verschiedene französische Umweltunstitute seit 2000 an einem nationalen Netzwerk zum Monitoring benthischer Lebensgemeinschaften mit dem Namen REBENT (Réseau Benthique[18]). Das Ziel ist es, benthische Habitate auf Grundlage umfangreicher Datengrundlagen in Küstenbereichen zu kartieren und in eine webgestützte GIS-Applikation einzubinden. Die Habitatkarten sollen u.a. zum Management mariner Bereiche herangezogen werden, vor allem in Hinblick auf die zunehmenden wirtschaftlichen Interessen und die damit verbundene Belastung der benthischen Lebensräume. Im Rahmen von MESH wird seit 2004 versucht, die Habitattypen aus REBENT an die EUNIS-Habitatklassifikation anzupassen.

Dänemark. Hinsichtlich der dänischen Bemühungen um marine Habitatkartierungen ist neben den Schutzgebietsausweisungen gemäß FFH-Richtlinie v.a. das seit 2004 laufende, auf fünf Jahre angelegte NOVANA-Programm (Nationwide Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments) zu nennen. Es wird erwartet, dass aus diesem Projekt umfangreichere Habitatkarten hervorgehen werden (Svendsen & Norup 2005). Angaben zu dem dafür vorgesehenen Klassifikationsverfahren werden noch nicht gemacht. Das Projekt wird von dem National Environment Research Institute (NERI) geleitet und beschäftigt sich mit der Zustandsbewertung terrestrischer und mariner Lebensräume. Weiterhin wird untersucht, ob bestehende gesetzliche Regularien ausreichen, um den Fortbestand wertvoller Habitate zu sichern.

---

[18] http://www.ifremer.fr/rebent

Finnland. In Finnland wird seit 2004 ein sechsjähriges Programm mit dem Titel VELMU[19] (Finnish Inventory Programme for the Underwater Marine Environment) unter Leitung des finnischen Umweltministeriums durchgeführt. Ziel ist eine Bestandsaufnahme der Lebensraumbedingungen fünf ausgewählter Abschnitte innerhalb der finnischen Territorialgewässer. Auf der Grundlage der aufgenommenen Informationen sollen marine Habitate geschützt und erhalten werden. Aus VELMU sollen verschiedene Habitatkarten in den Maßstäben zwischen 1:250.000 und 1:50.000 hervorgehen. Der Schwerpunkt liegt auf sessilen Tiergemeinschaften und Makrophyten der Küstenzone (ICES 2005). Die Typisierung der Habitate wird anhand eines eigens erstellten Klassifizierungsschemas durchgeführt, das auf der EUNIS-Habitatklassifikation aufbaut (Backer et al. 2004).

Deutschland. Von den deutschen Beiträgen zu benthischen Habitatkartierungen in der Nordsee ist v.a. eine 2003 abgeschlossene Studie des AWI zu nennen. In diesem vom BfN finanzierten FuE-Vorha-ben wurden für die AWZ der Nordsee inkl. angrenzender Offshore-Bereiche benthische Lebensgemeinschaften und -räume aus Abundanzdaten endofaunistischer Benthosarten abgeleitet (Rachor & Nehmer 2003). Oberstes Ziel war es, Schutzgebietsvorschläge im Hinblick auf die Umsetzung der FFH-Richtlinie zu formulieren (→Kapitel 3.1). Zur Erweiterung der bereits vorliegenden Archiv- und Literaturdaten erfolgte im Sommer 2000 an über 180 Standorten in der AWZ inkl. angrenzender Gebiete eine umfangreichen Seegrundbeprobung, wobei sowohl Daten über die Sedimentzusammensetzung als auch über die Endo- und Epifauna erhoben wurden. Zusätzlich wurde das Untersuchungsgebiet mit einem Seitensichtsonar analysiert und Bereiche des Meeresbodens mit einer Videokamera gefilmt. Unter Verwendung multivariat-statistischer Analysemethoden wurden die Abundanzdaten der Endofaunaarten zu acht benthischen Lebensgemeinschaften aggregiert und deren Vorkommen gemäß fachlicher Überlegungen flächenhaft dargestellt (Rachor & Nehmer 2003). Die Ergebnisse dieser Studie waren entscheidend an der Auswahl meldungspflichtiger FFH-Gebiete beteiligt und bilden eine wesentliche Eingangsgröße zur prädiktiven Habitatkartierung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee und der gesamten Nordsee, die in Kapitel 6.2 des vorliegenden Berichts vorgestellt wird.

Im Hinblick auf die Ostsee ist v.a. ein vom Institut für Angewandte Ökologie (IfAÖ) aus Neubrodersdorf von 2001 bis 2003 durchgeführtes Projekt zu nennen, das auf die Typisierung der deutschen Küstengewässer der Ostsee nach den Vorgaben der WRRL abzielte (Gosselck et al. 2003). Aufgabe des IfAÖ war es, die von der WRRL formulierten, auf Salinitätsverhältnisse ausgerichtete Klassifizierung mit Informationen über Bathymetrie, Temperatur, Wellenexposition, Durchmischungseigenschaften, Trübung

[19] http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=14055&lan=EN#a2

und Substratzusammensetzungen zu erweitern. Weiterhin sollte überprüft werden, ob die räumliche Verteilung benthischer Organismen in direkten Zusammenhang mit den von der WRRL vorgeschlagenen Salzgehaltszonen steht.

# 4 Aufbereitung der abiotischen Messinformationen

Im MarGIS-Projekt wurde ein umfangreicher Messdatenbestand von nationalen und internationalen Projekten, Datenbanken und Institutionen akquiriert und gemäß einer zwischen dem AWI und dem IUW abgestimmten Datenbankstruktur für marine Mess- und Metadaten zusammengeführt. Bei den dabei beschafften Informationen handelt es sich sowohl um biotische (Benthos- und Fischdaten) als auch um sedimetologische und gewässeranalytische Daten. Die Verarbeitung aller Informationen über biotische und sedimentologische Kenngrößen wurde durch das AWI übernommen und wird daher hier nicht näher ausgeführt. Das folgende Kapitel 4 widmet sich ausschließlich der digitalen Zusammenführung und Aufbereitung der gewässeranalytischen Messinformationen. Wie im Kapitel 5 und 6 zu sehen sein wird, spielen diese punkthaft vorliegenden Daten bei der Ableitung der ökologischen Seegrundprovinzen eine wichtige Rolle. Die notwendigen Arbeitsschritte zur Zusammenführung der Daten lassen sich in drei Bereiche gliedern: Sichtung der Rohdatentabellen, Aufbau einer Sachdatenbankstruktur sowie Integration der Rohdaten in die Sachdatenbank.

Rohdatensichtung. Die gewässeranalytischen Messdaten wurden von drei Datengebern bereitgestellt: dem Institut für Meereskunde der Universität Hamburg, dem International Council for the Exploration of the Sea (ICES) sowie der Meeresumweltdatenbank (MUDAB) des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) und des Umweltbundesamtes (UBA). Eine detaillierte Auflistung der entsprechenden Rohdatentabellen mit Angaben zum Datengeber, zum Datenformat, zur Anzahl der gelieferten Dateien und der darin enthaltenden Datensätze, zum Erhebungszeitraum, zu den physikalisch-chemischen Messgrößen und zusätzlichen Metainformationen ist dem Anhang B.1 zu entnehmen.

Die meisten der gelieferten Datensätze bezogen sich in ihren Angaben nicht nur auf die untere, sondern auf die gesamte Wassersäule (→ Anhang B.1). Dies erklärt den großen Umfang der Daten. Hierbei sind v.a. die vom ICES für den Zeitraum zwischen 1974 und 1998 gelieferten Datensätze zu nennen, die 92 % des gesamten Datenkollektivs ausmachten. Insgesamt belief sich die Anzahl der in den 119 Dateien vorliegenden Messdatensätze über bis zu 19 physikalisch-chemische Kenngrößen aus einem Erhebungszeitraum von 28 Jahren (1974 bis 2002) auf insgesamt 3827373 Datensätze.

Angaben zum Probenentnahmestandort, zum Entnahmezeitraum und zur Entnahmetiefe wurden in allen Datentabellen gemacht. Andere vorhandene Spaltenangaben bezogen sich auf die Bathymetrie, die Expedition (Expeditionsnummer, Reiseveranstalter) sowie auf Standortbezeichnungen (Stationsnummer und -bezeichnung, Stationstyp). Wichtige Informationen zur Probenentnahmemethode, zur physikalischen und chemischen Vorbehandlung der Proben sowie zu den eingesetzten Analysemethoden lagen nur in den Datentabellen der MUDAB vor. Fast alle 3827373 Datensätze waren mit geographischen Koordinatenangaben (dezimal und/oder in Grad) versehen.

Bis auf die Rohdaten vom ICES aus dem Zeitraum zwischen 1998 und 2002 bezogen sich die Messwertangaben aller vorliegenden Datensätze auf eine einzige räumlich und zeitlich exakt definierte Probenentnahme. Bei den ICES-Daten von 1998 bis 2002 lagen die Messwerte für jeden Standort über einen Monat aggregiert vor. Dabei wurden im Fall von Mehrfachmessungen Angaben zur Anzahl der Messungen sowie deskriptiv-statistischen Kennzahlen der daraus resulterenden Messwertverteilung (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung) gemacht.

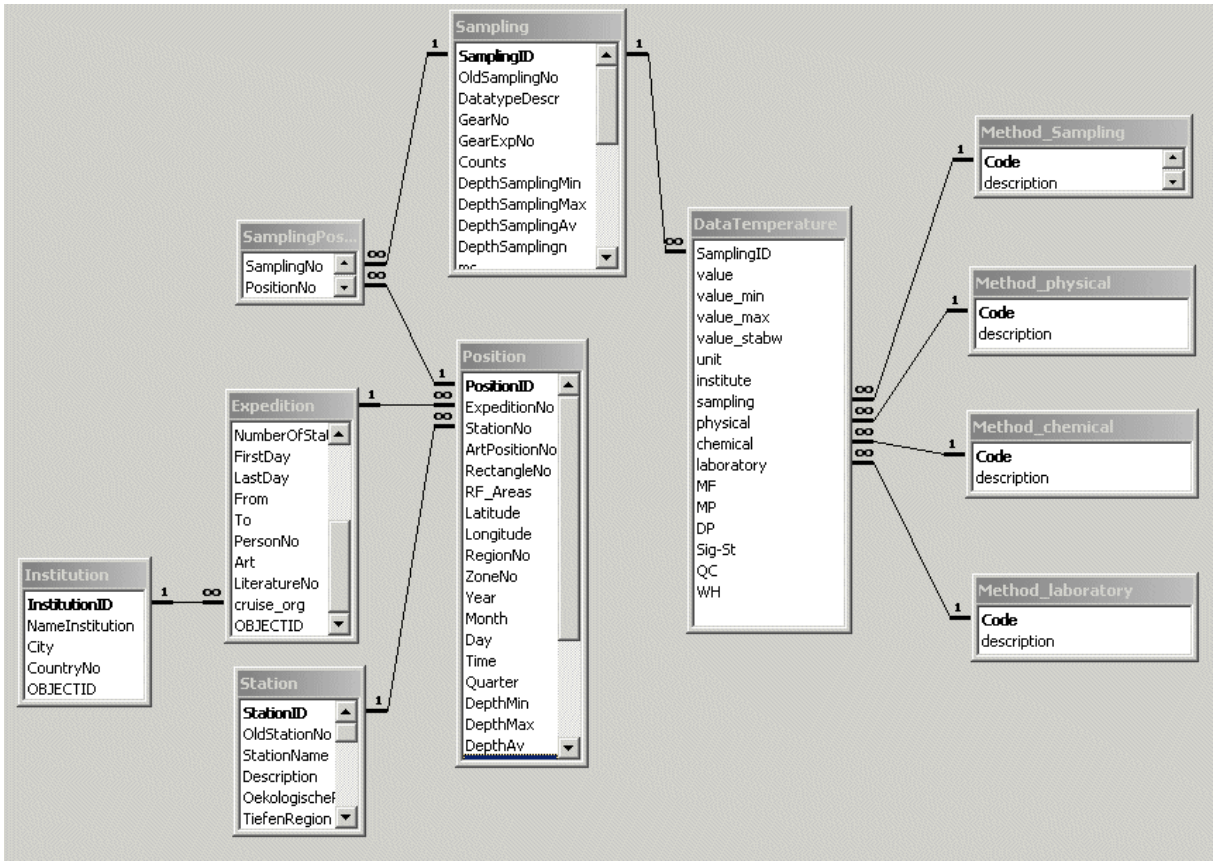



Abbildung 1: MarGIS Datenbankstruktur (Abiotische Daten - Beispiel Temperatur)

Sachdatenbankstruktur. Zur Homogenisierung der vom AWI beschafften Messinformationen wurde zwischen dem IUW und dem AWI eine auf MS Access basierende relationale Sachdatenbankstruktur

abgestimmt. Neben der Vermeidung von Redundanzen wurde bei deren Konzeption darauf abgezielt, alle Angaben der Rohdatentabellen (über biotische und abiotische Erhebungen) in die Datenbank zu integrieren. Resultat war eine insgesamt 97 Einzeltabellen umfassende Datenbank, die im Sinne eines relationalen Datenbanksystems in Form von 1 : n Beziehungen miteinander verknüpft wurden. Die Informationen der oben beschriebenen Rohdaten über meereschemische Messgrößen (→ Anhang B.1) wurden in insgesamt 26 Tabellen strukturiert. Diese lassen sich in zwei wesentliche Kategorien gliedern: Angaben zum Probenentnahmestandort und Durchführung der Probenentnahme inkl. -messung.

- Die Angaben zum Probenentnahmestandort wurden in fünf Tabellen untergebracht: 'Position', 'Sampling', 'SamplingPosition', 'Expedition', 'Station' und 'Institution' (→ Abbildung 1). Dabei kommt der Positions-Tabelle zentrale Bedeutung zu, da hier sowohl Angaben zur räumlichen Verortung (in Form von Standortkoordinaten) als auch zum Zeitpunkt der Probenentnahme (in Form eines Datums) gemacht werden. Die Positionstabelle ist über die Tabelle SamplingPosition mit der Sampling-Tabelle verknüpft, in der v.a. Angaben zur Entnahmetiefe gemacht werden. Über eine Expeditions- und Stations-ID ist die Positionstabelle weiterhin über zwei 1 : n Verknüpfungen mit der Stations- und der Expeditions-Tabelle verlinkt. In diesen beiden Tabellen sind detaillierte Informationen über die Forschungsexpedition (z.B. hinsichtlich des Veranstalters und der Dauer der Expedition) sowie die Probenentnahmestation (z.B. zum Stationstyp und der originalen Stationsbezeichnung) abgelegt. Die Expeditionstabelle ist letztlich über eine Institutions-ID mit der Institutionstabelle verknüpft. In dieser Tabelle sind der Name der ausführenden Institution und deren Adressdaten vermerkt.
- Die Angaben zur Durchführung der Probenentnahme und -messung sind in 20 Tabellen abgelegt. Pro Messgröße wurde dabei eine Tabelle Data[Messgröße] angelegt, in der die Ergebnisse der Messungen archiviert werden können. Die Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel der Temperaturmessungen (DataTemperature). Insgesamt wurden 16 derartige Tabellen in der Sachdatenbank angelegt[20]. Alle 16 Tabellen sind über 1 : n Verknüpfungen mit den Tabellen 'Method_sampling', 'Method_physical', 'Method_chemical' und 'Method_laboratory' verknüpft. Diese Tabellen enthalten genaue Angaben zur Probenentnahmemethodik (Method_sampling), zur physikalischen Aufbereitung der Wasser- oder Sedimentproben (Method_phyiscal), zur chemischen Aufbereitung der Wasser- oder Sedimentproben (Method_chemical) sowie zur eingesetzten analytischen oder instrumentellen Messmethode (Method_laboratory).

[20] Die Summenparameter Nitrat+Nitrit, Nitrat+Nitrit/Silicat und Silikat/Phosphat sind hier nicht berücksichtigt worden, da diese aus den übrigen Kenngrößen abgeleitet werden können.

Datenbankintegration. Die Aufbereitung und Ausdünnung der Rohdatentabellen sowie deren Integration in die MarGIS-Sachdatenbankstruktur erfolgte mit der in MS Access vorhandenen Filter- und Abfragefunktionen. Da die Verarbeitung von über 3.5 Millionen Datensätzen mit der dem Forschungsnehmer zur Verfügung stehenden Datenbanksoftware zu hohe Rechenzeiten in Anspruch nahm und im Rahmen von MarGIS der Meeresgrund von Nord- und Ostsee im Vordergrund steht, wurde der Umfang des Datenkollektivs in einem ersten Schritt verringert. Dies bezog sich ausschließlich auf die vom ICES für den Erhebungszeitraum zwischen 1974 bis 1998 gelieferten Daten. Hier wurden von den ursprünglich gelieferten 3549951 Messdatensätzen nur diejenigen Datensätze berücksichtigt, die pro Standort den untersten Abschnitt der Wassersäule betrafen.

In einem nächsten Schritt wurden alle Datentabellen sukzessive in MS Access zusammengeführt und auf unvollständige sowie redundante Datensätze überprüft. Als unvollständig wurde ein Datensatz dann angesehen, wenn keine Angaben zur Probenentnahmetiefe, zur räumlichen Verortung, zum Erhebungszeitraum order zum Messergebnis gemacht wurden. Als redundant wurden mehrere Datensätze dann angesehen, wenn in den genannten Spaltenrubriken identische Angaben gemacht wurden. Derartige Datensätze wurden aus dem Datenkollektiv entfernt.

Insgesamt konnten so die ursprünglich vorliegenden 3827373 Rohdatensätze auf 248971 Datensätze ausgedünnt werden. Unter Verwendung der in MS Access verfügbaren Datenbankfunktionen wurden diese gemäß der vorgegebenen Sachdatenbankstruktur den einzelnen Datenbanktabellen zugeordnet. Eine Zusammenstellung aller vorliegenden Messdatensätze für die Nordsee (162913 Datensätze) und die Ostsee (86058 Datensätze), differenziert nach Messgröße und Erhebungszeitraum ist dem Anhang B.2 zu entnehmen.

# 5 Geostatistische Berechnung von Seegrundkarten für abiotische Kenngrößen

Der flächenhafte Verallgemeinerung der in großer Anzahl vorliegenden Messdaten über abiotische Kenngrößen kam im MarGIS-Projekt eine zentrale Rolle zu. Nur so konnte auf flächendeckende Informationen zurückgegriffen werden, die für die Einschätzung des ökologischen Standortpotenzials maßgeblich sind.

In Kapitel 5 werden nur diejenigen geostatistischen Analysen beschrieben, deren Ergebnisse für die Ableitung der ökologischen Seegrundprovinzen verwendet wurden. Weitere im Projektzeitraum fertiggestellte Arbeiten umfassten u.a. geostatistische Berechnungen von Karten der bodennahen Wassertem-

peraturen für die Sommermonate zwischen 1991 und 2000. Diese wurden in einem Artikel dokumentiert und bei einer international renomierten Fachzeitschrift (Computer & Geoscience) im März 2005 eingereicht. Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ein Nordsee-Atlas erstellt, der als Online-Dokumentation die wesentlichen Inhalte des MarGIS-Projektes zusammenfasst. Hierfür wurden Flächenkarten für unterschiedliche Zeiträume sowohl für die AWZ der Nordsee als auch für die gesamte Nordsee berechnet. Beides, Artikel und Nordsee-Atlas (Teil IUW), liegen dem Bericht im Anhang D bei.

### *5.1 Methodische Grundlagen*

Zur räumlichen Verallgemeinerung punktuell erhobener Messinformationen kommen in der marinen Umweltforschung geostatistische Ansätze zur Anwendung (Chihi et al. 2000; González-Gurriarán et al. 1993; Harbitz & Lindstrøm 2001; Jelinski et al. 2002; Lembo et al. 2000; Maynou et al. 1998; Petitgas 1996, 1997; Poon et al. 2000; Rivoirard et al. 2001). Geostatistische Verfahren basieren im wesentlichen auf der Theorie regionalisierter Variablen (Matheron 1965). Dabei wird ein räumlich verorteter Messwert als die Realisierung einer dort vorliegenden Wahrscheinlichkeitsfunktion angesehen und angenommen, dass diese Realisierungen in einer räumlichen Abhängigkeit zueinander stehen. Räumlich abhängig meint, dass sich Messwerte dicht beieinander liegender Standorte ähnlicher sind als Messwerte weiter entfernt liegender Standorte. Diese auch als räumliche Autokorrelation bezeichnete Annahme wird in der Geostatistik mit der Variogramm-Analyse überprüft.

Variographie. Bei der Variogramm-Analyse wird untersucht, ob eine statistisch begründbare, entfernungs- und richtungsabhängige Autokorrelation zwischen den Messwerten einer Punkteverteilung im Raum erkennbar ist. Nur wenn eine derartige Autokorrelation nachgewiesen werden kann, ist die weiterführende Verwendung des Datensatzes im Hinblick auf die Durchführung von Flächenschätzungen sinnvoll. Die Variogramm-Analyse lässt sich in zwei Arbeitsabschnitte untergliedern: (1) experimentelle Variogrammschätzung sowie (2) Auswahl eines geeigneten Variogramm-Modells.

Zur Berechnung eines experimentellen Variogramms bildet man innerhalb vorgegebener Distanzintervalle die Hälfte der mittleren quadrierten Differenzen der Messwerte von Punktpaaren (= Semivarianzen) und trägt diese in einem Koordinatensystem zu den jeweiligen Distanzen auf. Wenn die Semivarianzen mit zunehmender Messpunktdistanz steigen, so weist dies auf eine distanzabhängige Struktur im Datenfeld hin. Die Berechnung der experimentellen Variogramme kann sowohl richtungsunabhängig (omnidirektional) als auch unter Berücksichtigung möglicher Anisotropien oder Richtungsstrukturen erfolgen. Um letztere zu identifizieren, können experimentelle Variogramme über sogenannte Vari-

ogramm-Karten berechnet werden. Dies entspricht der im MarGIS-Projekt angewendeten, im Modul Geostatistical Analyst der Software ArcGIS 9.0 implementierten Methode und soll daher im Folgenden erläutert werden.

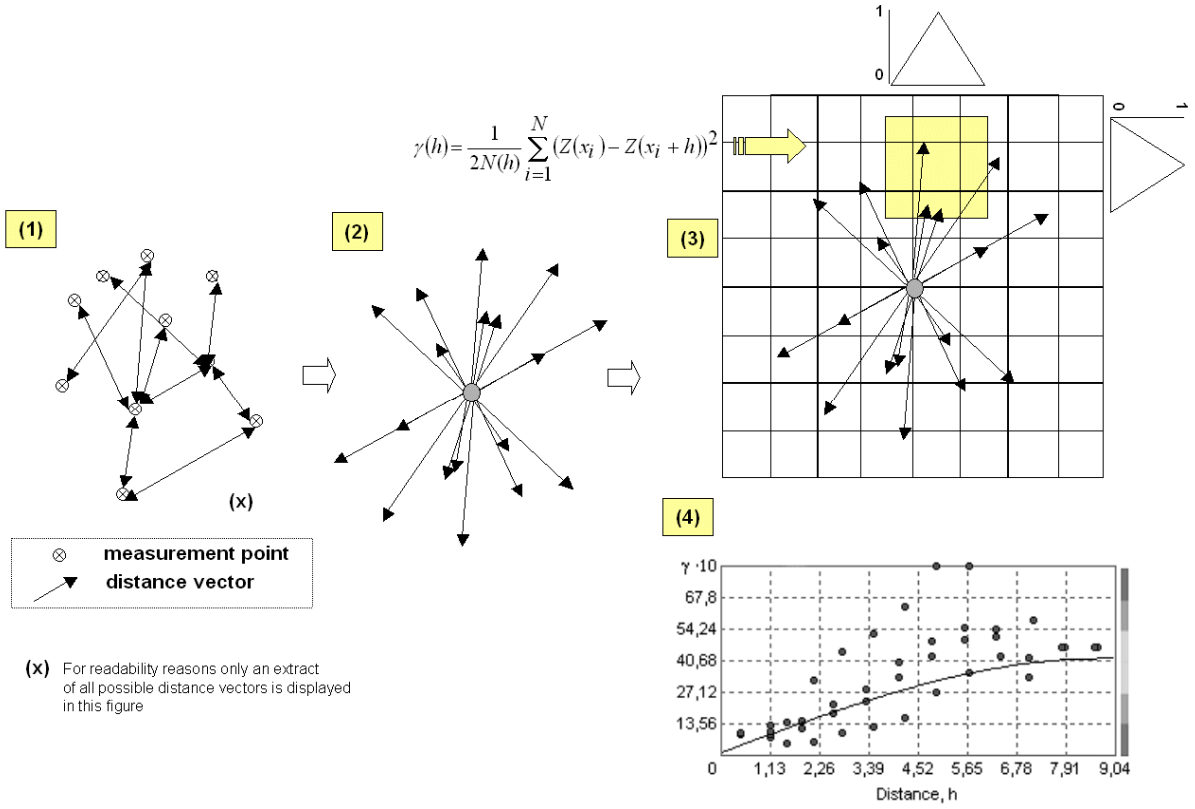



Abbildung 2: Variogramm-Analyse (angelehnt an Johnston et al. 2001)

Bei der Verwendung von Variogramm-Karten erfolgt die Berechnung der Semivarianzen für sogenannte *bins* bzw. Rasterkästchen (→ Abbildung 2) Dafür werden zuerst alle vorhandenen Messpunktpaare in Form von Richtungsvektoren miteinander verbunden (Schritt 1) und diese dann so positioniert, dass deren Ursprünge zusammenfallen (Schritt 2). Anschließend wird über das derart generierte Vektorenbündel ein Raster gelegt und für jede Rasterzelle ein Semivarianzwert entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise berechnet (Schritt 3). Die Messwertdifferenzen werden dabei für diejenigen Punktepaare bestimmt, deren Richtungsvektoren innerhalb der einundhalbfachen Fläche jeder Rasterzelle fallen (gelber Rahmen in Abbildung 2). Je weiter die Richtungsvektoren vom Mittelpunkt der Rasterzelle entfernt liegen, desto geringer werden die quadrierten Messwertdifferenzen bei der Berechnung der Semivarianz gewichtet. Diese Wichtung erfolgt gemäß einer Kernelfunktion (Johnston et al. 2001). Als Ergebnis erhält man so eine Variogramm-Karte, deren Rasterzellen nach Entfernung und Richtung berechnete Semivarianzen wiedergeben. Zur Ableitung des experimentellen Variogramms werden die

Rasterzellenwerte der Variogramm-Karte in einem Koordinatensystem gegen die Distanz aufgetragen (Schritt 4). Die den Semivarianzen zugehörige Distanz entspricht dabei der Entfernung des Mittelpunkts der Variogramm-Karte zum Mittelpunkt der Rasterzelle.

Für die Ableitung der für die Kriging-Interpolation notwendigen Parameter Extrapolationsradius und Wichtungsfaktoren ist es notwendig, dem experimentellen Variogramm ein Modellvariogramm anzupassen. Hierfür existieren unterschiedliche mathematische Modellfunktionen, von denen vor allem das sphärische und das exponentielle Modell häufig Verwendung finden. Eine ausführliche Darstellung inkl. mathematischer Beschreibung derartiger Variogrammmodelle findet sich u.a. bei Akin & Siemens (1988), Olea (1999), Webster & Oliver (2001) sowie Johnston et al. (2001). Die Anpassung eines Modellvariogramms an ein experimentelles Variogramm kann interaktiv oder automatisiert erfolgen, letzteres z.B. in Form der Methode der kleinsten Quadrate (Schritt 4 in Abbildung 2).

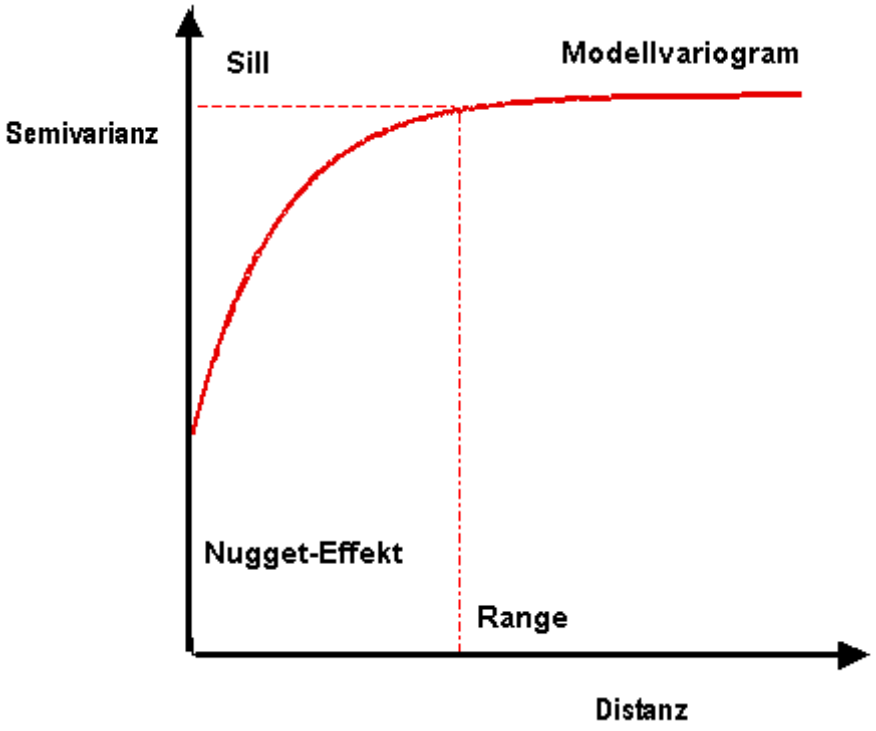



Abbildung 3: Kenngrößen eines Modellvariogramms

Die maximale räumliche Aussagekraft der punkthaften Messwerte ergibt sich aus der Projektion des Scheitelpunkts der Modellvariogrammkurve auf die Distanzachse (→ Abbildung 3). Innerhalb dieses Bereiches, der als *Range* (= Reichweite) bezeichnet wird, wird eine Interpolation zwischen Messpunkten noch als statistisch sinnvoll angesehen. Der Range gibt die maximale Ausdehnung des Suchfensters in der nachfolgenden Kriging-Interpolation wieder. Wenn mit der Variogramm-Karten Anisotropien bzw. Richtungsabhängigkeiten festgestellt werden, liegen unterschiedliche Reichweiten für unterschied-

liche Richtungen vor. Dies wirkt sich entsprechend auf die Form des Suchfensters aus. Die dem Range zugeordnete Semivarianz wird als *Sill* bezeichnet. Bei starken Messwertvariabilitäten benachbarter Messpunkte sowie Messfehlern kann es sein, dass der Schnittpunkt des Modellvariogramms mit der Ordinate oberhalb des Ursprungs des Koordinatensystems liegt. Der Abstand zwischen Schnittpunkt und Ursprung wird als *Nugget-Effekt* bezeichnet.

Kriging. Nach einer positiven Prüfung des Datenmaterials per Variogramm-Analyse und der Auswahl eines geeigneten Modellvariogramms wird zur Regionalisierung der Datenpunkte das Kriging-Verfahren angewendet. Beim sogenannten Punkt-Kriging wird dazu für ein definiertes Punktraster unter der Bedingung der Minimierung der Schätzvarianz anhand umliegender Messwerte eine nach Entfernung gewichtete Berechnung von Schätzwerten durchgeführt. Mit dem Begriff Kriging werden ein ganze Reihe von Schätzverfahren zusammengefasst, die alle eine Minimierung der Schätzvarianz zum Ziel haben (Heinrich 1994). Neben dem Ordinary Kriging wurden im Rahmen von MarGIS noch das Lognormal Kriging und das Universal Kriging angewendet.

- Das Ordinary-Kriging ist die am häufigsten verwendete Kriging-Art, bei der der Mittelwert (oder Erwartungswert) der Wahrscheinlichkeitsfunktionen (s.o.) an jeder Stelle im Raum zwar als unbekannt aber auch als konstant angenommen wird.
- Kann aufgrund von Voranalysen und fachlichen Überlegungen der Erwartungswert nicht als konstant angenommen werden, so sollte das Universal Kriging zur Anwendung kommen. Beim Universal Kriging wird die Veränderung des Erwartungswertes (auch als Drift bezeichnet) durch geeignete Trendflächenfunktionen wie den im 'Geostatistical Analyst' verfügbaren polynomischen Funktionen modelliert und die Trendwerte von den Messwerten abgezogen. Variogrammanalyse und Kriging werden dann mit den daraus resultierenden Risiduen durchgeführt. Das Schätzergebnis wird abschließend auf die Trendfläche addiert.
- Das Lognormal Kriging wird überall dort empfohlen, wo die Messwertverteilungen starke Linksschiefen aufweisen (Webster & Oliver 2001). Dabei werden Variogramm-Analyse und Kriging mit lognormaltransformierten Messwerten durchgeführt. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Ergebnisse des Krigings anschließend rückzutransformieren. Hierzu wurde im MarGIS-Projekt die im Geostatistical Analyst von ArcGIS implentierte Methode nach Cressie (1993) (Johnston et al. 2001, S. 269) angewendet.

Schätzgüte. Nach Olea (1999, S. 165) kann die Wurzel der Krigingvarianz, die Kriging-Standardabweichung als schätzwertzentriertes Konfidenzintervall angenommen werden, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 68.3 % den wahren Wert an einem Ort $x_i$ enthält. Vorausgesetzt wird allerdings, dass

die möglichen Ausprägungen dieses Wertes an den jeweiligen Orten normalverteilt sind. Liegt so z.B. ein Schätzwert von 1000 und eine Krigingvarianz von 100 vor, hieße das, dass mit einer 68.3-prozentigen Sicherheit der wahre Wert in dem Intervall 1000 ± 10 zu finden ist. Die Benutzung der Krigingvarianz bzw. Standardabweichung ist allerdings zur Beurteilung der lokalen Schätzgüte sehr umstritten (Heinrich 1994, S. 160). So hängt die Krigingvarianz nur vom Variogramm und der räumlichen Anordnung der Messpunkte aber nicht von den Messwerten selber ab. Sie ist somit nach Journel (1986, S. 135) für die lokale Genauigkeit der Schätzung kein Maß. Dies wird verdeutlicht durch die flächenhafte Darstellung der Krigingvarianz: Höchste Werte zeigen die Bereiche, die am weitesten von den Messpunkten entfernt vorliegen.

Zur Beurteilung der Güte der aus dem Kriging hervorgegangenen Schätzergebnisse wurde im MarGIS-Projekt daher ausschließlich auf die Kreuzvalidierung zurückgegriffen. Bei der Kreuzvalidierung wird nacheinander je ein Wert aus der Gesamtmenge der Messwerte entnommen und durch Kriging mit dem gewählten Modellvariogramm neu geschätzt. Die Differenzen zwischen den Mess- und Schätzwerten werden anschließend durch geeignete statistische Kennzahlen beschrieben. Im MarGIS-Projekt wurden sechs derartige Kennzahlen aus den Fehlerverteilungen abgeleitet: Mittlerer Fehler (MF), Varianz des Mittleren Fehlers (VMF), Varianz des Mittleren Standardisierten Fehlers (VMSF), Median der absoluten Fehler (MAF), Median der prozentualen Fehler (MPF) sowie der Korrelationskoeffizient nach Spearman ($K_s$).

- Der MF berechnet sich aus den durchschnitlichen Abweichungen zwischen Mess- und Schätzwerten und verweist auf tendenzielle Über- oder Unterschätzungen des Modellvariogramms. Im Idealfall ist dieser 0.
- Der VMF entspricht dem Mittelwert der quadrierten Fehler und ist somit eine Kenngröße, die etwas über die Abweichung zwischen Mess- und Schätzwerten aussagt. Als Alternative wird auch die Wurzel des VMF-Wertes verwendet.
- Der VMSF entspricht dem mittleren Verhältnis zwischen der quadrierten Abweichung der Mess- und Schätzwerte an den Orten $x_i$ und den dort berechneten minimalen Schätzvarianzen (Kriging-Varianzen). Dieser Wert spiegelt somit das Verhältnis zwischen experimentellen und theoretischen Varianzen wider. Wenn der VMSF-Wert größer als 1 ist, wird die Kriging-Varianz in den Vorhersagen unterschätzt; ist er kleiner als 1, wird diese überschätzt. Im Idealfall ist der VMSF-Wert 1.
- Der VMF sagt direkt nichts darüber aus, wie hoch die relativen Abweichungen zwischen Mess- und Schätzwerten sind. Setzt man den jeweiligen Messwert gleich 100 %, so kann die Differenz zwischen Mess- und Schätzwert in Prozent angegeben werden. Der MPF gibt die Zentraltendenz der

so berechneten prozentualen Abweichungen wieder. Schätzungen unterschiedlicher Messgrößen können so vergleichbar gemacht werden.

- Olea (1999) schlägt den Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Mess- und Schätzergebnissen als Gütekennzahl vor. Alternativ kann auch der Korrelationskoeffizient nach Spearman angewendet werden, da dieser keine bivariate Normalverteilung und keine lineare Abhängigkeit voraussetzt. Dieser ist im Idealfall 1.

## *5.2 Durchführung*

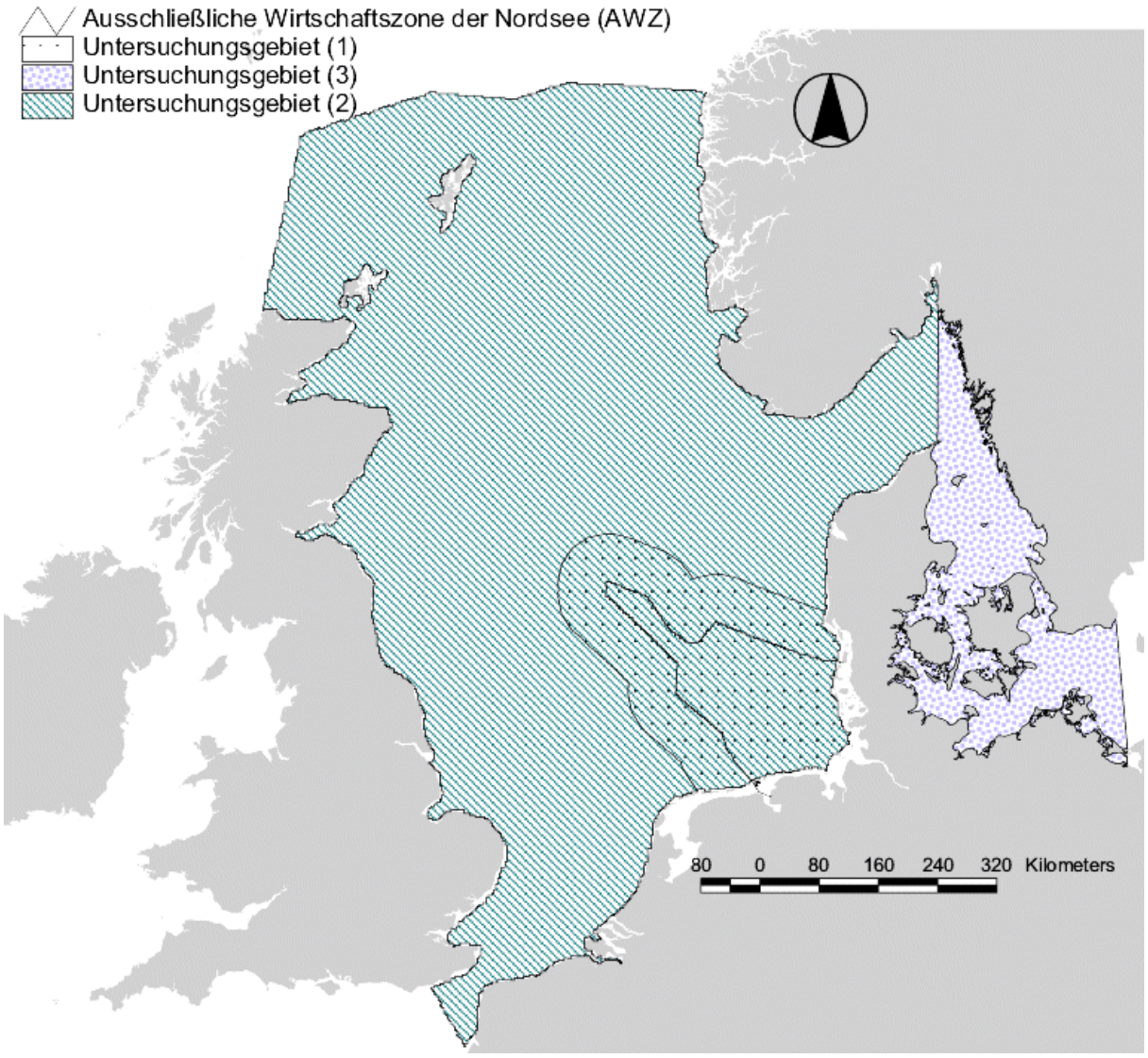



Abbildung 4: Räumliche Abgrenzung der Untersuchungsgebiete

Die Datengrundlage zur geostatistischen Berechnung von Flächenkarten bildeten ausschließlich die in der MarGIS-Sachdatenbank (→ Kapitel 4) archivierten abiotischen Messinformationen. Zu diesen zählen auch vom AWI aufgearbeitete sedimentologische Daten zu den Korngrößenfraktionen (aufgenommen über den Zeitraum zwischen 1982 und 2000). Es wurden Flächenkarten für folgende Untersuchungsgebiete erstellt (→Abbildung 4):

(1) für die AWZ der Nordsee inkl. einer 40 km breiten Randzone,
(2) die gesamte Nordsee sowie
(3) den westlichen Teil der Ostsee

Im Folgenden wird die Durchführung der Variogramm-Analysen wie auch die Kriging-Berechnungen jeweils für die Untersuchungsgebiete (1) bis (3) beschrieben. Sämtliche Arbeitsschritte erfolgten unter Verwendung der Software ArcGIS 9.0 inkl. der Erweiterung 'Geostatistical Analyst'.

### 5.2.1 AWZ der Nordsee

Datenpräparation. Die ersten geostatistischen Arbeiten im MarGIS-Projekt konzentrierten sich auf die AWZ der Nordsee[21], da hier die größte Dichte an abiotischen Punktinformationen vorlag (Pehlke 2005). Um die seewärtigen Grenzbereiche der AWZ möglichst optimal zu schätzen, wurde die AWZ im GIS um einer 40 km breiten Randzone erweitert[22]. Da die Zielsetzung des MarGIS-Projekt auf den Offshorebreich ausgerichtet ist, wurden nur die Bereiche der Nordsee jenseits der 5m-Tiefenlinie einbezogen. Als geographisches Bezugssystem wurde das UTM(Universal Transverse Mercator)-Koordinatensystem 32 Nord verwendet.

Es wurden die bodennahen Konzentrationen folgender abiotischer Kenngrößen aus der MarGIS-Datenbank abgefragt: Ammonium, Nitrat, Phosphat, Silikat, Gelöster Sauerstoff, Temperatur und Salinität sowie die relativen Anteile der drei Korngrößenfraktionen 0-20µ (Ton), 20-63µ (Schluff) sowie 63-2000m (Sand). Die Auswahl war auf die ökologische Seegrundtypisierung ausgerichtet. Die ausgewählten Kenngrößen sind potenzielle Einflussgrößen für das Vorkommen benthischer Lebensgemeinschaften darstellen (→ Kapitel 6.3.1). Um dem jahreszeitlichen Verlauf der Ausprägung der sieben gewässer-

---

[21] Die deutsche Nordsee lässt sich in die '12-Seemeilen-Zone' und die 'Ausschließliche Wirtschaftszone' (AWZ) unterteilen. Die 12-sm-Zone gehört dabei zum Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland während bezüglich der AWZ nur so genannte funktional beschränkte Hoheitsrechte bestehen. Als AWZ wird an dieser Stelle die Summe der 12 Seemeilen-Zone und der eigentlichen AWZ verstanden.

[22] Der Einfachkeit halber wird im Folgenden die AWZ inkl. 40 km Saum als AWZ bezeichnet.

analytischen Messgrößen am Meeresgrund gerecht zu werden, erfolgte die Datenbankabfrage für ein dreimonatiges Zeitfenster (Januar bis März; April bis Juni; Juli bis September sowie Oktober bis Dezember). Für jedes dieser Zeitfenster wurden die Messdaten über einen sechsjährigen Zeitraum von 1995 bis 2000[23] aggregiert (Pehlke 2005). Auf diese Art und Weise konnten für die meisten Kenngrößen in den jeweiligen Monatsintervallen ausreichend Messdaten aus der Datenbank abgefragt werden, um einen flächendeckenden Eindruck zu gewährleisten.

Für diejenigen Standorte, an denen zwischen 1995 und 2000 mehrmals Messungen in der unteren Wassersäule gemacht wurden, wurde deren Anzahl sowie der Mittelwert und die Standardabweichung der entsprechenden Messwertverteilung aus der Datenbank abgefragt. Während der Mittelwert für die geostatistischen Analysen verwendet wurde, diente die zusätzliche Berechnung der Standardabweichung der Ableitung des Variationskoeffizienten. Pro Messgröße und Zeitintervall konnten so neben der minimalen und maximalen Anzahl von Mehrfachmessungen die durchschnittlichen Variationskoeffizienten in einer Tabelle festgehalten werden, um so auf lokale Messwertvariabilitäten zu verweisen.

Geostatistische Analysen. Bevor mit den räumlichen Strukturanalysen begonnen wurde, erfolgte eine Überprüfung der 31 aus der Datenbank abgefragten Datentabellen. Es wurden nur diejenigen Datensätze berücksichtigt, die

- flächendeckend im Untersuchungsgebiet verteilt vorlagen,
- eine Mindestanzahl von 50 aufwiesen sowie
- mehr als drei der zwischen 1995 und 2000 liegenden Jahre abdeckten[24] (Pehlke 2005).

Von den 31 Tabellen wurden so insgesamt 20 Datensätze für die geostatistischen Arbeiten ausgewählt. Dies beinhaltet alle vier monatlichen Zeitintervalle für die Messgrößen Temperatur und Salinität sowie alle drei Korngrößenfraktionen. Für Ammonium, Nitrat, Phosphat und Silikat konnten nur die Datensätze für die Intervalle Januar bis März sowie Juli bis September die oben genannten Prüfkriterien erfüllen. Für den gelösten Sauerstoff wurde nur ein Datensatz (Juli bis September) für die geostatistischen Analysen berücksichtigt.

Wie im Kapitel 5.1 beschrieben, besteht der erste Schritt der geostatistischen Datenanalyse in der Berechnung von Variogramm-Karten bzw. daraus resultierender experimenteller Variogramme. Vom Anwender müssen hierzu zwei Parameter festgelegt werden: (1) die Kantenlänge der *bins* der Vari-

---

[23] Die Wahl des Zeitraums 1995 bis 2000 ist auf die methodische Vorgehensweise zur prädiktiven Habitatkartierung ausgerichtet (→ Kapitel 6.2.1)

[24] Nach Kröncke & Bergfeld (2001) sollten Daten über abiotische Standortfaktoren mindestens für einen Zeitraum von drei Jahren repräsentativ sein, um für Benthosstudien nutzbar zu sein.

ogramm-Karte, die auch als *lag size* bezeichnet wird und dem in Kapitel 5.1 beschriebenen Distanzintervall entspricht sowie (2) die Anzahl der *lags* bzw. die räumliche Auflösung der Variogramm-Karte. In Anlehnung an Webster & Oliver (2001) wurde als Distanzintervall die mittlere Distanz jedes Punktes zu seinem jeweils nächsten Nachbarn (= mittleren Nachbarschaftsdistanz) verwendet. War es nicht möglich, eine räumliche Autokorrelation durch Verwendung der einfachen mittleren Nachbarschaftsdistanz zu erkennen, wurde ein Vielfaches dieser verwendet. Eine tabellarische Auflistung der Anzahl an Messtandorten sowie der mittleren Nachbarschaftsdistanz findet sich in der Tabelle 1.

| **Kenngröße** | **Zeitfenster** | **n** | **mittlere Nachbarschaftsdistanz** |
|---|---|---|---|
| Ammonium | Januar bis März | 256 | 4838 |
| | Juli - September | 197 | 6638 |
| Nitrat | Januar bis März | 198 | 6046 |
| | Juli - September | 239 | 4076 |
| Gel. Sauerstoff | Juli - September | 232 | 5925 |
| Phosphat | Januar bis März | 292 | 4526 |
| | Juli - September | 247 | 4270 |
| Salinität | Januar bis März | 907 | 1351 |
| | April - Juni | 670 | 2200 |
| | Juli - September | 919 | 2040 |
| | Oktober - Dezember | 644 | 1199 |
| Silikat | Januar bis März | 304 | 3745 |
| | Juli - September | 223 | 4993 |
| Temperatur | Januar bis März | 913 | 1384 |
| | April - Juni | 668 | 2191 |
| | Juli - September | 921 | 2030 |
| | Oktober - Dezember | 645 | 1184 |
| Korngrößenfraktion 0 - 20 µ | | 674 | 1454 |
| Korngrößenfraktion 20 - 63 µ | | 662 | 1451 |
| Korngrößenfraktion 63 - 2000 µ | | 668 | 1443 |

Tabelle 1: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - AWZ

Die Anzahl der Distanzintervalle wurde so gewählt, dass der Anstieg und die Abflachung des experimentellen Variogramms in dem Variogrammfenster eindeutig auszumachen war. Dabei wurde gemäß der Faustformel von Johnston et al. (2001) darauf abgezielt, ein Verhältnis von 2/3 (Anstieg der Variogrammkurve) zu 1/3 (Abflachung der Variogrammkurve) einzuhalten.

Konnte durch die beschriebene Vorgehensweise keine räumliche Autokorrelation festgestellt werden, wurden sogenannte räumliche Ausreißer aus dem Datensatz entfernt und erneut eine Variogramm-Analyse durchgeführt. In Anlehnung an Usländer (2003) wurde dabei das Verhältnis zwischen den aus der Kreuzvalidierung ermittelten Fehlervarianzen und den an den jeweiligen Orten berechneten Kriging-Varianzen herangezogen. Übertraf dieses Verhältnis den Wert 3, wurde der jeweilige Messwert aus dem Datenkollektiv entfernt. Konnte auch dann keine räumliche Autokorrelation ausgemacht werden,

wurde bei nachweisbarer Schiefe der Messwertverteilung der vollständige Datensatz lognormal transformiert und erneut eine Variogramm-Analyse durchgeführt. Konnte noch immer keine räumliche Autokorrelation ausgemacht werden, wurde der Datensatz verworfen.

Ausgehend von der Variogramm-Karte und dem experimentellem Variogramm wurde unter Verwendung der Kreuzvalidierung ein optimales Modellvariogramm ausgewählt. Die Anpassung an das experimentelle Variogramm erfolgte dabei automatisiert gemäß der Methode der kleinsten Quadrate (Johnston et al. 2001). Entsprechend den vorhandenen Funktionalitäten des 'Geostatistical Analyst' wurden dazu drei Kreuzvalidierungsmaßzahlen verwendet: MF, VMSF sowie VMF. Wie im Kapitel 5.1 beschrieben, wurde versucht, den MF an 0 und den VMSF an 1 anzunähern sowie den VMF zu minimieren.

Konnten in den Variogramm-Karten Ansisotropien ausgemacht werden, wurde dies in Form unterschiedlicher Reichweiten für unterschiedliche Richtungen berücksichtigt. Hierzu wurden die minimale und die maximale Reichweite (Major und Minor Range) aus der Variogramm-Karte abgeleitet und über die Kreuzvalidierung überprüft, ob sich so die oben genannten Kenngröße optimieren ließen[25]. Wurden auf diese Art und Weise Anisotopien in der Variogramm-Karte entdeckt und in die Modell-bildung einbezogen, bedingte dies ein ellipsenförmiges Suchfenster beim nachfolgenden Kriging. Zur Charakterisierung der Suchellipse wurde das Verhältnis zwischen der kurzen Ellipsenachse (Minor Axis) und der längsten Ellipsenachse (Major Axis), auch als Anisotropie-Ratio bezeichnet, sowie die Richtung der Major Axis tabellarisch festgehalten.

Für die Kriging-Berechnung wurde das jeweilige kreis- oder ellipsenförmigen Suchfenster in vier Sektoren unterteilt und innerhalb dieser vier Sektoren jeweils maximal 10 Messpunkte für die gewichtete Mittelwertbildung herangezogen. Denn nur die dem zu schätzenden Punkt am nächsten gelegene Messpunkte weisen die höchsten Wichtungsfaktoren auf (Webster & Oliver 2001, S. 167). Zur Beurteilung der Schätzgüte der Kriging-Karten wurden neben dem oben benannten MF und VMSF weiterhin die im Kapitel 5.1 beschriebenen MPF und $K_s$ berechnet. Als Rasterzellengröße wurde die durchschnitliche mittlere Nachbarschaftsdistanz über alle berücksichtigten räumlich verorteten Datensätze gewählt. Dies entspricht im vorliegenden Fall 3149 m.

---

[25] Ausgehend davon berechnet die Software für 32 Richtungen Modellvariogramme. Das resultierende Modellvariogramm-Bündel wird auch als *Semivariogram-Envelope* bezeichnet (Johnston et al. 2001).

### 5.2.2 Gesamte Nordsee

Da im MarGIS nicht nur für den deutschen Teil der Nordsee Seegrundprovinzen abgeleitet werden sollten, wurden auch für die gesamte Nordsee Flächenkarten geostatistisch berechnet. Für die ostwärtige Grenze der Nordsee wurde dabei der Grenzbreich zwischen dem Skagerrak und dem Kattegat gewählt (bei 10.6° östlicher Länge). Die Abgrenzung zum Nordatlantik sowie zum Ärmelkanal richtete sich nach der räumlichen Ausdehnung einer vom AWI übermittelten bathymetrischen Karte, die auf Basis von über 42.500 Messwerten für die gesamte Nordsee sowie die westliche Ostsee mittels der Triangulierungsmethode (TIN-Triangulated Irregular Network) berechnet wurde. Wie im Kapitel 5.2.1 wurden nur die Bereiche der Nordsee jenseits der 5m-Tiefenlinie einbezogen. Als geographisches Bezugssystem wurde diesmal das UTM-Koordinatensystem 31 Nord verwendet.

Wie im Fall der AWZ wurden die bodennahen Konzentrationen folgender gewässeranalytischer Kenngrößen aus der MarGIS-Datenbank für die geostatistischen Analysen berücksichtigt: Ammonium, Nitrat, Phosphat, Silikat, Gelöster Sauerstoff, Temperatur und Salinität. Als Alternative zu den vier monatlichen Zeitfenstern im Kapitel 5.2.1 wurde für die Nordsee die Messdaten für zwei Jahreszeiten abgefragt: für die Sommermonate (Juni-September) sowie für die Wintermonate (Dezember-März). Für jedes dieser Zeitfenster wurden die Messdaten diesmal über einen dreijährigen Zeitraum vom Winter 1997 bis zum Sommer 2000 aggregiert. Wie im Kapitel 5.2.1 beschrieben, wurden bei Standorten mit Mehrfachmessungen der jeweilige Mittelwert bei den geostatistischen Analysen verwendet. Über die zusätzliche Berechnung der Standardabweichungen wurden auch hier die Variationskoeffizienten bestimmt und pro Jahreszeit und Kenngröße gemittelt.

Die geostatistischen Analysen erfolgten zum größten Teil entsprechend der im Kapitel 5.2.1 beschriebenen Vorgehensweise. Lediglich hinsichtlich der Auswahlkriterien zur Berücksichtigung der abgefragten Datensätze wurde eine kleine Änderung vorgenommen. So wurden hier Datensätze nur dann verwendet, wenn diese aus jedem der drei Sommer bzw. Winter Messwerte enthielten. Aufgrund unzureichender Abdeckung des Untersuchungsgebiets wurden beide Datensätze zum gelösten Sauerstoff nicht berücksichtigt. Hinsichtlich sedimentolgischer Informationen wurde für die Nordsee auf die relativen Anteile der Korngrößenfraktionen 0-63µ und 63-2000µ zurückgegriffen. Für die Ton- und Schlufffraktionen konnten trotz der im Kapitel beschriebenen Maßnahmen (Ausreißereliminierung, Lognormaltransformation) keine räumliche Autokorrelation ausgemacht werden.

Die folgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über alle Datensätze sowie der für diese berechneten mittleren Nachbarschaftsdistanzen. Analog zum Vorgehen in Kapitel 5.2.1 wurde der Mittelwert dieser Distanzen über alle Datensätze als Rasterzellengröße verwendet (= 6418 m).

| Kenngröße | Zeitfenster | n | mittlere Nachbarschaftsdistanz |
|---|---|---|---|
| Ammonium | Sommer | 449 | 11238 |
| | Winter | 591 | 8578 |
| Nitrat | Sommer | 492 | 11746 |
| | Winter | 992 | 6375 |
| Phosphat | Sommer | 516 | 10445 |
| | Winter | 1045 | 6030 |
| Salinität | Sommer | 3659 | 1568 |
| | Winter | 4556 | 1779 |
| Temperatur | Sommer | 3829 | 1345 |
| | Winter | 4579 | 1574 |
| Silikat | Sommer | 501 | 10868 |
| | Winter | 1038 | 6118 |
| Korngröße_0bis63 | | 578 | 6523 |
| Korngröße_63bis2000 | | 878 | 5659 |

Tabelle 2: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - Nordsee

### 5.2.3 Westliche Ostsee

Die geostatistischen Analysen für die Ostsee konzentrierten sich aufgrund der vorliegenden Datenlage ausschließlich auf deren westlichen Abschnitte. Für die übrigen Bereiche war die räumliche Datendichte unzureichend. Als westliche Grenze wurde die im Kapitel 5.2.2 aufgeführte Linie zwischen dem Skagerrak und dem Kattegat festgelegt. Als östliche Grenze wurde der Meridian zwischen der Bundesrepublik und Polen bei 14.3° östlicher Länge gewählt. Als geographisches Bezugssystem wurde diesmal das UTM-Koordinatensystem 33 Nord verwendet.

Für die Ostsee wurden dieselben physikalisch-chemischen Messgrößen sowohl für die Sommer- als auch für die Wintermonate aus der Datenbank abgefragt. Da durch die Wahl eines dreijährigen Aggregationszeitraums in den meisten Fällen keine flächendeckenden Aussagen getroffen werden konnten, wurde das entsprechende Zeitfenster wie im Kapitel 5.2.1 auf einen sechsjährigen Zeitraum (1995 bis 2000) ausgedehnt. Für die Ammonium- und Silikatgehalte der unteren Wassersäule konnten auch dann keine flächendeckenden Aussagen getroffen werden und wurden daher bei den geostatistischen Analysen nicht berücksichtigt. Im Gegensatz zur Nordsee lagen für die Ostsee keine sedimentologischen Daten vor. Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über alle Messgrößen sowie die berechneten mittleren Nach-

barschaftsdistanzen. Wie im Fall der AWZ und der Nordsee wurde der Mittelwert dieser Distanzen über alle Datensätze als Kantenlänge der Rasterzellen verwendet (= 1877 m).

| Kenngröße | Zeitfenster | n | mittlere Nachbarschaftsdistanz |
|---|---|---|---|
| Nitrat | Sommer | 225 | 2664 |
| | Winter | 327 | 1858 |
| Gel. Sauerstoff | Sommer | 348 | 1841 |
| | Winter | 475 | 1706 |
| Phosphat | Sommer | 268 | 2139 |
| | Winter | 329 | 1848 |
| Salinität | Sommer | 703 | 1226 |
| | Winter | 816 | 1518 |
| Temperatur | Sommer | 616 | 1568 |
| | Winter | 565 | 2400 |

Tabelle 3: Mittlere Nachbarschaftsdistanzen - Ostsee

Die Berechnung von Variogrammen und Flächenkarten gleicht zum größten Teil der im Kapitel 5.2.1 dokumentierten Vorgehensweise. Allerdings konnten aufgrund der sehr unterschiedlichen Salinitätsverhältnisse im Westen des Untersuchungsgebietes (Nordseeeinfluss) und in dessen östichem Abschnitt (Brackwasserbedingungen) keine stationären Bedingungen angenommen werden. Der damit in Verbindung zu bringende Trend (→ Kapitel 5.1) wurde im Rahmen einer Trendanalyse bestätigt und über eine polynomische Funktion erster Ordnung aus den Messdaten herausgerechnet.

## *5.3 Ergebnisse*

Im Folgenden werden die Ergebnisse der geostatistischen Datenanalysen für die in Kapitel 5.2 benannten Untersuchungsgebiete beschrieben. Dies erfolgt sowohl in Form der mittleren Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (→ Anhang B.4, B.8, B.12), der Eingangsgrößen für die Erstellung der experimentellen Variogramme (→ Anhang, B.5, B.9, B.13), der Kenngrößen der angepassten Modellvariogramme (→ Anhang B.6, B.10, B.14) sowie der Schätzgütekennzahlen, die mit der Kreuzvalidierung abgeleitet wurden (→ Anhang B.7, B.11, B.15). Die Ergebnisse der kartographischen Aufarbeitung der Kriging-Berechnungen inkl. die zu ihrer Ableitung verwendeten Variogramme und Variogramm-Karten befinden sich in den Anhänge A.1 bis A.3.

Für die Farblegendierung aller Karten wurde die Option 'Stretched - Standard Deviation' der GIS-Software ArcGIS 9.0 verwendet. Dabei werden der Mittelwert +/- ein Vielfaches (hier n = 2) der Standardabweichung der Rasterzellenwerte berechnet und als Klassengrenzen festgelegt. Die Auswahl die-

ser Option garantiert eine nachvollziehbare Veranschaulichung der räumlichen Trends der Schätzwertverteilung.

### 5.3.1 AWZ der Nordsee

Messwertvariabilitäten. Die Tabelle im Anhang B.4 listet die Anzahl an Messtandorten und der an ihnen zwischen 1995 und 2000 durchgeführten Mehrfachmessungen für jede Messgröße und jedes Zeitintervall für das Gebiet der AWZ auf. Die daraus abgeleiteten, ebenfalls in der Tabelle aufgeführten mittleren Variabilitätskoeffizienten dienen der Einschätzung der lokalen zeitlich-bedingten Messwertvariabilitäten. Diese ist hilfreich bei der Interpretation der Ergebnisse der geostatistischen Analysenergebnisse und der darauf aufbauenden Seegrundprovinzen.

Hinsichtlich der Anzahl an mehrfach beprobten Standorten zeigt die Tabelle im Anhang B.4 für die betrachteten Messgrößen ein unterschiedliches Bild. So wurden die Nährstoffe Amonium, Nitrat, Phosphat und Silikat sowie der gelöste Sauerstoff in allen Jahresabschnitten an mindestens 30 und maximal 61 Standorten mehr als einmal in der unteren Wassersäule gemessen. Temperatur- und Salinitätsmessungen hingegen wurden bis auf das die Monate Oktober bis Dezember an mehr als 200 und z.T. sogar über 300 Standorten durchgeführt. Bei diesen beiden Kenngrößen zeigt sich auch die höchste maximale Anzahl an Mehrfachmessungen pro Standort (jeweils 35 in den Monaten April bis Juni). Bei den Nährstoffen liegt diese wesentlich niedriger (maximal sieben für die Silikatmessungen in den Monaten Januar bis März). Die minimal Anzahl an durchgeführten Messungen pro Standort liegt bei allen Messgrößen und Zeitintervallen bei zwei.

Die höchsten mittlere Variationskoeffizienten lassen sich v.a. für die seegrundnahen Nährstoffgehalte sowie den dort gemessenen gelösten Sauerstoffgehalten erkennen. Diese liegen mit Ausnahme der Silikatgehalte in den Monaten Januar bis März allesamt über 25 %. Maximale zeitliche Messwertvariabilitäten sind bei den Ammoniumgehalten in den Monaten Januar bis März (39,5 %) sowie bei den Silikatgehalten in den Monaten Juli bis September festzustellen. Sehr niedrige Messwertschwankungen lassen sich bei den Temperatur- und v.a. den Salinitätsmessungen erkennen. Bei den Temperaturmessungen liegen diese maximal bei 14 % (Januar bis März) und minimal bei 4,6 % (April bis Juni). Bei den Salinitätsgehalten treten mit maximal 1,14 % in den Monaten Januar bis März kaum Schwankungen auf.

Variogramm-Analysen. Der Anhang B.5 zeigt die Einstellungen für die Erstellung der Variogramm-Karten bzw. der daraus abgeleiteten experimentellen Variogramme für die AWZ. Es werden Angaben zur Größe der Lagsize (bzw. zur Größe der Rasterzellen der Variogramm-Karten) sowie zur Anzahl der

Lags (bzw. zur Größe des Variogramm-Kartenrasters) gemacht. Der Lagsize-Ratio gibt an, mit welchem Faktor die jeweilige mittlere Nachbarschaftsdistanz multipliziert werden musste, um in dem Variogramm-Fenster eine räumliche Autokorrelation ausmachen zu können. Es zeigte sich in allen Fällen, dass die Verwendung der einfachen mittleren Nachbarschaftsdistanz zu keinen brauchbaren Ergebnissen führte[26]. Daher wurde in allen Fällen ein Vielfaches dieser Distanz verwendet (maximal 8 bei den bodennahen Temperaturen in den Monaten Januar bis März). Die daraus resultierenden Distanzintervalle schwanken zwischen 3553 m (bodennahe Temperaturen in den Monaten Oktober bis Dezember) und 25621 m (bodennahe Phosphatgehalte in den Monaten Juli bis September). Der Anhang B.5 zeigt weiterhin, dass bei den Ton- und Schlufffraktionen 6 bzw. 2 Messwerte aus dem Datensatz eliminiert werden mussten, um eine räumliche Autokorrelation ausmachen zu können.

Die aus den genannten Einstellungen hervorgehenden Variogramm-Karten sowie experimentellen Variogramme inkl. der an diese angepassten Modellvariogramme sind in die Karten der Anhänge A.1.1 bis A.1.20 integriert. Eine Zusammenstellung der gewählten Eingangsgrößen der Modelvariogramme Nugget-Effekt, Partial Sill, Nugget-Sill-Ratio[27] inkl. der festgestellten Richtungsstrukturen in Form der Länge des Major und Minor Ranges, des Anisotropie-Ratios sowie der Anisotropie-Richtung[28] sind dem Anhang B.6 zu entnehmen.

In allen Fällen wurden anhand der Kreuzvalidierung sphärische Modellvariogramme zur Modellierung der räumlichen Autokorrelation ausgewählt. Deren niedrige Nugget-Effekte verweisen auf ausgeprägte räumliche Autokorrelationen (→ Anhang B.6). So liegen die Nugget-Sill-Ratios nur in einem Fall oberhalb von 0,5 (bodennahe Temperaturen in den Monaten Oktober bis September). In 11 von 20 Fällen liegen diese unter 0,25. Die Variogramm-Karten verweisen weiterhin auf z.T. deutliche Richtungstendenzen der räumlichen Autokorrelationsstruktur (Anhänge A.1.1 bis A.1.20). Dies äußert sich auch in den Anisotropie-Ratios. Bis auf zwei Fälle (bodennahe Temperaturen in den Monaten April bis Juni sowie Korngrößenfraktion 0 bis 20µ) liegen diese allesamt unter 0,75. Die Anisotropie-Richtung liegt zwi-

---

[26] Dies lässt sich darauf zurückzuführen, dass in einigen Abschnitten des Untersuchungsgebietes die Messpunkte z.T.stark geclustert vorlagen oder die Messpunkte insgesamt sehr dicht im Raum angeordent waren (→ Anhang 1). Dies resultiert in kurzen mittleren Nachbarschaftsdistanzen, was bei deren Verwendung als Distanzintervall das Erkennen eines Anstiegs der Semivarianzen mit der Distanz erschwert.

[27] Der Partial Sill entspricht der Differenz zwischen dem Sill und dem Nugget-Effekt. Der Nugget-Sill-Ratio ist definiert als das Verhältniss von Nugget-Effekt zu Sill. Je mehr letzteres gegen 0 tendiert, desto niedriger die lokale Messwertvariabilität.

[28] Das Anisotropie-Ratio gibt des Verhältnis zwischen dem kleineren und dem größeren Range wieder und liefert damit ein Maß für die Beschreibung der Form der Suchellipse, die bei den nachfolgednen Kriging-Berechnungen eingesetzt wird. Je weiter das Anisotropie-Ratio gegen 0 tendiert, desto schmaler ist diese. Die Anisotropie-Richtung beschreibt die räumliche Ausrichtung der längeren Ellipsenachse. 0° bedeutet dabei nördliche Ausrichtung, 90 ° bedeutet östliche Ausrichtung, und 270° bedeutet westliche Ausrichtung.

schen 327° (bodennahe Salinitätsverhältnisse in den Monaten Oktober bis Dezember) und 93,1° (bodennahe Temperaturen in den Monaten Oktober bis Dezember). Bis auf einen Fall zeigen die längeren Achsen der Suchellipsen in nordwest- bis südwestliche Richtung.

Kriging-Berechnungen. Unter Verwendung der in Anhang B.6 dokumentierten Variogrammmodelle erfolgten für die AWZ Ordinary Kriging Berechnungen, deren Ergebnisse in den Anhängen A.1.1 bis A.1.16 kartographisch veranschaulicht werden. In allen Fällen wirken sich die festgestellten Anisotropien in From des elliptischen Suchfensters auf die berechneten räumlichen Strukturen aus. Es fällt auf, dass für die bodennahen Nährstoffgehalte in den Monaten Januar bis März mehr oder weniger stark ausgeprägte küstenparallele Abnahmen in den Flächenkarten zu erkennen sind (→ Anhänge A.1.1, A.1.3, A.1.6, A.1.12). In den Monaten Juli bis September zeigen sich dagegen auch in den küstenferneren Abschnitten der AWZ relativ höhere Ammonium-, Nitrat-, Phosphat- und Silikatgehalte in der unteren Wassersäule (→ Anhänge A.1.2, A.1.4, A.1.7, A.1.13). Letzteres gilt auch für den gelösten Sauerstoff (→ Anhang A.1.5). Küstenparallele Abnahmen lassen sich ebenfalls für die bodennahen Salinitätsverhältnisse in allen vier Monatsintervallen festhalten (→ Anhang A.1.8 bis A.1.11). Die dabei veranschaulichten räumlichen Trends ähneln sich auffallend stark. Die Karten der bodennahen Wassertemperaturen in den Anhängen A.1.14 bis A.1.17 zeigen für die Monate April bis Juni und Juli bis September ähnlich räumliche Tendenzen. Für die Temperaturmessungen der unteren Wassersäule in den Monaten Oktober bis Dezember war es aufgrund der festgestellten kurzen Autokorrelationsreichweite nicht möglich, flächendeckend für die AWZ (inkl. Randzone) Schätzwerte zu berechnen. Gleiches gilt für die drei Korngrößenfraktionen, v.a. die Schlufffraktion (→ Anhang A.1.18 bis A.1.20) .

Schätzgüte. Die aus der Kreuzvalidierung abgeleiteten Schätzgütekennwerte sind dem Anhang B.7 zu entnehmen. Aufgeführt sind die berechneten MF-. VMSF-, MPF- und $K_s$-Werte. Der VMF wurde hier nicht aufgelistet, da dessen Höhe von den absoluten Werten der Messgröße abhängt und einen Vergleich der Messgrößen untereinander erschwert. Ein solcher Vergleich kann am ehesten über den MPF dargestellt werden.

Im Hinblick auf Über- bzw. Unterschätzungstendenzen zeigen sich in allen Fällen optimale Ergebnisse. So weicht der MF nur unwesentlich von 0 ab. Das durchschnittliche Verhältnis zwischen den quadrierten Kreuzvalidierungsfehlern und den Kriging-Varianzen liegt bei allen Kenngrößen und Zeitfenstern nahe 1. Die durch den MPF ausgedrückten Zentraltendenzen der absoluten Abweichungen zwischen gemessenen und geschätzten Werten zeigen v.a. für die Salinitätsmessungen sehr niedrige Werte unterhalb von 1 %. Gefolgt werden diese von den Temperaturen der bodennahen Wasserschicht. Hier liegt der MPF in allen Fällen unter 11%. Bei den Nährstoffmessungen sind höhere Abweichungen zu

verzeichnen, mit maximalen Werten von knapp 64 % bei den bodennahen Nitratgehalten der Monate Juli bis September. Der MPF beträgt bei den Nährstoffen im Mittel ca. 30 %. Korreliert man die zeitlich bedingten Messwertvariabilitäten aus Anhang B.4 mit den MPF-Werten, so zeigt sich eine ausgeprägte Korrelation (Korrelationskoeffizient nach Spearman = 0,98). Bei den Korngrößenfraktionen sind bis auf die Sandfraktion (1,6 %) hohe prozentualen Abweichungen zwischen Mess- und Schätzwerten festzuhalten (Tonfraktion 30,2 %, Schlufffraktion 70,1 %) festzuhalten. Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman verweisen in nahezu allen Fällen auf ausgeprägte Korrelationen zwischen den gemessenen und den geschätzten Werten. In 14 von 20 Fällen liegen diese oberhalb von 0,7.

### 5.3.2 Gesamte Nordsee

Messwertvariabilitäten. Im Vergleich zu den zeitlichen Messwertvariabilitäten, die innerhalb des sechsjährigen Bezugszeitraums von 1995 bis 2000 für die AWZ ermittelt wurden, zeigen die entsprechenden Ergebnisse für die gesamte Nordsee (Erhebungszeitraum 1997 bis 2000) v.a. in den Sommermonate (Juni bis September) bei den Nährstoffe weitaus höhere Werte (→ Anhang B.8). Diese liegen für Silikat und Phosphat über 45 % und für Ammonium und Nitrat gar über 100 %. Im Winter (Dezember bis März) liegen die mittleren Variabilitätskoeffizienten für Nitrat, Phosphat und Silikat dagegen lediglich bei 20 %. Nur die Ammoniumgehalte am Meeresboden schwanken noch vergleichweise hoch (75 %).

Die bodennahen Temperaturen und die Salinitätsverhältnisse wurden in beiden Jahreszeiten an über 350 bzw. 200 Standorten mehrfach gemessen. Die Anzahl mehrfach beprobter Standorte liegt mit maximal 128 (bodennahe Silikatmessungen im Winter) bei den Nährstoffen wesentlich niedriger, so v.a. festzustellen bei den Ammoniummessungen (68 im Winter und 47 im Sommer). Die maximale Anzahl an Mehrfachmessungen pro Standort liegt bei den Temperatur- und Salinitätsmessungen (jeweils 15 im Sommer und 31 im Winter) höher als bei den Nährstoffen (maximal 12 für Nitrat, Phosphat und Silikat in den Wintermonaten). Die minimal Anzahl an durchgeführten Messungen pro Standort liegt wie im Fall der AWZ bei allen Messgrößen und Zeitintervallen bei zwei.

Variogramm-Analysen. Der Anhang B.9 zeigt die Einstellungen für die Erstellung der Variogramm-Karten bzw. der daraus abgeleiteten experimentellen Variogramme für die gesamte Nordsee. Im Vergleich zu den Datensätzen der AWZ reichte hier in den meisten Fällen die einfache mittlere Nachbarschaftsdistanz aus, um eine räumliche Autokorrelation im Variogrammfenster ausmachen zu können. Lediglich bei den in sehr hoher Zahl vorliegenden Salinitäts- und Temperaturmessungen im Untersu-

chungsgebiet (→ Anhang A.2.7, A.2.8, A.2.11, A.2.12) musste die mittlere Nachbarschaftsdistanz mit einem Faktor von bis zu 10 multipliziert werden. Die Distanzintervalle schwanken von 1345 m (bodennahe Temperaturen in den Sommermonaten) bis zu 108681 m (bodennahe Silikatgehalte in den Sommermonaten). Anhang B.9 zeigt weiterhin, dass in vier Fällen räumliche Ausreißer aus den Datensätzen entfernt werden mussten. Bei der Korngrößenfraktion 0 bis 63µ konnte nur mit einer Lognormaltransformation der Rohdaten eine räumliche Autokorrelation nachgewiesen werden. Die Schiefe der diesbezüglichen Messwertverteilung lag bei 2,9. Webster & Oliver (2001) schlagen ab einer Schiefe von 1 eine Lognormaltransformation der Daten vor.

Wie für die AWZ wurden für alle Meesgrößen in allen Zeitfenstern sphärische Modellvariogramme ausgewählt, um die räumlichen Autokorrelation zu modellieren. Auch hier zeigen sich sehr niedrige Nugget-Effekte (→ Anhang B.10). So liegen die Nugget-Sill-Ratios bis auf eine Ausnahme (bodennahe Phosphatgehalte in den Wintermonaten) alle unter 0,3. Zwar weisen auch hier die Variogramm-Karten auf Richtungstendenzen in der räumlichen Autokorrelationsstruktur hin (→ Anhänge A.2.1 bis A.2.14), jedoch sind diese bei weitem nicht so deutlich ausgeprägt wie in der AWZ. So liegen bei der Hälfte der Fälle die Anisotropie-Ratios über 0,75. In drei Fällen (bodennahe Ammoniumgehalte in den Wintermonaten, bodennahe Temperaturen in den Sommermonaten sowie Korngrößenfraktion 63 bis 2000µ) liegt dieses gar über 0,9. Die Anisotropie-Richtung liegt zwischen 342,5° (bodennahe Silikatgehalte in den Wintermonaten) und 71,2° (Korngrößenfraktion 0 bis 63µ). Auch hier zeigt die längere Achse der Suchellipse größtenteils in nordwest- bis südwestliche Richtung.

Kriging-Berechnungen. Die Ergebnisse der kartographischen Aufarbeitung der Kriging Berechnungen für die gesamte Nordsee befinden sich in den Anhängen A.2.1 bis A.2.14. Auch hier wirken sich die im Anhang B.10 festgehaltenen Anisotropien auf die berechneten räumlichen Strukturen der Schätzwertverteilungen aus. Es fällt auf, dass hohe bodennahen Nährstoffgehalte in den Monaten Dezember bis März fast ausschließlich in küstennäheren Abschnitten der Nordsee zu sehen sind, während dessen sich diese in den Monaten Juni bis September großflächig v.a. in den zentralen bis nordwestlichen Abschnitten der Nordsee wiederfinden lassen (→ Anhänge A.2.1 bis A.2.6 sowie A.2.9 und A.2.10). Küstenparallele Abnahmen lassen sich für die bodennahen Salinitätsverhältnisse sowohl im Sommer als auch im Winter erkennen (→ Anhang A.2.7, 2.8), wobei sich deren räumliche Verteilungen auffallend ähneln. Die Temperaturen am Seegrund der Nordsee weisen in den Wintermonaten niedrige Werte v.a. in den küstennäheren, flacheren Abschnitten auf. Ausnahme bildet hierbei der Übergang zum Nordatlantik (→ Anhang A.2.11). In den Sommermonaten ist der gesamte südliche Bereich der Nordsee durch hohe Temperaturen gekennzeichnet (→ Anhang A.2.12). Wie im Fall der AWZ können aufgrund der zu

geringen Reichweiten der Modellvariogramme und der unregelmäßigen räumlichen Messwertverteilungen für die Korngrößenfraktionen keine flächendeckenden Aussagen gemacht werden (Anhänge A.2.13, A.2.14).

Schätzgüte. Wie bei den Schätzgüteergebnissen für die Flächenschätzungen innerhalb der AWZ lassen sich auch für die gesamte Nordsee keine tendenziellen Über- bzw. Unterschätzungstendenzen festhalten (→ Anhang A.B.11). Dies gilt sowohl im Hinblick auf die MF- als auch die VMSF-Werte. Die niedrigsten prozentualen Abweichungen zeigen sich für die bodennahe Salinität, gefolgt von den bodennahen Temperaturen und den Korngrößenfraktionen bzw. Nährstoffgehalten der unteren Wassersäule. Korreliert man die zeitlich bedingten Messwertvariabilitäten aus Anhang B.8 mit den MPF-Werten, so zeigt sich auch für die gesamte Nordsee eine ausgeprägte Korrelation (Korrelationskoeffizient nach Spearman = 0,93). Bei den Korngrößenfraktionen weist wie bei der AWZ die Sandfraktion einen besonders niedrigen MPF auf (1,7%). Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman zwischen den gemessenen und den geschätzten Werten liegen bis auf 5 Fälle alle oberhalb von 0,7.

### 5.3.3 Westliche Ostsee

Messwertvariabilitäten. Im Vergleich zu den beiden anderen Untersuchungsräumen beträgt die Anzahl an mehrfach beprobten Standorten in der Ostsee bei allen fünf Messgrößen sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten immer über 150 (→Anhang B.12). Hierbei sind v.a. die Salinitätsgehalte der bodennahen Wassersäule hervorzuheben, die sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten der Jahre 1995 bis 2000 an über 300 Standorten gemessen wurden. Gleiches gilt für die Nitratmessungen im Sommer. Die maximale Anzahl an Mehrfachmessungen pro Standort liegt bei allen Messgrößen in beiden Zeitintervallen mit ca. 20 ähnlich hoch. Die minimal Anzahl an durchgeführten Messungen pro Standort liegt wie im Fall der AWZ und der gesamten Nordsee bei allen Messgrößen und Zeitintervallen bei zwei. Wie für die Nordsee zeigen die berechneten mittleren Variationskoeffizienten der Nährstoffmessungen in der bodennahen Wasserschicht im Winter niedrigere Werte als in den Sommermonaten. Auffallend niedrige Messwertvariabilitäten im Winter ist v.a. bei den bodennahen Nitratgehalten festzuhalten (9,4 %). Die Salinitätsschwankungen liegen im Vergleich zu denen der Nordsee sowohl in den Sommer- as auch in den Wintermonaten höher (6,7 % im Winter und 5,9 % im Sommer).

Variogramm-Analysen. Für die Phosphatgehalte in der seegrundnahen Wasserschicht der westlichen Ostsee konnte trotz Ausreißereliminierung und Lognormaltransformation für beide Jahreszeiten keine

räumliche Autokorrelation erkennbar gemacht werden. Die Datensätze wurden daher bei den geostatistischen Analysen nicht weiter berücksichtigt. Die Einstellungen für die Erstellung der Variogramm-Karten bzw. der daraus abgeleiteten experimentellen Variogramme für die übrigen Messgrößen sind dem Anhang B.13 zu entnehmen. In allen Fällen reichte die einfache mittlere Nachbarschaftsdistanz nicht aus, um eine räumliche Autokorrelation im Variogramm-Fenster ausmachen zu können. So musste diese in vier von acht Fällen mit dem Faktor 10 multipliziert werden. Die daraus resultierende Distanzintervalle reichen von 7839 m (bodennahe Temperaturen im Sommer) bis zu 26630 m (bodennahe Nitratgehalte im Sommer). Der Messdatensatz über die bodennahen Nitratgehalte in den Wintermonaten musste lognormaltransformiert werden, denn die Schiefe der diesbezüglichen Messdatenverteilung lag bei 3,5. Nur so konnte eine räumliche Autokorrelation entdeckt und modelliert werden. Aus den in Kapitel 5.2.3 genannten Gründen wurden die Salinitätsdaten mit Hilfe einer polynomischen Funktion erster Ordnung trendbereinigt, bevor Variogramm-Analysen und Kriging-Schätzungen durchgeführt wurden.

Auch für die westliche Ostsee wurden ausgehend von den Ergebnissen der Kreuzvalidierung in allen Fällen sphärische Modellvariogramme als optimal befunden, um die räumlichen Autokorrelation zu modellieren. Auch hier zeigen sich sehr niedrige Nugget-Sill-Ratios, die allesamt unter 0,5 liegen (→ Anhang B.14). Die Variogramm-Karten verweisen für die westliche Ostsee in allen Fällen auf mehr oder weniger starke Richtungstendenzen in der räumlichen Autokorrelationsstruktur hin (→ Anhänge A.3.1 bis A.3.8). Die längere Achse der Suchellipse verweist bis auf eine Ausnahme bei allen Messgrößen sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten in nordöstliche bis nördliche Richtung.

Kriging-Berechnungen. Die Ergebnisse der kartographischen Aufarbeitung der Kriging Berechnungen für die westliche Ostsee befinden sich in den Anhängen A.3.1 bis A.2.8. Hinsichtlich der Salinitätsverhältnisse am Seegrund der westlichen Ostsee sind die erwarteten Abnahmen vom Übergangsbereich zur Nordsee zu den südöstlichen Abschnitten der westlichen Ostsee in beiden Monatsintervallen zu beobachten. Wiederum können ähnliche Strukturen ausgemacht werden (→ Anhang A.3.5, A.3.6). Auch bei den Kriging-Karten für die westliche Ostsee machen sich die z.T. deutlich ausgebildeten und modellierten räumlichen Anisotropien in den kartographischen Darstellungen bemerkbar. Die gilt v.a. für die bodennahen Temperaturen in den Monaten Dezember bis März (Anisotopie-Ratio = 0,35) sowie für die Gehalte an gelöstem Sauerstoff der unteren Wasserschichten (Anisotropie-Ratio = 0,4) (→ Anhang A.3.4, 3.7). Weiterhin lässt sich festhalten, dass die seegrundnahen Nitratgehalte fast in der gesamten westlichen Ostsee im Sommer niedriger sind als im Winter (→ Anhänge A.3.1, A.3.2). Gleiches gilt für die Gehalte an gelöstem Sauerstoff (→ Anhänge A.3.3, A.3.4). Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman zwischen gemessenen und den geschätzten Werten liegen bis alle oberhalb von 0,75. Die

Korrelationen zwischen den zeitlich bedingten Messwertvariabilitäten aus Anhang B.8 und den MPF-Werten sind auch für die westliche Ostsee deutlich ausgeprägt (0,83).

# 6 Statistische Ableitung von Seegrundprovinzen für die Nord- und Ostsee

Die Ableitung von Habitattypen für den Seegrund von Nord- und Ostsee erfolgte unter Zuhilfenahme zweier multivariat-statistischer Methoden, die im Kapitel 6.1 beschreiben werden.. Das Verfahren CART wurde verwendet, um mit flächenhaft vorliegenden Rasterkarten über abiotische Kenngrößen (→ Kapitel 5.3) sowie mit punkthaft vorliegenden biotischen Daten Entscheidungsbäume für das Auftreten benthischer Lebensgemeinschaften abzuleiten und diese im Sinne einer prädiktiven Habitatkartierung anzuwenden. Aufgrund der vorliegenden Datenlage konnte dies nur für die Ausschließliche Wirtschaftszone der Nordsee und die gesamte Nordsee durchgeführt werden. Für die Ostsee wurden multivariate Clustermethoden angewendet, um die vorliegenden Rasterinformationen (→ Kapitel 5.3) zu abiotischen Seegrundprovinzen zu aggregieren.

## *6.1 Methodische Grundlagen*

CART. Das CART-Verfahren dient der Strukturierung und nachvollziehbaren Darstellung von Zusammenhängen zwischen einer Zielvariablen und nach fachlichen Überlegungen ausgewählter Prädiktoren (Breiman et al. 1984). Ziel ist es, für die Ausprägungen der Zielvariablen ein Vorhersagemodell in Form eines Regressionsbaums (Zielvariable metrsich) oder Klassifikationsbaums (Zielvariable kategorial) abzuleiten. Die Verwendung von derartigen Entscheidungsbaumverfahren erfolgte zunächst in den Sozialwissenschaften (Morgan & Sonquist 1963; Morgan & Messenger 1973). In der angewandten Psychologie sowie in der medizinischen Forschung wird CART dazu verwendet, Verhaltensweisen und Krankheiten von Patienten vorhersagen zu können (Swan et al. 2004; Arentze & Timmermans 2005; Rosenfeld et al. 2005). Auch in der Umweltforschung wird CART erfolgreich eingesetzt, so zu sehen im Umweltmonitoringbereich (Ryan 1995; Schröder & Schmidt 2001), in Forstbereich (Lawrence & Labus 2003) oder in der angewandten Meteorologie (Walmsey et al. 2001). Im marinen Bereich verwendeten Norcross et al. (1999) CART, um Brutaufzuchtsgebiete von küstennahen Plattfischen in den Gewässern Alaskas zu klassifizieren. Gosselain et al. (2005) setzten CART ein, um physikalische Kenngrößen zu identifizieren, die die Biomasse von epiphytischen Algen im St. Lawrence Strom (Quebec, Canada) beinflussen.

Mit CART können sowohl nominale wie auch metrische Daten verarbeitet werden. Dies gilt sowohl für die Zielvariable wie auch für die Prädiktoren. Die Vorgehensweise zur Generierung eines Entscheidungsbaumes beruht auf der schrittweisen binären Partitionierung des Ausgangsdatensatzes (auch Wurzelknoten, root node) und der daraus hervorgehenden Untergruppen (auch Unterknoten, subnodes). Die Trennkriterien werden dabei aus den Merkmalsausprägungen der Prädiktoren abgeleitet. Die Untergruppen sind so zu bilden, dass sie hinsichtlich der Ausprägung der Zielvariablen möglichst homogen (oder rein) sind. Diese binäre Aufteilung wird im CART-Verfahren über ein zu minimierendes Inhomogenitätsmaß gesteuert. Je nachdem, ob die Zielvariable metrisches, ordinales oder nominales Skalenniveau aufweist, existieren unterschiedliche derartige Maße. Bei nominalem Skalenniveau wird häufig der Gini-Index eingesetzt. Dieser definiert sich wie folgt (Steinberg & Colla 1995):

$$g(a) = 1 - \sum_i P(i \mid a)^2$$

Dabei ist *P(i/a)* die relative Häufigkeit des i-ten Kategorie im Knoten *a*. Somit entspricht der Gini-Index G(a) den aufsummierten quadrierten relativen Häufigkeiten aller Kategorien der Zielvariablen abgezogen von 1. Im Falle einer optimalen Homogenität gehören alle Objekte im Knoten *a* derselben Kategorie. Der Gini-Index nimmt dann den Wert 0 an. Um die optimalen Trennung bzw. den optimalen Split aus dem Datensatz abzuleiten, wählt CART dasjenige Trennkriterium, das von allen möglichen Partitionierungen den größtmöglichen Zuwachs an Homogenität herstellt. Diese auch als Improvement bezeichnete Maßzahl berechnet sich aus der Differenz des Gini-Indexes des Ausgangsknotens und der Summe der gewichteten Gini-Indizes der beiden Unterknoten. Die Gewichtung entspricht dabei den relativen Anteilen der Unterknoten am Ausgangsknoten.

Das Wachsen des CART-Baumes wird solange fortgeführt, bis vom Anwender festgelegte Abbruchregeln verletzt werden (zu wenige Objekte in einem Unterknoten; zu geringes Improvement) oder der Baum nicht weiter wachsen kann (nur ein Objekt im Unterknoten; optimale Homogenität erreicht). Ist der Baum zu komplex, so kann dieser entweder automatisiert (in Form von Pruning) oder nach fachlichen Überlegungen zurückgeschnitten werden.

Neben den Erkenntnissen über die Wahl der Splitfaktoren stellen die sogenannten Endknoten (auch Endnodes) das wichtigste Ergebnis der CART-Analyse dar. Diese entsprechen den Endprodukten der Klassifizierung und sollten im besten Fall von einer Ausprägung der Zielvariablen dominiert sein, ohne zu wenige Objekte zu enthalten. Da diese Endknoten durch eine hierarchische Abfolge von Entschei-

dungsregeln definiert sind, können diese dazu verwendet werden, die Ausprägung eines Merkmals der Zielvariablen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorherzusagen.

Die Güte eines CART-Baumes kann durch die sogenannte Fehlklassifikationsrate ermittelt werden. Diese entspricht dem Verhältniss aller fehlklassifizierten Fälle (Objekte, die nicht der dominierenden Ausprägung der Zielvariablen in den jeweiligen Endknoten zuzuordnen sind) und der Gesamtanzahl der Ausgangsdatenmenge.

Cluster-Analysen. Werden beim CART-Verfahren Objekte im Hinblick auf deren Ähnlichkeit in Bezug auf eine (Ziel-)Variable gruppiert, wird bei Cluster-Analysen eine heterogene Stichprobe anhand der Ähnlichkeit mehrerer Variablen in möglichst homogene Teilmengen (= Cluster, Gruppen) unterteilt. Die Elemente oder Objekte einer Teilmenge sollen sich dabei hinsichtlich der Ausprägungen aller Merkmalsausprägungen möglichst ähneln (Homogenitätsprinzip), die Gruppen untereinander möglichst verschieden sein (Heterogenitätsprinzip). Die Gruppierung von n Objekten in möglichst homogenen Clustern verläuft bei Clusterverfahren automatisiert, d.h. gemäß ausgewählter mathematischer Algorithmen, wobei u.a. zwischen hierarchischen und partitionierenden Verfahren unterschieden wird.

Nach Backhaus et al. (2000) sind bei hierarchischen Cluster-Verfahren agglomerative und divisive Ansätze zu unterscheiden. Divisive hierarchische Clusterverfahren beginnen mit der Gesamtheit an Objekten in einem Cluster, wobei dessen Elemente schrittweise in kleinere Cluster zerlegt werden. (Mucha 1994). Agglomerative hierarchische Verfahren kommen der Anforderung, eine Gruppierung der Gesamtheit eines Datensatzes vorzunehmen, am nächsten, da alle Untersuchungsobjekte nach ausgewählten Ähnlichkeitsprinzipien schrittweise so lange fusioniert werden bis schließlich ein Cluster übrig bleibt. Neben mehreren bei Mucha (1994) sowie Bahrenberg et al. (1992) erläuterten agglomerativen Cluster-Ansätzen ist vor allem das Verfahren nach Ward zu nennen, das ".... die Forderung nach interner Homogenität innerhalb der Cluster und maximaler Heterogenität zwischen den Clustern explizit zum Kriterium der schrittweisen Gruppierung [macht]..." (Bahrenberg et al. 1992, S. 286). Das Ähnlichkeitsprinzip des Verfahrens nach Ward beruht auf der Minimierung eines vorgegebenen Heterogenitätsmaßes, der so genannten Fehlerquadratsumme. Es werden diejenigen Cluster fusioniert, für die die neu berechnete Gesamtvarianz innerhalb aller Cluster minimal ist. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens nach Ward ist, dass durch die schrittweise Zusammenlegung der Standorte zu Clustern bei Minimierung der clusterinternen Heterogenität eine geeignete Klassenanzahl festgelegt werden kann.

Anders als die hierarchisch-agglomerativen Verfahren, bei denen die Zuordnung der Elemente zu einem Cluster "fest" ist, ist in dem partitionierenden Verfahren K-Means eine Umordnung der Elemente in jedem Gliederungsschritt möglich bzw. erwünscht. Wie beim Ward-Verfahren wird die euklidische Distanz

als Proximitätsmaß verwendet. Ausgehend von einer durch den Anwender festgelegten Startpartition, die durch eine ausgewählte Anzahl von Clustern sowie deren Clusterzentren (= Mittelwerte der Merkmalsausprägungen innerhalb der Cluster) beschrieben wird, werden die Objekte zwischen den Clustern so lange verlagert, bis sich keine Verbesserung der Zuordnung der Objekte zu den Clustern mehr erreichen lässt (Backhaus et al. 2000). Als Zielfunktion wird in der Software SPSS die Summe der euklidischen Distanzen zwischen den Clusterzentren und den entsprechenden Objekten verwendet.

Als quantitatives Maß für die Klassifizierungsgüte von Clustern schlagen Backhaus et al. (2000) F- und T-Werte vor. Die F-Werte quantifizieren den Anteil der clusterinternen Varianz einer Variablen an der Gesamtvarianz des Datensatzes und sind somit ein Maß für die Homogenität eines Clusters. Übersteigt der F-Wert einer Variablen innerhalb eines Clusters den Wert 1 ist, so liegt die clusterinterne Streuung höher als die Gesamtstreuung des Datensatzes. T-Werte dienen der Interpretation der Cluster. Der T-Wert ist die Differenz zwischen dem Mittelwert einer Variablen in einem Cluster und dem der Gesamtdatenmenge, standardisiert an der Standardabweichung des Gesamtdatensatzes. Negative T-Werte zeigen, dass die jeweilige Variable in dem Cluster im Vergleich zum gesamten Datensatz unterrepräsentiert ist. Positive T-Werte weisen auf das Gegenteil hin.

## *6.2 Durchführung*

Im Folgenden wird die Durchführung der multivariat-statistischen Ableitung prädiktiver Habitatkarten für die AWZ und die gesamte Nordsee (→ Kapitel 6.2.1) sowie abiotischer Seegrundprovinzen für die westliche Ostsee (→ Kapitel 6.2.2) beschrieben. Die Cluster-Analysen wurden mit dem Programm SPSS 12.0, die CART-Analysen mit dem SPSS-Modul Answer Tree 3.1 durchgeführt. Sämtliche kartografische Arbeiten erfolgten mit Hilfe der Software ArcGIS 9.0.

### 6.2.1 CART-Analysen

Die prädiktive Habitatkartierung beruht auf der Berechnung von CART- bzw. Entscheidungsbäumen für das Auftreten benthischer Lebensgemeinschaften in Abhängigkeit abiotischer Standortfaktoren. Mit Ausnahme der eingesetzten Prädiktoren ist die methodische Vorgehensweise dabei für die AWZ und die gesamte Nordsee identisch (→ Abbildung 5). Es können vier Arbeitsschritte unterschieden werden:
(1) Wahl der Zielvariable und der Prädiktoren,

(2) Verschneidung von Punkt- und Flächendaten,

(3) Durchführung der CART-Analysen sowie

(4) Erstellung und statistische Beschreibung der prädiktiven Habitatkarten.

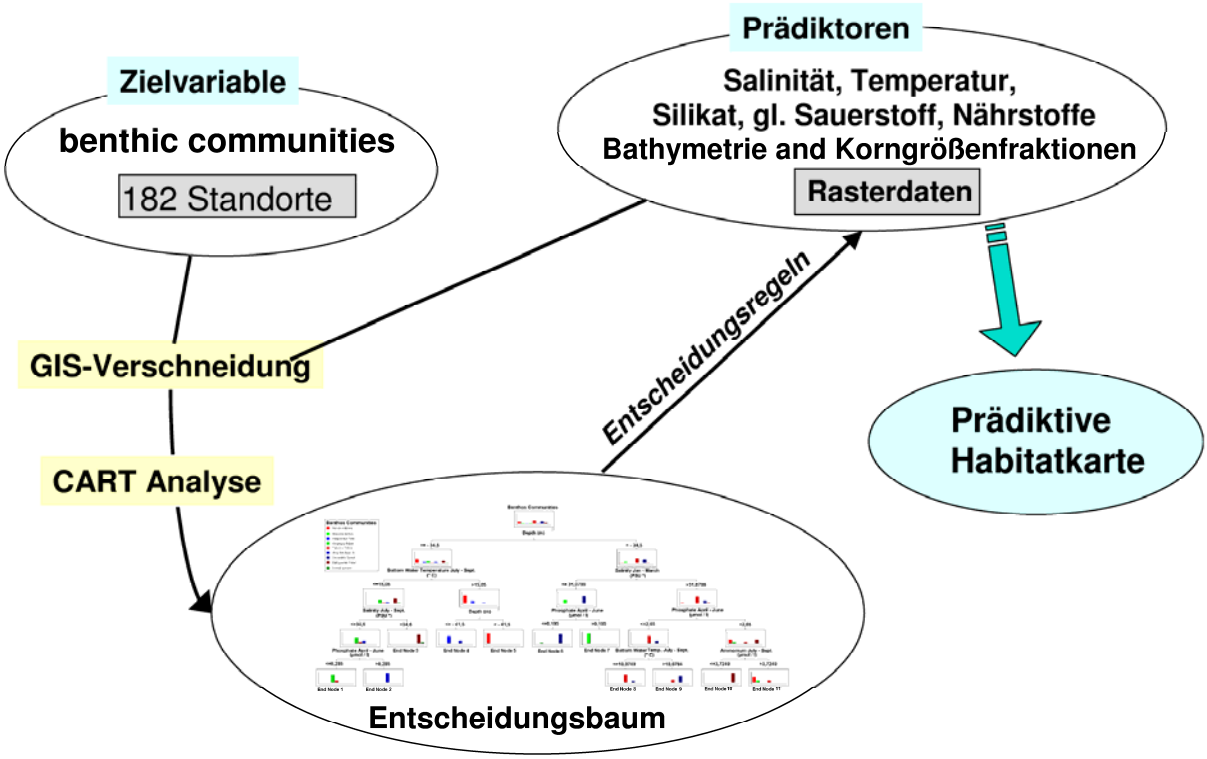



Abbildung 5: Methodische Vorgehensweise zur Ableitung benthischer Habitatkarten

Zielvariable und Prädiktoren. Als Zielvariable wurden die von Rachor & Nehmer (2003) abgeleiteten benthische Lebensgemeinschaften definiert, die für 182 Standorte innerhalb der AWZ und der angrenzenden Nordseebereiche aus Abundanzdaten endofaunistischer Organismen multivariat-statistisch berechnet wurden (→ Kapitel 3). Die diesbezügliche Datenaufnahme erfolgte zum größten Teil im Sommer 2000. Unterschieden werden acht Lebensgemeinschaften, die von Rachor & Nehmer (2003) zur Charakterisierung ökologisch besonders bedeutsamer Lebensräume herangezogen wurden (→ Abbildung 6): Amphiura Filiformis (53 Standorte), Tellina Fabula (40 Standorte), Goniadella Spisula (27 Standorte), Nucula Nitidosa (24 Standorte) Bathyporeia Tellina (20 Standorte), Macoma Balthica (8 Standorte), Lebensgemeinschaften "Zentrale Nordsee" (5 Standorte) sowie "Helgoländer Tiefe Rinne" (4 Standorte).

Als Prädiktoren wurden abiotische Standortfaktoren definiert, die für das Auftreten benthischer Organismen wichtig sind. Hierzu zählen neben der Bathymetrie, den bodennahen Salinitäts- und Tempera-

turverhältnissen und den sedimentologischen Voraussetzungen auch Informationen über mögliche Eutrophierungserscheinungen (vgl. Kröncke & Bergfeld 2001).

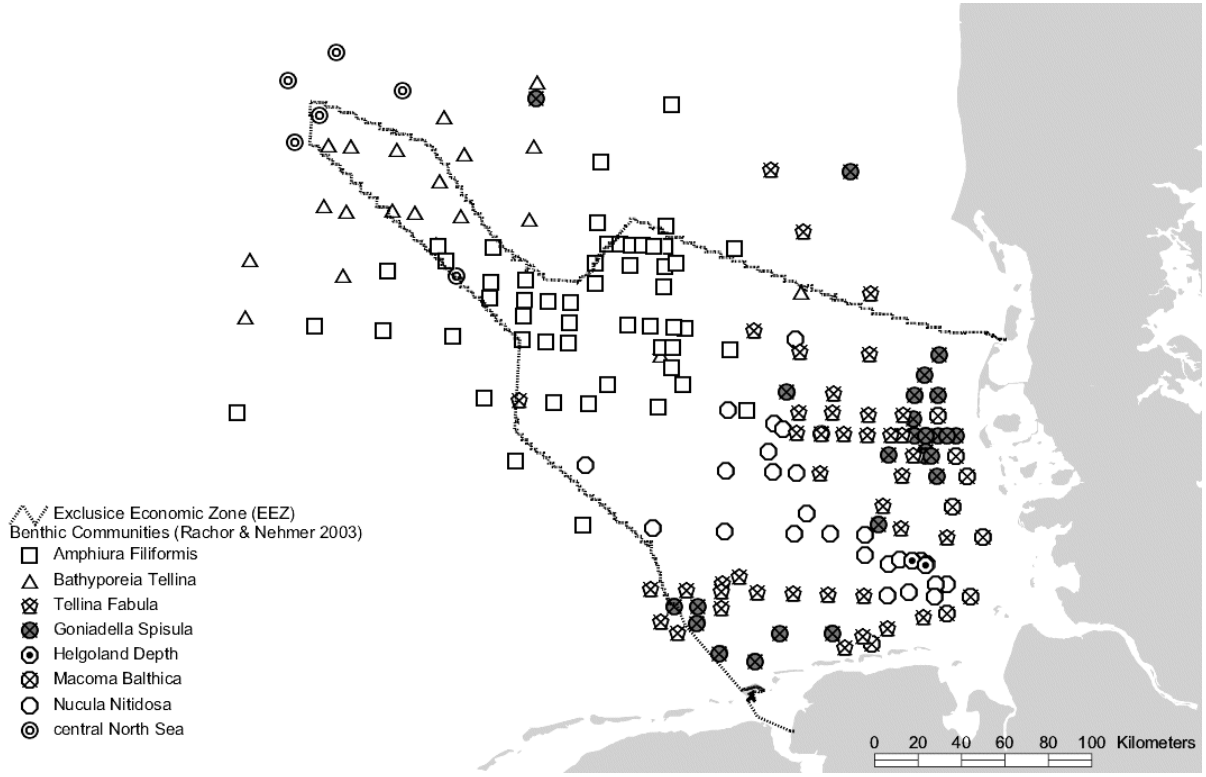



Abbildung 6: Benthische Lebensgemeinschaften in der Nordsee (nach Rachor & Nehmer 2003)

GIS-Verschneidung. Da an den 182 Standorten keine vollständigen abiotischen Informationen vorlagen und die aus der CART-Analyse resultuierenden Entscheidungsbäume auf den gesamten Untersuchungsraum übertragen werden sollten, wurden die geostatistisch berechneten Rasterkarten (→ Kapitel 5.3) sowie die vom AWI berechnete bathymetrische Karte als Prädiktorvariablen verwendet. Dazu mussten die jeweiligen Rasterkarten mit den Punktdaten über benthische Lebensgemeinschaften im GIS verschnitten werden. Resultat waren zwei Tabellen mit folgende Spalteninformationen:

AWZ: Benthische Lebensgemeinschaften (→ Zielvariable);
Temperatur, Salinität (Januar bis März, April bis Juni, Juli bis September, Oktober bis Dezember), Ammonium, Nitrat, Phosphat, Silikat (Januar bis März, Juli bis September), gelöster Sauerstoff (Juli bis September) sowie die drei Korngrößenfraktionen 0 bis 20µ, 20 bis 63µ, 63 bis 2000µ und die Bathymetrie (→ Prädiktoren)

Gesamte Nordsee:
Benthische Lebensgemeinschaften (→ Zielvariable);

Temperatur, Salinität , Ammonium, Nitrat, Phosphat, Silikat (Juni bis Septemer, Dezember bis März) sowie die zwei Korngrößenfraktionen 0 bis 63µ, 63 bis 2000µ und die Bathymetrie (→ Prädiktoren)

CART-Analysen. Um eine unnötige Komplexität der Entscheidungsbäume zu vermeiden, wurden bei den CART-Analysen Abbruch- bzw. Stoppkriterien festgesetzt. So wurde die maximale Anzahl an Standorten pro Endknoten auf vier gesetzt, entsprechend der benthischen Lebensgemeinschaft mit der geringsten Fallzahl (→ "Helgoländer Tiefe Rinne"). Weiterhin wurden nur dann ein Knoten in zwei Subgruppen unterteilt, wenn das daraus resultierende Improvement (→ Kapitel 6.1) mindestens 0,001 betrug. Die derart generierten Entscheidungsbäume wurden abschließend durch manuelles Zurückschneiden derart verkleinert, dass jede der acht benthischen Lebensgemeinschaften nach Möglichkeit nur einen Endknoten dominiert, entsprechend einer relativen Häufigkeit von mindestens 75 %. Zur Beschreibung der Güte der derart berechneten CART-Bäume wurden Fehlklassifikationsrate und -matrix berechnet.

Habitatkartenerstellung und -beschreibung. Alle in den Entscheidungsbäumen vorliegenden Endknoten sind das Ergebnis einer hierarchischen Abfolge von Entscheidungsregeln. Um das potenzielle Auftreten einer Lebensgemeinschaft im jeweiligen Untersuchungsgebiet vorherzusagen, wurden diese Regeln als SPSS-Syntax exportiert und auf die abiotischen Rasterkarten der AWZ bzw. der gesamten Nordsee angewendet[29]. Die derart räumlich verallgemeinerten Endknoten bzw. prädiktiven Habitattypen oder Lebensraumklassen wurden anschließend mit den Rasterkarten über die Prädiktorvariablen verschnitten. Pro Lebensraumklasse wurden für alle abiotischen Eingangsvariablen deskriptiv-statistische Kenngrößen (Anzahl der Fälle, Minimum, Maximum, Median, Mittelwert, Standardabweichung) sowie daraus abzuleitende F- und T-Werte tabellarisch festgehalten. Unter Verwendung des Mann-Whitney U-Tests wurden weiterhin alle Lebenraumklassen auf signifikante Unterschiede geprüft. (α= 0,001).

### 6.2.2 Cluster-Analysen

Da für die Ostsee keine Informationen über benthische Organismen bzw. Lebensgemeinschaften vorlagen, wurden hier mit Hilfe der multivariaten Clustermethoden nach Ward und K-Means abiotische Seegrundprovinzen berechnet. Dies erfolgte unter Verwendung der in Kapitel 5.3.3 beschriebenen Raster-

[29] Dabei muss erwähnt werden, dass für beide Untersuchungsräume das Klassifikationssystem ausschließlich mit Eingangsdaten berechnet wurde, die aus der AWZ inkl. deren Randbereiche stammen. Im Fall der gesamten Nordsee wurde das System somit auf einen weitaus größeren Raumausschnitt angewendet.

karten über Temperatur, Salinität , Nitrat, Phosphat und gel. Sauerstoff (Juni bis Septemer, Dezember bis März) und der vom AWI stammenden, auch für den westlichen Ostseeraum vorliegenden bathymetrische Karte[30]. Vor der Clusteranalyse wurden die Daten z-transformiert, um ihre sehr unterschiedlich breite Skalenspreizung auszugleichen. Ansonsten gehen Variablen mit einer sehr breiten Skala, wie z.B. die Bathymetrie mit höherem Gewicht in die Clusteranalyse ein.

Zur Ermittlung einer geeigneten Klassenanzahl wurde mit dem Verfahren nach Ward pro Aggregierungsschritt die Fehlerquadratsummen bzw. die aufsummierten clusterinternen Varianzen festgehalten und gegen die entsprechende Clusteranzahl in einem Koordinatensystem aufgetragen. Sprünge oder sogenannte Elbows (Backhaus et al. 2000) in der Kurve deuten darauf hin, dass im Vergleich zur vorangegangenen Fusionierungsstufe ein starker Heterogenitätszuwachs vorliegt. Da im vorliegenden Fall auf diese Art und Weise keine Sprünge auszumachen waren, wurden die *Änderungen* der Fehlerquadratsummen pro Aggregierungsschritt verwendet.

Nach Festlegung der Klassenanzahl erfolgte die Gruppierung der Rasterdaten mit dem Verfahren nach Ward. Die daraus resultierenden Cluster wurden anschließend mit dem K-Means-Verfahren optimiert. Dies erfolgte derart, dass die Mittelwerte der Eingangsvariablen innerhalb der Ward-Cluster (= Clusterzentren) als Startpartition in die K-Means-Prozedur eingebunden wurden. Die Cluster wurden so lange iteriert, bis keine Veränderungen mehr auftraten. Die statistische Beschreibung der derart generierten Cluster erfolgte entsprechend der im Kapitel 6.2.1 beschriebenen Vorgehensweise.

## *6.3 Ergebnisse*

### 6.3.1 Prädiktive Habitatkartierung in der AWZ der Nordsee

Die Ergebnisse der prädiktiven Habitatkartierung in der AWZ der Nordsee in Form des CART-Dendrogramms und einer kartografischen Übersicht der daraus abgeleiteten Lebensraumklassen sind dem Anhang C.1 bzw. A.4 zu entnehmen. Die statistischen Beschreibungen des CART-Baums in Form der Fehlklassifikationsmatrix sowie der Habitatklassen in Form der deskriptiven Statistiken, der F- und T-Werte sowie der schließenden Statistik sind in den Anhängen B.16 bis B.20 aufgeführt.

---

[30] Da diese nicht den gesamten Bereich des in Kapitel 4.2.3 definierten Untersuchungsraums abdeckte, wurden die fehlenden Bereiche durch die flächenhafte Verallgemeinerung der punkthaft vorliegenden Messwerte der MarGIS-Sachdatenbank ausgefüllt. Dabei kamen geostatistische Verfahren und GIS-analytische Methoden zum Einsatz.

CART-Analyse. Der Entscheidungsbaum für das Auftreten benthischer Lebensgemeinschaften anhand der in Kapitel 5.3.1 beschriebenen geostatistisch abgeleiteten Schätzkarten für die AWZ besteht aus insgesamt neun binären Splits, die die 182 Standorte in zehn Endknoten aufteilen (→ Anhang C.1). Als wichtigstes Splitkriterium wurde im ersten Schritt die Temperaturen in der unteren Wassersäule in den Monaten Juli bis September (bei 14,5 °C) gewählt. Die Unterteilung der daraus resultierenden Unterknoten erfolgte anhand der bodennahen Salinitätsverhältnisse im gleichen Monatsintervall (bei 34,76 PSU) sowie der Tonfraktion (bei 27,2 g/kg). Insgesamt wurden von den 20 vorliegenden Prädiktoren folgende sechs Variablen als Splitvariablen ausgewählt: bodennahe Temperaturen (Juli bis September und Oktober bis December), zweimal die bodennahen Salinitätsverhältnisse (Juli - September), bodennahe Ammoniumgehalte (Juli bis September), die Wassertiefe sowie dreimal die Korngrößenfraktion 0 bis 20µ (Ton).

Von den zehn gebildeten Endknoten sind neun Knoten durch jeweils eine der acht benthischen Lebensgemeinschaften mit einem relativen Anteil von mindestens 75 % vertreten. Dabei tritt Goniadella Spisula zweimal auf (Endknoten 33 - 93 %, Endknoten 36 - 100 %). Nur der Knoten 32 enthält keine dominant auftretende Lebensgemeinschaft. Hier sind fünf Lebensgemeinschaft ähnlich schwach vertreten.

Die Güte des CART-Baums zeigt die Fehlklassifikationsmatrix in Anhang B.16. Insgesamt beläuft sich die Fehlklassifikationrate des Entscheidungsbaums auf knapp 16 %. Die höchsten Fehlklassifikationen sind dabei für Macoma Balthica festzuhalten (50 %), die niedrigsten zeigen Amphiura Filiformis (7,5 %), gefolgt von Nucula Nitidosa (12,5 %) und Bathyporeia Tellina (15 %).

Lebenraumklassen. Die aus dem CART-Baum und den geostatistisch berechneten Rasterkarten abgeleiteten zehn Lebensraumklassen sind in den Anhängen A.4 sowie B.17 bis B.20 entsprechend der ihnen zugrundeliegenden Endknoten benannt. Es lassen sich folgende Besonderheiten festhalten:

- Die Lebensraumklasse 23 befindet sich in etwa 150 bis 190 km Entfernung von der deutschen Nordseeküste und weist mit ca. 30 % des Untersuchungsgebietes den größten Flächenanteil aller Lebensraumklassen auf (→ Anhang A.4). Sie wird dominiert durch das Auftreten der Lebensgemeinschaft Amphiura Filiformis (89 %). Die Wassertiefen dieses Habitattyps liegen zwischen ca. 29 und 56 m (→ Anhang B.17). Die T-Werte aus Anhang B.19 zeigen, dass diese Klasse in etwa den durchschnittlichen Tiefen-, Sediment- und physikalisch-chemischen Verhältnissen in der AWZ entspricht, ohne dass starke Streuungen der Schätzwerte zu beobachten sind. Nur die drei Korngrößenfraktionen zeigen im Vergleich zu den anderen abiotischen Kenngrößen vergleichsweise hohe F-Werte (→ Anhang B.18).

- Zur zentralen Nordsee hin wird die Lebensraumklasse 23 begrenzt durch die Klasse 27, die etwa 14 % der gesamten Fläche des Untersuchungsraums einnimmt und Wassertiefen zwischen 26 und ca. 60 m aufweist (→ Anhang A.4, B.17). Mit 85 % dominiert hier Bathyporeia Tellina, doch ist Amphiura Filiformis mit 10 % ebenfalls erkennbar vertreten. Wie in der Klasse 23 finden sich ähnliche abiotische Verhältnisse wie in der gesamten AWZ (→ Anhang B.19) mit zum größten Teil niedrigen F-Werten (→ Anhang B.18).
- Mit 11 % Flächenanteil bildet die Lebensraumklasse 28 die äußerste Begrenzung des Untersuchungsgebiets zur zentralen Nordsee (→ Anhang A.4). In dieser Raumklasse findet sich ausschließlich die benthischen Lebensgemeinschaft "Zentrale Nordsee". Im Hinblick auf die Bathymetrie sind hier im Vergleich zu allen anderen Raumklassen die größten Werte zu verzeichnen mit Tiefen zwischen ca. 46 und 85 m (→ Anhang B.17). Während für alle abiotischen Kenngrößen vergleichsweise niedrige Schätzwertstreuungen vorliegen (→ Anhang B.18) zeigen die T-Werte im Vergleich zur gesamten AWZ hohe bodennahe Ammonium-, Nitrat- und Phosphatgehalte in den Monaten Juli bis September (→ Anhang B.19). Auch die Temperaturen zeigen in allen vier monatlichen Zeitfenstern Abweichungen: Während in den Monaten Januar bis März im Schnitt höhere Werte vorliegen als im gesamten Untersuchungsraum, liegen in den anderen drei Monatsintervallen niedrigere Werte vor (T-Werte von -1,2 bis -1,9).
- Die Lebenraumklasse 32 enthält die benthischen Lebensgemeinschaften Goniadella Spisula, Tellina Fabula, Macoma Balthica und Nucula Nitidosa zu etwa gleichen Anteilen (10 bis 30 %) und findet sich mit einem relativen Flächenanteil von ca. 5 % v.a. in den küstennahen Bereichen des Untersuchungsraums wieder. Die hier vorkommenen Wassertiefen schwanken zwischen 5 und ca. 30 m und liegen damit im Mittel deutlich unter den durchschnittlichen Tiefenverhältnissen der AWZ (→ Anhang B.17). Mit Ausnahme der bodennahen Salinitätsverhältnisse sowie der Wassertemperaturen in der unteren Wassersäule während der Monate Januar bis März zeigen sich alle physikalisch-chemischen Kenngrößen hier auffallend stark überrepräsentiert (→ Anhang , B.19). Allerdings deuten die berechneten F-Werte auf starke Schätzwertstreuungen hin (→ Anhang B.18).
- Ebenfalls in Küstennähe, allerdings ausschließlich in den Bereichen nördlich des Elbe-Urstromtals findet sich die Lebensraumklasse 33 mit einem Anteil von ca. 2 % an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets. Mit Wassertiefen zwischen ca. 5 und 20 m wird diese Raumklasse dominiert durch die Lebensgemeinschaft Goniadella Spisula (93 %). Gemäß der in Anhang B.19 aufgeführten T-Werte zeigen sich hier in den Monaten Januar bis März die bodennahen Nährstoffgehalte im Vergleich zur gesamten AWZ im Schnitt deutlich erhöht. In den Monaten Juli bis September verweisen die T-Werte dagegen auf geringe Unterschiede. Die bodennahen Salinitätsverhältnisse (alle Mo-

natsintervalle) sowie die Temperaturen der unteren Wassersäule (Januar bis März) zeigen im Vergleich zur gesamten AWZ äußerst niedrige Werte. Gleiches gilt für die Tonfraktion. Im Gegensatz zur Lebensraumklasse 32 sind in dieser Habitatklasse die F-Werte durchgehend gering.

- Mit einem Flächenanteil von ca. 1 % liegt die Lebensraumklasse 34 in unmittelbarer Nachbarschaft zur Klasse 33 (→ Anhang A.4). In diesem ausschließlich von Macoma Balthica besetzten Habitattyp finden sich im Vergleich zu den anderen Klassen die geringsten Wassertiefen mit Werten zwischen 5 und 18 m (→ Anhang B.17, B.1.9). Auffällig ist, dass die seegrundnahen Stoffgehalte von Ammonium, Nitrat, Phosphat und Silikat in den Monaten Januar bis März im Schnitt um mehr als das dreifache über den Werten des gesamten Untersuchungsraums liegen. Gleichzeitig verweisen die entsprechenden F-Werte auf niedrige Streuungen der Schätzwerte (→ Anhang B.18). Wie bei den Klassen 32 und 33 liegen die Salinitätsgehalte der unteren Wassersäule sowie die bodennahen Temperaturen in den Monaten Januar bis März weit unterhalb der durchschnittlichen Werte der AWZ.
- Ebenfalls in Küstennähe liegend, reicht die räumliche Ausdehnung der Lebensraumklasse 35 weiter seewärts als die der Klassen 32, 34 und 35 (→ Anhang A.4). Dementsprechend finden sich hier mit maximal 40 m auch größere Wassertiefen (→ Anhang B.17). Die Lebensraumklasse wird zu 83 % von der Lebensgemeinschaft Tellina Fabula dominiert. Goniadella Spisula ist mit 12,5 % ebenfalls vertreten. Hinsichtlich der abiotischen Merkmale lassen sich im Mittel kaum nennenswerte Unterschiede zu den Verhältnissen der gesamten AWZ festhalten (→ Anhang B.19).
- Die Lebensraumklasse 36 liegt weiträumig verteilt im gesamten Untersuchungsgebiet vor (Flächenanteil = 2 %) (→ Anhang A.4) und entspricht dem zweiten Habitattyp, in dem Goniadella Spisula dominant auftritt (100 %). Die Wassertiefen reichen von ca. 16 bis 42 m (→ Anhang B.1.7). Wie bei der Klasse 35 sind auch hier keine wesentlichen Unterschiede zu den abiotischen Gesamtverhältnissen der AWZ auszumachen (→ Anhang B.18, B.19). Die einzige Ausnahme bilden die bodennahen Temperaturen in den Monaten Oktober bis Dezember (T-Wert = 1,7).
- Die Ausläufer der Elbemündung markierend liegt die Lebensraumklasse 37 zwischen den nördlichen und südlichen Abschnitten der Klasse 35 (→ Anhang A.4). Mit 84 % stellt Nucula Nitidosa hier die dominierende Lebensgemeinschaft. Die Spannbreite der Wassertiefen liegt hier bei 18,1 m (30,4 bis 48,5 m) (→ Anhang B.17). Hinsichtlich der F- und T-Werte sind keine Auffälligkeiten festzuhalten (→ Anhang B.18, B.19)
- Mit knapp 0,5 % Flächenanteil ist die Lebensraumlasse 38 die kleinste aller vorkommenden Lebensraumtypen (→ Anhang A.4). Mit 75 % stellt die Lebensgemeinschaft "Helgoländer Tiefe Rinne"

hier die dominierende Gemeinschaft, ergänzt durch Nucula Nitidosa (25 %). Die Tiefen reichen von 32 bis 46 m (→ Anhang B.17). Auffallend ist die deutliche Überrepräsentierung der Ton und Schlufffraktion (T-Werte = 3,7 bzw, 2,8) sowie die deutliche Unterrepräsentierung der Sandfraktion (T-Wert = -3,8) (→ Anhang B.19). Allerdings finden sich hier bis auf die Tonfraktion auch die höchsten F-Werte (→ Anhang B.18).

### 6.3.2 Prädiktive Habitatkartierung in der Nordsee

Die Ergebnisse der CART-Analysen für die gesamte Nordsee in Form des Entscheidungsbaums und der Fehlklassifikationsmatrix sind dem Anhang C.2 bzw. B.21 zu entnehmen. Die kartografische Übersicht der daraus abgeleiteten Habitatklassen sowie deren statistische Beschreibungen befinden sich in den Anhängen A.5 und B.22 bis B.25.

CART-Analyse. Gemäß der in Kapitel 5.2 gemachten Vorgaben wurde für die gesamte Nordsee ein Entscheidungsbaum berechnet, der den Ausgangsdatensatz mit 11 binären Splits in 12 Klassen unterteilt (→ Anhang C.2). Von den 14 zur Auswahl stehenden Prädiktoren wurden folgende sieben Variablen als Splitkriterium verwendet: dreimal die Bathymetrie, zweimal die bodennahen Temperaturen in den Sommermonaten sowie je einmal die Korngrößenfraktion 0 bis 63µ, die bodennahen Salinitätsverhältnisse (Sommer- und Wintermonate), Temperaturen (Wintermonate), Phosphatgehalte (Sommermonate) und Nitratgehalte (Wintermonate). Dabei wurde der Ausgangsdatensatz im ersten binären Split durch die Wassertiefe (bei 38,2 m) in zwei Untergruppen aufgeteilt. Die darauf folgenden Splits erfolgten wiederum anhand der Wassertiefe (bei 56,7 m) sowie der Korngrößenfraktion 0 bis 63µ (bei 69,5 g/kg).

Von den 12 gebildeten Endknoten werden 11 Knoten durch jeweils eine benthische Lebensgemeinschaften mit einem relativen Anteil von mindestens 75 % dominiert. Nur der Knoten 28 enthält keine derart dominant auftretende Lebensgemeinschaft. Hier ist Nucula Nitidosa mit 67 % und die Lebensgemeinschaft "Helgoländer Tiefe Rinne" mit ca. 14 % vertreten. Im Gegensatz zu den CART-Dendrogramm aus Kapitel 5.3.1 wird für die gesamte Nordsee somit kein Endnoten gebildet, in dem die "Helgoländer Tiefe Rinne" dominiert. Dafür tritt Tellina Fabula dreimal auf (Endknoten 37 - 82 %, Endknoten 42 - 75 %, Endknoten 44 - 100 %), Goniadella Spisula zweimal (Endknoten 41 - 100 %, Endknoten 40 - 81 %) sowie Bathyporeia Tellina ebenfalls zweimal (Endknoten 48 - 88 %, Endknoten 33 - 100 %).

Wie im Fall der AWZ beläuft sich die Fehlklassifikationrate des CART-Baums auf knapp 16 % (→ Anhang B.21). Die höchsten Fehlklassifikationen sind dabei für die Lebensgemeinschaft "Helgoländer Tiefe Rinne" festzuhalten (100 %) gefolgt von Macoma Balthica (37,5 %). Die niedrigsten Fehlklassifikatio-

nen zeigen Amphiura Filiformis (1,9 %), Tellina Fabula (12,5 %) sowie Nucula Nitidosa und die Lebensgemeinschaft "Zentrale Nordsee" (jeweils 16,7 %).

Lebenraumklassen. Wie im Fall der AWZ (→ Kapitel 5.3.1), sind die aus dem CART-Baum und den geostatistisch berechneten Rasterkarten abgeleiteten zehn Habitatklassen in den Anhängen A.5 sowie B.22 bis B.24 entsprechend der ihnen zugrundeliegenden Endknoten benannt. Es lassen sich folgende Besonderheiten festhalten:

- Die Lebensraumklasse 28 findet sich sowohl in den küstennahen als auch in den südlichen küstenferneren Bereichen der Nordsee wieder und nimmt ca. 5 % des gesamten Nordseebereichs ein (→ Anhang A.5). Dieser Habitattyp wird von zwei benthischen Lebensgemeinschaften geprägt: Nucula Nitidosa mit ca. 67 % und die Lebensgemeinschaft "Helgoländer Tiefe Rinne" mit ca. 14 %. Die hier vorliegenden Wassertiefen reichen von ca. 6 bis 38 m (→ Anhang B.22). Auffallend sind die starken Streuungen der geschätzten Werte für die Nährstoffgehalte der unteren Wassersäule in den Wintermonaten und der bodennahen Salinität in beiden Jahreszeiten (→ Anhang B.23). Mit Ausnahme der bodennahen Temperaturen in den Wintermonaten verweisen die T-Werte aus dem Anhang B.24 auf kaum nennenswerten Unterschiede zu den durchschnittlichen Verhältnissen in der gesamte Nordsee.
- Fast ausschließlich in den küstenferneren Bereichen der südlichen und westlichen Abschnitte der Nordsee liegen Seegrundbereiche, die der Lebensraumklasse 33 zugeordnet wurden (Flächenanteil = ca. 5 %) (→ Anhang A.5). Wie in der Lebensraumklasse 28 liegen auch hier die Wassertiefen zwischen 5 und 38 m (→ Anhang B.22). Die dominierende Lebensgemeinschaft bildet Bathyporeia Tellina mit 100 %. Hinsichtlich der berechneten T-Werte zeigt diese Lebensraumklasse für der seegrundnahen Nährstoffgehalte in den Sommermonaten im Schnitt z.T. deutlich geringere Schätzwerte als die gesamte Nordsee (→ Anhang B.24). Im Gegensatz zur Klasse 28 liegen die F-Werte hier durchgehend unterhalb von 0,4 (→ Anhang B.23).
- In den westlichen Abschnitten der Nordsee verläuft die Lebensraumklasse 37 annähernd parallel zur niederländischen, deutschen und dänischen Nordseeküste (→ Anhang A.5). Ein weiterer zusammenhängender Teilbereich findet sich unweit der mittleren Abschnitte der englischen Küste. Wie die Raumklassen 28 und 32 umfasst auch diese Raumklasse ca. 5 % des Fläche der gesamten Nordsee. Bei Wassertiefen zwischen zwischen 20 und 38 m stellt Tellina Fabula mit ca. 82 % die häufigste benthische Lebensgemeinschaft (→ Anhang B.22). Während die bodennahen Temperaturen in den Sommermonaten im Schnitt im Vergleich zur gesamten Nordsee überdurchschnittlich hoch liegen, zeigen die bodennahen Salinitätsverhältnisse in beiden Jahreszeiten deutlich niedrige-

re Werte (→ Anhang B.24). Letzteres gilt auch für die Phosphatgehalte in der unteren Wassersäule in den Monaten Juni bis September. Die F-Werte weisen für die seegrundnahen Ammonium-, Nitrat- und Phosphatgehalte in den Wintermonaten sowie die Salinitätsverhältnisse der unteren Wassersäule in den Sommermonaten im Vergleich zur gesamten Nordsee auf hohe Streuungen der Schätzwerte hin (→ Anhang B.23).

- Die Hauptabschnitte der Lebensraumklasse 40 (Flächenanteil = 3 %) finden sich in unweiter Entfernung der englischen, belgischen, niederländischen, deutschen und dänischen Küste (→ Anhang A.5). Demzufolge sind geringe Wassertiefen von 5,5 bis ca. 20 m festzuhalten (→ Anhang B.22). Auch liegen die bodennahen Salinitätsverhältnisse in beiden Jahreszeiten im Schnitt deutlich unterhalb der Verhältnisse der gesamte Nordsee (→ Anhang B.24). Bei gleichzeitig hohen Streuungen liegen die geschätzten Nährstoffgehalte in der unteren Wassersäule im Winter deutlich über den durchschnittlichen Gehalten des Untersuchungsraums (→ Anhang B.23, B.24). Bei den seegrundnahen Temperaturen verweisen die berechneten T-Werte im Schnitt auf deutliche niedrigere (Wintermonate) bzw. höhere (Sommermonate) geschätzte Werte als im gesamten Untersuchungsraum (→ Anhang b.24). Dominiert wird die Lebensraumklasse 40 durch die benthische Lebensgemeinschaft Goniadella Spisula (ca. 81 %) gefolgt von Tellina Fabula (ca. 14%).
- Fast ausschließlich in den Übergangsbereichen vom Ärmelkanal zur Nordsee liegt die Lebensraumklasse 41 (Flächenanteil = ca. 3 %) (→ Anhang A.5). Dieser Habitattyp ist charakterisiert durch das Auftreten der Lebensgemeinschaft Goniadella Spisula (100 %) und zeigt Wassertiefen zwischen 20 bis 38 m (→ Anhang B.22). Die bodennahen Wassertemperaturen im Sommer liegen in dieser Klasse im Schnitt deutlich über denen der gesamten Nordsee, ohne dass hohe Streuungen der Schätzwerte zu beobachten sind (→ Anhang B.23, B.24). Die Phosphatgehalte in der unteren Wassersäule in den Sommermonaten zeigen deutlich niedrigere Werte als im gesamten Untersuchungsraum. Ansonsten sind keine Auffälligkeiten festzuhalten.
- Mit unter 1 % Flächenanteil an der gesamten Nordsee findet sich die von den Lebensgemeinschaften Tellina Fabula (75 %) und Nucula Nitidosa (25 %) charakterisierte Lebensraumklasse 42 ausschließlich im Bereich des Ärmelkanals und der Deutschen Bucht wieder (→ Anhang A.5). Die Wassertiefen liegen hier, wie bei der Lebensraumklasse 41, zwischen ca. 20 und 38 m (→ Anhang B.22). Bis auf die bodennahen Temperaturen im Sommer (T-Wert = 1,9) sowie die bodennahen Gehalte von Nitrat und Phosphat im Winter (T-wert = 1,1 bzw. 1,2) sind keine weiteren nennenswerten Besonderheiten festzuhalten (→ Anhang B.24). Allerdings streuen die Schätzwerte in dieser Raumklasse z.T. deutlich mehr als in der gesamten Nordsee (→ Anhang B.23).

- Die Lebensraumklasse 43 (Flächenanteil < 0,5 %) befindet sich in unmittelbarer Nähe zur schleswig-holsteinischen Nordseeküste und ist geprägt durch Wassertiefen zwischen knapp 6 bis ca. 20 m. Diese Raumklasse ist ausschließlich durch die Lebensgemeinschaft Tellina Fabula besetzt und zeichnet sich im Vergleich zum gesamte Untersuchungsgebiet durch äußerst geringe bodennahe Salinitätsgehalte (Sommer und Winter) sowie im Schnitt auffällig überhöhte bodennahe Nährstoffgehalte im Winter aus (→ Anhang B.24). Im Vergleich zu allen anderen Lebensraumklassen zeigen sich diesbezüglich die höchsten T-Werte. Gleichzeitig streuen die Schätzwerte auffällig stark (→ Anhang B.23). Auch die bodennahen Temperaturen weisen deutliche Unterschiede zu den Verhältnissen der gesamten Nordsee auf, allerdings ohne dass auffällig hohe Varianzen der Schätzwerte zu beobachten sind.
- Mit 0,3 % Flächenanteil an der Nordsee ist die Lebensraumklasse 44 die kleinste alle 12 Habitatklassen. Sie findet sich vereinzelt im Bereich der inneren Deutschen Bucht und des niederländischen Küstenabschnitts mit Wassertiefen zwischen ca. 5 bis 19 m (→ Anhang A.5, B.22). Wie bei der Lebenraumklasse 43 zeigen sich die bodennahen Salinitätsverhältnisse in beiden Monatsintervallen deutlich unterrepräsentiert (T-Werte von -3,4 im Winter und -3 im Sommer) (→ Anhang B.24). Im Hinblick auf die Temperaturen der unteren Wassersäule sind ebenfalls ähnliche Gegebenheiten zu beobachten wie in der Lebensraumklasse 43 (s.o.). Weiterhin lassen sich hohe bodennahe Ammoniumgehalte (Sommer- und Wintermonate) sowie Nitratgehalte (Wintermonate) festhalten. Im Vergleich zu den Varianzen der geschätzten Werte innerhalb der gesamte Nordsee sind bei den bodennahen Nährstoffgehalten z.T. wesentlich höhere Varianzen festzustellen (→ Anhang B.23). Dominiert wird die Lebensraumklasse 44 durch die benthische Lebensgemeinschaft Tellina Fabula (100 %).
- Die Lebensraumklasse 45 repräsentiert die zentralen Bereiche des Nordseebeckens, der Norwegischen Rinne und des Skagerraks und wird ausschließlich charakterisiert durch die Lebensgemeinschaft "Zentrale Nordsee" (→ Anhang A.5). Dementsprechend liegen hier auch mit Abstand die größten Wassertiefen vor (> 57 m) (→ Anhang B.22). Im Hinblick auf die F- und T-Werte lassen sich hier kaum Besonderheiten ausmachen, außer dass die beiden Korngrößenfraktionen auffällig stark streuen (→ Anhang B.23, B.24).
- Im nordöstlichen Bereich der "Tiefen Rinne", einer Untiefe im Übergangsbereich des Ärmelkanals zur Nordsee, und des zentralen Nordseebeckens befindet sich die von Barthyporeia Tellina dominierte Lebensraumklasse 48 (88 %). Die Wassertiefen liegen hier zwischen ca. 38 bis ca. 57 m (→

Anhang A.5). Im Hinblick auf die F- und T-Werte lassen sich bei allen abiotischen Kenngrößen keine Besonderheiten festhalten (→ Anhang B.23, B.24).

- Die Lebensraumklasse 49 (Flächenanteil = ca. 11 %) deckt die gleichen Tiefenbereich ab wie die Klasse 48 und befindet sich größtenteils in den Übergangsbereichen der Deutschen Bucht zum zentralen Nordseebecken und zum Skagerrack (→ Anhang A.5, B.22). Weitere Teilbereiche sind entlang der englischen und schottischen Nordseeküste zu erkennen. Amphiura Filiformis (88 %) stellt hier die dominierende benthische Lebensgemeinschaft. Auch hier lassen die F- und T-Werte bei allen abiotischen Kenngrößen auf keine Besonderheiten schließen (→ Anhang B.23, B.24).
- Mit einem Flächenanteil von knapp 3 % erstreckt sich die Lebensraumklasse 50 über die zentralen Bereiche der "Tiefen Rinne". Weitere Teilbereiche sind in der inneren und äußeren Deutschen Bucht und der zentralen Nordsee wiederzufinden (→ Anhang A.5). Charakterisiert wird diese Lebensraumklasse durch die Lebensgemeinschaften Nucula Nitidosa (75 %), Amphiura Filiformis (12,5 %) und die "Helgoländer Tiefe Rinne" (12,5 %). Ähnlich wie bei den Raumklassen 48 und 49 erstecken sich die Wassertiefen hier von ca. 38 bis 55 m (→ Anhang B.22). Bis auf im Vergleich zur gesamten Nordsee hohe Streuungen der geschätzten bodennahen Ammoniumwerte (F-Wert = 3,4) sowie über dem Durchschnitt hoch liegende bodennahen Temperaturen in den Sommermonaten (T-Wert = 1,8) sind in dieser Lebensraumklasse keine nennenswerten Besonderheiten festzuhalten (→ Anhang b.23, B.24).

### 6.3.3 Abiotische Seegrundtypisierung der Ostsee

Auf Basis der stufenweise Aggregierung der geostatistisch geschätzten Rasterzellenwerte mit dem Verfahren nach Ward wurde für die westliche Ostsee eine fünf Cluster-Lösung als optimal befunden. So zeigt sich bei dem Übergang von fünf auf sechs Cluster in dem entsprechenden Screeplot ein erkennbarer Heterogenitätszuwachs (→ Anhang C.3). Die mit dem K-Means-Verfahren optimierten Ward-Cluster bzw. abiotischen Seegrundprovinzen sind im Anhang A.7 flächenhaft dargestellt. Die entsprechenden statistischen Beschreibungen in Form der deskriptiv-statistischen Kennwerte, der F- und T-Werte sowie Ergebnisse des Mann und Whitney U-Tests sind den Anhängen A.B.26 bis A.B.29 zu entnehmen. Die fünf Flächencluster lassen folgende Besonderheiten erkennen:

- Mit einem Anteil von ca. 5 % ist die Seegrundprovinz 1 die kleinste aller fünf Flächencluster. Sie markiert den Übergang des Kattegats zum Skagerrak und weist daher auch die größten Wassertiefen auf (ca. 79 bis 355 m) (→ Anhang A.7, B.26). Bis auf die geschätzten bodennahen Niitratgehal-

te (Sommer- und Wintermonate) weisen die abiotischen Kenngrößen keine nennenswerten Schätzwertstreuungen auf. (→ Anhang B.27). Die Sauerstoffgehalte der unteren Wassersäule zeigen sich in den Sommermonaten gegenüber den entsprechenden Verhältnissen in der gesamten westlichen Ostsee überrepräsentiert, in den Wintermonaten hingegen unterrepräsentiert (→ Anhang B.28). Bei den bodennahen Nitratgehalten lassen sich im Sommer im Schnitt deutlich höhere Schätzwerte feststellen als im gesamten Untersuchungsraum (T-Wert = 2). Aufgrund des Enflusses der Nordsee können weiterhin hohe bodennahe Salinitätsschätzungen festgehalten werden. Die bodennahen Temperaturen liegen im Winter im Vergleich zur gesamten westlichen Ostsee deutlich höher, im Sommer deutlich niedriger (→ Anhang B.28).

- Die Seegrundprovinz 2 (Flächenanteil = 18 %) schließt sich unmittel an den Flächencluster 1 an und deckt die östlichen Bereiche des Kattegats ab (→ Anhang A.7). Die Wassertiefen liegen hier unterhalb von ca. 116 m (→ Anhang B.26). Bis auf relativ hohe bodennahe Nitratgehalte und Wassertemperaturen in den Sommermonaten (T-Wert = 1,1 bzw. 1,2) und im Vergleich zur übrigen westlichen Ostsee überrepräsentierte Salinitätsverhältnisse in den Sommer- und Wintermonaten (T-Werte = 1,1 bzw. 1) lassen sich in dieser Raumklasse keine auffälligen Besonderheiten ausmachen (→ Anhang B.28). Die F-Werte weisen auf niedrige Streuungen der geschätzten Werte aller abiotischen Eingangsgrößen hin (→ Anhang B.27).
- Den nordwestlichen Bereich des Kattegats und den Übergang vom Kattegat zum Großen Belt markiert die Seegrundprovinz 3. Im Gegensatz zur Klasse 1 und 2 sind hier wesentlich geringere Wassertiefen zwischen 0 und 55 m zu verzeichnen (→ Anhang B.26). Bis auf im Vergeleich zur gesamten westlichen Ostsee leicht erniedrigte bodennahe Sauerstoffgehalte, leicht erhöhte Nitratgehalte in den Wintermonaten und leicht überrepräsentierten Salinitätsverhältnisse in beiden Monatsintervallen lassen sich für diese Seegrundprovinz keine Auffälligkeiten festhalten (→ Anhang B.27). Die F-Werte liegen bei allen abiotischen Kenngrößen unterhalb von 0,4 (→ Anhang B.28).
- Mit Wassertiefen von 0 bis ca. 54 m deckt die Seegrundprovinz 4 sowohl den großen und kleinen Belt, den Fehmarnbelt sowie große Teile der Mecklenburger Bucht ab (Flächenanteil = 29 %) (→ Anhang A.7, B.26). Ein weitere zusammenhängender Abschnitt dieser Raumklasse befindet sich südlich der schwedischen Küste im Übergang zur den zentralen Bereichen der Ostsee. Die geschätzten bodennahen Sauerstoffgehalte im Winter liegen hier im Schnitt deutlich über denen der gesamten westlichen Ostsee (→ Anhang B.28). Die bodennahen Nitratgehalte sowie die Salinitätsverhältnisse der unteren Wassersäule sind hingegen in den Sommer- und den Wintermonaten z.T. deutlich unterrepräsentiert. Die bodennahen Temperaturen zeigen in den Wintermonaten negative,

in den Sommermonaten positive Abweichungen (→ Anhang B.28). Bis auf die Nitratgehalte (F-Wert = 1,4) sind keine nennenswerten Streuungen der Schätzwerte in dieser Raumklasse zu vermerken (→ Anhang B.27).

- Die Seegrundprovinz 5 findet sich einerseits in der Kieler Bucht, andererseits im östlichen Abschnitt des Untersuchungsraums wieder (Flächenanteil = 21 %) (→ Anhang A.7). Mit Wassertiefen zwischen 0 und 58 m zeigt diese Raumklasse hinsichtlich der abiotischen Kenngrößen kaum auffällige Unterschiede zur gesamten westlichen Ostsee (→ Anhang B.26, B.27, B.28).

# 7 Ausblick

Die europäische Fischereipolitik zielt auf eine umweltgerechte Bewirtschaftung der Meere ab. Hierzu gehören Begrenzungen der Fänge (Quoten) und des Grades der Befischung (Fischereiaufwandsbeschränkungen) sowie Schutzgebiete und Schonzeiten (SRU 2004, S. 125 Zf. 252). Entsprechende Maßnahmen sollen stets räumlich differenziert erfolgen (SRU 2004, S. 127 Zf. 258, S. 138 Zf. 286). Dies gilt ebenfalls für die ökotoxikologische Bewertung von Stoffeinträgen nach dem PEC- / PNEC-Ansatz (SRU 2004, S. 146 Zf. 301), denn die Wirkungen von Stoffen hängen nicht nur von deren physiko-chemischen Eigenschaften ab, sondern auch von den abiotischen Merkmalen und den Biozönosen der exponierten Habitate (Fränzle et al. 1995). Deren räumlich differenzierende Kartierung ist schließlich ein essenzielles Desiderat der marinen Raumplanung, welche die wirtschaftlichen Ansprüche an die Meere mit ihrer Schutzbedürftigkeit nach dem Leitbild der Nachhaltigkeit möglichst weitgehend in Übereinstimmung bringen soll (SRU 2004, S. 182 Zf. 422). Für die ökologischen Belange spielen dabei die FFH-Richtlinie und der ökosystemare Ansatz eine maßgebliche Rolle (SRU 2004, S. 180 – 181 Zf. 414 – 418, S. 184 Zf. 426, S. 207 – 208 Zf. 495 - 498). Hierbei „stellt sich für die Meeresflächen eine planerische Herausforderung, die der Bewirtschaftung von Flussgebieten nach der Wasserrahmenrichtlinie wesensähnlich ist“ (SRU 2004, S. 217 Zf. 523). Gemäß Wasserrahmenrichtlinie sollen die Bewirtschaftungspläne auf naturräumliche Einheiten, die Flusseinzugsgebiete, bezogen werden. Hierfür sowie für die Erstbeschreibung der Flussgebiete werden entsprechende naturräumliche Gliederungen benötigt (Berkhoff & Schröder 2003). Solche werden in der Raumplanung des Festlandes seit langem verwendet und sind u.a. Gegenstand landschaftsökologischer Forschung (Schröder 2005; Schröder & Schmidt 2003, 2005). Ferner dienen ökologische Raumgliederungen der Planung und Auswertung von Umweltmessnetzen (Schröder et al. 2002, 2004; Schröder & Pesch 2005).

Das European Nature Information System (EUNIS) ist ein hierarchisches Klassifikationsschema für Meeresflächen und soll es den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ermöglichen, flächendeckende Habitatkartierungen in eigener Zuständigkeit nach einheitlichen Kriterien durchzuführen. EUNIS benennt die abiotischen und biotischen Merkmale, nach denen ein Habitat zu klassifizieren ist, berücksichtigt dabei aber nur z.T. die dafür zur Verfügung stehenden Daten. Deswegen ist die Anwendung von EUNIS stark eingeschränkt (→ Kapitel 3).

Im MarGIS-Projekt wurde ein anderer Ansatz gewählt, der anhand vorhandener Daten mit geostatistischen Verfahren (Krige 1951; Matheron 1963), Classification and Regression Trees (Breiman et al. 1984) sowie automatischer Klassifikation (Ward 1963) die Berechnung naturräumlicher Gliederungen des Meeresbodens ermöglicht. Basierend auf einschlägigen Erfahrungen in der Ökosystemforschung (Fränzle et al. 1997 – 2004; Schöder et al. 1996) wurden diese Verfahren von der Arbeitsgruppe Schröder in die Landschaftsökologie eingeführt und gelten mittlerweile als etabliert. Insofern leistet MarGIS in diesem Forschungsgebiet den Anschluss der marinen Umweltwissenschaften an die terrestrische Ökologie. Das entwickelte Verfahren zur Klassifikation von Meeresprovinzen ist in hohem Maße praxisgerecht, da mit ihm räumlich und zeitlich punktuelle Daten über die Biologie, Chemie und Physik der Meere zu flächenhaften Informationen über die Lebensraumtypen am Meeresgrund transformiert werden. Solche flächenhaften Informationen sind für die Planung von großer Bedeutung, da Planungen sich nicht nur auf diejenigen Raumpunkte beziehen, für die Messwerte vorliegen, sondern für alle Teilflächen innerhalb eines Planungsraumes. Die in MarGIS entwickelte prädiktive Habitatkartierung sollte für eine europaweit harmonisierte, auf vorhandenen Daten basierende Meereskartierung genutzt werden. Eine solche europaweit harmonisierte Meeresregionalisierung wird nicht nur für die Meeresumweltplanung, sondern auch für die von der EU-Kommission als notwendig erachtete, Staaten übergreifende harmonisierte Umweltbeobachtung und –bewertung (SRU 2004, S. 218 Zf. 524) benötigt. Die deutsche Forschungsgemeinschaft fördert die Entwicklung einer ökologischen Raumgliederung des europäischen Festlandes. Ein entsprechendes Vorhaben für die europäischen Meeresflächen ist von hoher praktischer und wissenschaftlicher Bedeutung.

## Literatur


Akin, H. & Siemens, H. (1988): Praktische Geostatistik. Springer. Berlin, Heidelberg.

Arentze, T. & Timmermans, H. (2005): An analysis of context and constraints-dependent shopping behaviour using qualitative decision principles. Urban Studies, 42 (3), 435-448.

Backer, H., Leinikki, J., Oulasvirta, P. (2004): Baltic Marine Biotope Classification System (BMBCS) – Definitions, Methods and EUNIS Compatibility. Helsinki.

Backhaus, K., Erichson, B., Pinke, W. & Weiber, R. (2000): Multivariate Analysemethoden - Eine anwenderoriente Einführung. Springer, Berlin.

Bahrenberg, G., Giese, E. & Nipper, J. (1992): Statistische Methoden in der Geographie. Band 2, Multivariate Statistik. 2. Auflage, Teubner Verlag, Stuttgart.

Berkhoff, K.; Schröder, W. (2003): Die erstmalige Beschreibung gemäß Anhang II WRRL für den Grundwasserbereich. Praktische Umsetzung am Beispiel des Teileinzugsgebiets der Schwarzach (Unterfranken). In: UVP report 3 + 4, S. 108 – 112

Breiman, L., Freidman, J.H., Olshen, R.A. & Stone, C.J. (1984): Classification and Regression Trees. Wadsworth.

BGBL. (Bundesgerichtsblatt) 1994a Teil II: Gesetz zu internationalen Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes und des Nordostatlantiks, S.1355-1360.

BGBL. (Bundesgerichtsblatt) 1994b Teil II: Verordnung zu dem Übereinkommen vom 28. Juli 1994 zur Durchführung des Teiles XI des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982, S. 2565.

Busch, M. (2005): Die EUNIS Habitatklassifikation – Eine Grundlage für die Kartierung mariner Meeresbodenhabitate in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee?. Diplomarbeit. Universität Vechta. Institut für Umweltwissenschaften (in Bearbeitung).

Chihi, H., Galli, A., Ravenne, C., Tesson, M. & De Marsily, G. (2000): Estimating the Depth of Stratigraphic Units from Marine Seismic Profiles Using Nonstationary Geostatistics. Natural resources research 9 (1): 77-95.

Connor, D.W., Brazier, D.P., Hill, T.O. & Northen, K.O. (1997a): Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 1, Littoral biotopes. Version 97.06, Joint Nature Conservation Committee Report, No. 229.

Connor, D.W., Dalkin, M.J., Hill, T.O., Holt, R.H.F. & Sanderson, W.G. (1997b): Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Vol. 2, Sublittoral biotopes. Version 97.06, Joint Nature Conservation Committee Report No. 230.

Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L., Lieberknecht, L.M., Northern, K.O. & Reker, J.B. (2004): The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough (Internet Version: www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification).

Cressie, N. (1993): Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, New York.

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L327. (Internet Version: http://forum.europa.eu.int/irc/DownLoad/)

Davies, C.E. & Moss, D. (1999): EUNIS Habitat Classification. Draft Final Report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Davies, C.E. & Moss, D. (2000): EUNIS Habitat Classification. ICES Annual Science Conference. Theme Session on Classification and Mapping of Marine Habitats. CM 2000/T:04, Brügge.

Davies, C.E. & Moss, D. (2002a): Cross-references between the EUNIS habitat classification and habitats included on Annex I of the EC Habitats Directive (92/43/EEC). Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Davies CE & Moss, D (2002b). EUNIS Habitat Classification. Final Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. 125pp.

Davies, C.E., Moss, D., Hill, M.O. (2004): EUNIS Habitat Classification Revised 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity,European Environment Agency. Paris, Kopenhagen.

Degraer, S., van Lancker, V., Moerkerke, G., van Hoey, G., Vincx, M., Jacobs, P. & Henriet, J.P. (2002): Intensive evaluation of the evolution of a protected benthic habitat. Brüssel.

Der Rat der Europäischen Gemeinschaften (1979): Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 103: 1.

Der Rat der Europäischen Gemeinschaften (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 206: 7-50.

Fränzle, O.; Straskraba, M.; Jorgensen, S.E. (1995): Ecology and ecotoxicology. Ullmann´s encyclopedia of industrial chemistry. Vol. B7, pp. 19 – 154

Fränzle, O.; Müller, F.; Schröder, W. (Hrsg.) (1997 - 2004): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. - Landsberg am Lech, München, Zürich (Grundwerk + 1. bis 13. Erg.Lfg.)

Gosselain, V., Hudon, C., Cattaneo, A., Gagnon, P., Planas, D. & Rochefort, D. (2005): Physical variables driving epiphytic algal biomass in a dense macrophyte bed of the St. Lawrence River (Quebec, Canada). Hydrobiologia. Vol. 534 (1-3): 11- 22(12).

Gosselck, F., Bönsch, R., Brosda, K., Hübner, J., Meißner, K. & Sordyl, H. (2003): Gemeinsame Charakterisierung der deutschen Nord- und Ostseeküstengewässer vor dem Hintergrund internationaler Vereinbarungen - Teil B Ostsee. Abschlussbericht zum FuE Vorhaben 0330041 (BMBF).

Golding, N., Vincent, M.A., & Connor, D.W., (2004): Irish Sea Pilot - a Marine Landscape Classification for the Irish Sea, Joint Nature Conservation Committee Report No. 346.

Gonzales-Gurriaran, E.; Freire, J.; Fernandez, L. (2003): Geostatistical analysis of spatial distribution of *Liocarcinus depurator, Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). In: Marine Biology, 115: 453-461.

Harbitz, A. & Lindstrøm, U. (2001): Stochastic spatial analysis of marine resources with application to minke whales (Balaenoptera acutorosatrata) foraging: A synoptic case study from the southern Barents Sea. Sarsia 86: 485-501.

Heinrich, U. (1994): Flächenschätzung mit geostatistischen Verfahren – Variogram-manalyse und Kriging. In: Schröder, W.; Vetter, L.; Fränzle, O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Vieweg Umweltwissenschaften, Braunschweig, Wiesbaden S. 145–164

HELCOM (1998): Red list of marine and coastal biotopes and biotope complexes of the Baltic Sea, Belt Sea and Kattegat - including a comprehensive description and classification system for all Baltic marine and coastal biotopes. Baltic Sea Environment Proceedings No. 75, Helsinki.

HELCOM (2003): Draft Minutes from the Baltic marine habitat classification planning meeting, 3 October 2002. HELCOM Habitat 5/2003, document 8/1F.

HELCOM (2004): Convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea, 1992. (Internet Version: http://sea.helcom.fi/helcom/convention.html)

ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2002): Report of the Study Group on Marine Habitat Mapping. CM 2002/T:05.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2004): Report of the Study Group on Marine Habitat Mapping. CM 2004/E:06.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2005): Report of the Working Group on Marine Habitat Mapping (WGMHM). Bremerhaven.

INK (Internationale Nordseeschutzkonferenz) (2002): Erklärung von Bergen. Fünfte Internationale Konferenz zum Schutz der Nordsee. 20.–21. März 2002. (Internet Version: http://www.dep.no/archive/mdvedlegg/01/19/Berge037.pdf), Bergen.

Jelinski, D.E., Krueger, C.C. & Duffus, D.A. (2002): Geostatistical analyses of interaction between killer whales (orcinus orca) and recreational whale-watching boats. Applied Geography 22: 393-411.

Joint Nature Conservation Committee (JNCC) (2004), The Irish Sea Pilot Final Report. (Internet Version: http://www.jncc.gov.uk/ page-2767).

Johnston, K., Ver Hoef, V.M., Krivoruchko, K. & Lucas, N. (2001): Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI Selbstverlag, Tulsa, USA.

Journel, A.G. (1986): Geostatistics: Models and tools for earth sciences. In: Mathematical Geology 18(1): 119-140

Lawrence R., and Labus M. (2003): Early Detection of Douglas-Fir Beetle Infestation with Subcanopy Resolution Hyperspectral Imagery, *Western Journal of Applied Forestry*, 18 (3), 202-206.

Lembo, G., Silecchia, T., Carbonara, P., Acrivulis, A. & Spedicato, M.T. (2000): Localisation of nursery Areas of Parapenaeus Longirostris (Lucas, 1846) in the central-southern Tyrrhenian Sea by geostastitics. International Journal of Crustacean Research. 73: 39 - 51.

Krige, D.G. (1951): A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. – J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Africa 52 (6): pp. 119-139

Kröncke, I. & Bergfeld C. (2001): Review of the current knowledge on North Sea benthos. Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung. Reihe Z: Interdisziplinäre Zentrumsberichte, Nr. 12. Synthesis and New Conception of North Sea Research (SYCON), Working Group 10. Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg (Internet Version www.rrz.uni−hamburg.de/SYKON/ Library/FG10.pd f )

Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics. Economic Geology, 58, pp. 1246-1266

Matheron, G. (1965) : Les variables régionalisées et leur estimation. Masson, Paris

Maynou, F.X., Conan, G.Y. & Sardà, F. (1998): Assessment of the spatial structure and biomass evaluation. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. International Council for the Exploration of the Sea. Bd. 55: 102-120. Acad. Press. London.

Morgan, J.N., Sonquist, J.A. (1963): Problems in the analysis of survey data, and a proposal. Journal of the American Statistical Association 58: 415-435.

Morgan, J.N. & Messenger, R.C. (1973): THAID-sequential analysis program for the analysis of nominal scale dependent variables. Ann Arbor, Mich.: Survey Research Center, Inst. for Social Research, Univ. of Michigan.

Mucha, H.J. (1994): Clusteranalyse (Automatische Klassifikation). In: Schröder, W., Vetter, L. & Fränzle, O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Vieweg Umweltwissenschaften, Braunschweig, Wiesbaden. pp. 109-128

Norcross, B.L., Blanchard, A. & Holladay, B.A. (1999): Comparison of models for defining nearshore flatfish nursery areas in Alaskan waters. Fisheries Oceanography 8(1): 50-67(18).

Olea, R. (1999): Geostatistics for engineers and earth scientists. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.

OSPAR (1998): OSPAR Strategy on the Protection and Conservation of the Ecosystems and Biological Diversity of the Maritime Area. OSPAR Agreement Reference Nr. 1998-19. London.

OSPAR (2004a): Initial OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. OSPAR Agreement Reference Nr. 2004-06. London.

OSPAR (2004b): Descriptions of habitats on the Initial list of threatened and/or declining Species and Habitats. OSPAR Agreement Reference Nr. 2004-07. London.

OSPAR (2005): Case Reports for the Initial List of Threatened and/or Declining Species and Habitats in the OSPAR Maritime Area. London.

Pehlke (2005): Prädiktive Habitatkartierung für die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) der Nordsee. Diplomarbeit. Universität Vechta. Institut für Umweltwissenschaften.

Petitgas, P. (1996): Geostatistics and their applications to fisheries survey data. Computers in Fisheries Research.

Petitgas, P. (1997): Sole egg distribution in space and time characterised by a geostatistical model and its estimation variance. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. International Council for the Exploration of the Sea. Bd. 54: 213-225. Acad. Press. London.

Poon, K.F., Wong, R.W.H., Lam, M.H.W., Yeung, H.Y. & Chiu, T.K.T. (2000): Geostatistical modelling of the spatial distribution of sewage pollution in coastal sediments. Water Research 34(1), 99-108.

Rachor, E. & Nehmer, P. (2003): Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee. Abschlußbericht für das F & E-Vorhaben FKZ 899 85 310 (Bundesamt für Naturschutz). Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.

Rivorard, J., Wieland, K., (2001): Correcting for the effect of daylight in abundance estimation of juvenile haddock (Melanogramms aeglefinus) in the north sea: an application of kriging with external drift. ICES Journal of Marine Science 58: 1272-1285.

Rosenfeld, B. & Lewis, CH., (2005): Assessing Violence Risk in Stalking Cases: A Regression Tree. Law and Human Behavior 29 (3): 343-357.

Roff, J.C.; Taylor, M.E. (2000): National frameworks for marine conservation- a hierarchical geophysical approach. Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems 10: 209-223.

Ryan, W.F. (1995): Forecasting severe ozone episodes in the Baltimore metropolitan area. Atmospheric Environment 29 (17): 2387-2398.

Schernewski, G. & Wielgat, M. (2004): Towards a Typology for the Baltic Sea – Managing the Baltic Sea. Coastline Reports 2(2004): 35-52.

Schröder, W.; Fränzle, O.; Keune, H.; Mandry, P. (eds.) (1996): Global monitoring of terrestrial ecosystems. - Berlin

Schröder, W.; Schmidt, G. (2001): Defining ecoregions as framework for the assessment of ecological monitoring networks in Germany by means of GIS and classification and regression trees CART). In: Gate to EHS 2001, pp. 1 – 9 [DOI: http://dx.doi.org/10.1065/ehs2001.03.006]

Schröder, W.; Schmidt, G.; Pesch, R.; Eckstein, Th. (2002): Harmonisierung der Umweltbeobachtung. Instrumente zur Prüfung methodischer Vergleichbarkeit und räumlicher Repräsentanz. In: Fränzle, O.; Müller, F.; Schröder, W. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. - Landsberg am Lech, Kap. V-1.3 (8. Erg.Lfg., 22 S.)

Schröder, W.; Schmidt, G. (2003): Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg. Ergebnisse eines Modellprojekts. In: Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg.): Medienübergreifende Umweltbeobachtung. Stand und Perspektiven. – Karlsruhe, S. 39 – 60

Schröder, W.; Pesch, R.; Schmidt, G. (2004): Soil monitoring in Germany. Spatial representativity and methodical comparability. In: Journal of Soils and Sediments 4 (1), pp. 49 – 58

Schröder, W. (2005): Umweltdaten für die Raumplanung. Anforderungen sowie Techniken für ihre Zusammenführung, Eignungsprüfung und planungsrelevante Aufbereitung. In: Peithmann, O.; Zeck, H. (Hrsg.): Integration landwirtschaftlicher Funktionen in die Raumplanung. Akademie für Raumforschung und Landeskunde. Arbeitsmaterial der ARL 314, S. 53 – 63

Schröder, W.; Pesch, R. (2005): Correlation and time series of metals in mosses with selected sampling site specific and ecoregional characteristics in Germany. In: Environmental Science and Pollution Research 12 (3), pp. 159 – 167

Schröder, W.; Schmidt, G. (2005): Steuerung landwirtschaftlicher Bodennutzung nach standörtlich differenzierten Kriterien. In: Peithmann, O.; Zeck, H. (Hrsg.): Integration landwirtschaftlicher Funktionen in die Raumplanung. Akademie für Raumforschung und Landeskunde. Arbeitsmaterial der ARL 314, S. 27 – 32

Steinberg, D. & Colla, P. (1995): CART: Tree-structured Non-Parametric Data Analysis. Salford Systems San Diego, US.

SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2004): Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee. Baden-Baden

Svendsen, L.M. Norup, B. (2005): NOVANA. Nationwide Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments. Programme Description, Part 1. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report No. 532.

Swan, G.E., Javitz, H.S., Jack, L.M., Curry, S.J., & MCAFEE, T. (2004): Heteroge neity in 12-month outcome among female and male smokers. Addiction, 99(2): 237-250.

Usländer, T. (2003): SIMIK+ ArcView-Erweiterung zur flächenhaften Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit - Benutzerhandbuch. Fraunhofer IITB Karlsruhe

Walmsley, J.L., Barthelmie, R.J. & Burrows, W.R. (2001): The Statistical Prediction Of Offshore Winds From Land-Based Data For Wind-Energy Applications. Boundary-Layer Meteorology 101(3): 409-433.

Ward, J. H. (1963): Hierachical grouping to optimize an objective function. J. Am. Statist. Assoc. 58, 236-244.

Webster R. & Oliver M.A. (2001): Geostatistics for environmental scientists. Wiley & Sons. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.

# *MarGIS*

# *Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten*

im Förderschwerpunkt

*Informationssysteme im Erdmanagement:*

*Von Geodaten zu Geodiensten*

(BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien)

FKZ 03F0370B

Teilprojekt:

## Flächenhafte Typologisierung des Meeresgrunds mit Hilfe geostatistischer und multivariat-statistischer Verfahren

Prof. Dr. Winfried Schröder

Dr. Roland Pesch

Dipl.-Geogr. Hendrik Pehlke

Marc Busch

## Anhang

September 2005

Gliederung

Anhang A: Karten

Anhang A.1: Geostatistische Flächenschätzungen für die Auschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Nordsee (Zeitraum 1995 - 2000)

- Anhang A.1.1: Bodennahe Ammoniumgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.2: Bodennahe Ammoniumgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.3: Bodennahe Nitratgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.4: Bodennahe Nitratgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.5: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der AWZ [mll/l] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.6: Bodennahe Phosphatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.7: Bodennahe Phosphatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.8: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.9: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - April bis Juni (1995-2000)
- Anhang A.1.10: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.11: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Oktober bis Dezember (1995-2000)
- Anhang A.1.12: Bodennahe Silkatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.13: Bodennahe Silikatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.14: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Januar bis März (1995-2000)
- Anhang A.1.15: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - April bis Juni (1995-2000)
- Anhang A.1.16: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Juli bis September (1995-2000)
- Anhang A.1.17: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Oktober bis Dezember (1995-2000)
- Anhang A.1.18: Korngrößenfraktion 0-20µ [g/kg] in der AWZ
- Anhang A.1.19: Korngrößenfraktion 20-63µ [g/kg] in der AWZ
- Anhang A.1.20: Korngrößenfraktion 63-2000µ [g/kg] in der AWZ
- Anhang A.1.21: Bathymetrie [m] in der AWZ

Anhang A.2: Geostatistische Flächenschätzungen für die Nordsee (Zeitraum 1997 - 2000)

- Anhang A.2.1: Bodennahe Ammoniumgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.2: Bodennahe Ammoniumgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.3: Bodennahe Nitratgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.4: Bodennahe Nitratgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.5: Bodennahe Phosphatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.6: Bodennahe Phosphatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.7: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Nordsee [PSU] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.8: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Nordsee [PSU] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.9: Bodennahe Silikatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.10: Bodennahe Silikatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.11: Bodennahe Temperaturen in der Nordsee [°C] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.12: Bodennahe Temperaturen in der Nordsee [°C] - Juli bis September (1997-2000)

Anhang A.2.13: Korngrößenfraktion 0-63µ [g/kg] in der Nordsee

Anhang A.2.14: Korngrößenfraktion 20-63µ [g/kg] in der Nordsee

Anhang A.2.15: Bathymetrie [m] in der Nordsee

Anhang A.3: Geostatistische Flächenschätzungen für die Ostsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang A.3.1: Bodennahe Nitratgehalte in der Ostsee [µmol/l] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.2: Bodennahe Nitratgehalte in der Ostsee [µmol/l] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.3: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der Ostsee [ml/l] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.4: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der Ostsee [ml/l] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.5: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Ostsee [PSU] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.6: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Ostsee [PSU] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.7: Bodennahe Temperaturen in der Ostsee [°C] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.3.8: Bodennahe Temperaturen in der Ostsee [°C] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.3.9: Bathymetrie [m] in der Ostsee

Anhang A.4: Prädiktive Habitatkartierung für die AWZ der Nordsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang A.5: Prädiktive Habitatkartierung für die Nordsee (Zeitraum 1997 - 2000)

Anhang A.6: Abiotische Seegrundtypologisierung für die Ostsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang B: Tabellen

Anhang B.1: Tabellarische Übersicht der physikalisch-chemischen Rohdaten

Anhang B.2: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Nordsee)

Anhang B.3: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Ostsee)

Anhang B.4: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (AWZ)

Anhang B.5: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (AWZ)

Anhang B.6: Kenngrößen der Modellvariogramme (AWZ)

Anhang B.7: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (AWZ)

Anhang B.8: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Nordsee)

Anhang B.9: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Nordsee)

Anhang B.10: Kenngrößen der Modellvariogramme (Nordsee)

Anhang B.11: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Nordsee)

Anhang B.12: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Ostsee)

Anhang B.13: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Ostsee)

Anhang B.14: Kenngrößen der Modellvariogramme (Ostsee)

Anhang B.15: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Ostsee)

Anhang B.16: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (AWZ)

Anhang B.17: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhnag B.18: F-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhang B.19: T-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhang B.20: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (AWZ)

Anhang B.21: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (Nordsee)

Anhang B.22: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhnag B.23: F-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhang B.24: T-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhang B.25: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Nordsee)

Anhang B.26: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhnag B.27: F-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhang B.28: T-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhang B.29: Test der Seegrundtypen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Ostsee)

Anhang C: Diagramme

Anhang C.1: CART-Baum AWZ - 10 Endknoten

Anhang C.2: CART-Baum Nordsee - 12 Endknoten

Anhang C.3: Screeplot der Cluster-Analyse nach Ward für die Ostsee

Anhang D: Veröffentlichungen

Anhang D.1: Geplante und eingereichte Veröffentlichungen

Anhang D.2: Combining Geostatistical Methods and GIS to Estimate Temperature Maps of the Seafloor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea (submitted to Computer & Geoscience)

Anhang D.3: Nordsee-Atlas (Teil IUW)

Anhang A: Karten

Anhang A.1: Geostatistische Flächenschätzungen für die Auschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Nordsee (Zeitraum 1995 - 2000)


Anhang A.1.1: Bodennahe Ammoniumgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.2: Bodennahe Ammoniumgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.3: Bodennahe Nitratgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.4: Bodennahe Nitratgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.5: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der AWZ [mll/l] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.6: Bodennahe Phosphatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.7: Bodennahe Phosphatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.8: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.9: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - April bis Juni (1995-2000)

Anhang A.1.10: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.11: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der AWZ [PSU] - Oktober bis Dezember (1995-2000)

Anhang A.1.12: Bodennahe Silkatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.13: Bodennahe Silikatgehalte in der AWZ [µmol/l] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.14: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.1.15: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - April bis Juni (1995-2000)

Anhang A.1.16: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.1.17: Bodennahe Temperaturen in der AWZ [°C] - Oktober bis Dezember (1995-2000)

Anhang A.1.18: Korngrößenfraktion 0-20µ [g/kg] in der AWZ

Anhang A.1.19: Korngrößenfraktion 20-63µ [g/kg] in der AWZ

Anhang A.1.20: Korngrößenfraktion 63-2000µ [g/kg] in der AWZ

Anhang A.1.21: Bathymetrie [m] in der AWZ


Anhang A.2: Geostatistische Flächenschätzungen für die Nordsee (Zeitraum 1997 - 2000)


Anhang A.2.1: Bodennahe Ammoniumgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.2: Bodennahe Ammoniumgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.3: Bodennahe Nitratgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.4: Bodennahe Nitratgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.5: Bodennahe Phosphatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.6: Bodennahe Phosphatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.7: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Nordsee [PSU] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.8: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Nordsee [PSU] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.9: Bodennahe Silikatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.10: Bodennahe Silikatgehalte in der Nordsee [µmol/l] - Juni bis September (1997-2000)

Anhang A.2.11: Bodennahe Temperaturen in der Nordsee [°C] - Dezember bis März (1997-2000)

Anhang A.2.12: Bodennahe Temperaturen in der Nordsee [°C] - Juli bis September (1997-2000)

Anhang A.2.13: Korngrößenfraktion 0-63µ [g/kg] in der Nordsee

Anhang A.2.14: Korngrößenfraktion 20-63µ [g/kg] in der Nordsee

Anhang A.2.15: Bathymetrie [m] in der Nordsee

Anhang A.3: Geostatistische Flächenschätzungen für die Ostsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang A.3.1: Bodennahe Nitratgehalte in der Ostsee [µmol/l] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.2: Bodennahe Nitratgehalte in der Ostsee [µmol/l] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.3: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der Ostsee [ml/l] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.4: Bodennaher gelöster Sauerstoff in der Ostsee [ml/l] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.5: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Ostsee [PSU] - Dezember bis März (1995-2000)

Anhang A.3.6: Bodennahe Salinitätsverhältnisse in der Ostsee [PSU] - Juni bis September (1995-2000)

Anhang A.3.7: Bodennahe Temperaturen in der Ostsee [°C] - Januar bis März (1995-2000)

Anhang A.3.8: Bodennahe Temperaturen in der Ostsee [°C] - Juli bis September (1995-2000)

Anhang A.3.9: Bathymetrie [m] in der Ostsee

Anhang A.4: Prädiktive Habitatkartierung für die AWZ der Nordsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang A.5: Prädiktive Habitatkartierung für die Nordsee (Zeitraum 1997 - 2000)

Anhang A.6: Abiotische Seegrundtypologisierung für die Ostsee (Zeitraum 1995 - 2000)

Anhang B: Tabellen

Anhang B.1: Tabellarische Übersicht der physikalisch-chemischen Rohdaten

Anhang B.2: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Nordsee)

Anhang B.3: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Ostsee)

Anhang B.4: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (AWZ)

Anhang B.5: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (AWZ)

Anhang B.6: Kenngrößen der Modellvariogramme (AWZ)

Anhang B.7: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (AWZ)

Anhang B.8: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Nordsee)

Anhang B.9: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Nordsee)

Anhang B.10: Kenngrößen der Modellvariogramme (Nordsee)

Anhang B.11: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Nordsee)

Anhang B.12: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Ostsee)

Anhang B.13: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Ostsee)

Anhang B.14: Kenngrößen der Modellvariogramme (Ostsee)

Anhang B.15: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Ostsee)

Anhang B.16: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (AWZ)

Anhang B.17: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhnag B.18: F-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhang B.19: T-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

Anhang B.20: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (AWZ)

Anhang B.21: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (Nordsee)

Anhang B.22: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhnag B.23: F-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhang B.24: T-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

Anhang B.25: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Nordsee)

Anhang B.26: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhnag B.27: F-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhang B.28: T-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

Anhang B.29: Test der Seegrundtypen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Ostsee)

Anhang B.1: Tabellarische Übersicht der physikalisch-chemischen Rohdaten

| Datengeber | Format | Anzahl Dateien | Anzahl Datensätze | Erhebungszeitraum | Abiotische Kenngrößen | Metadaten | Wassersäule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Institut für Meereskunde, Universität Hamburg | MS Excel | 36(*) | 22526 | 1984 - 2000 | Ammonium [µmol/l], Nitrat [µmol/l], Nitrat+Nitrit [µmol/l], Nitrit [µmol/l], Nitrat+Nitrit/Silicat Ratio, Phosphat [µmol/l], Temperatur [°C], Salinität [PSU], Slilikat [µmol/l], Silikat/Phosphat Ratio | Standortkoordinaten [degree und decimal]; Zeitangaben [JJJJ:MM:TT:hh:mm]; Expeditionsnummer, Stationsnummer; Entnahmetiefe [m]; Entnahmetiefeneinstufung nach Brockmann [O, 1, 2, ..., U] | Gesamte |
| International Council for the Exploration of the Sea (ICES) | ASCII | 66 | 3549951 | 1976 - 1998 | Alkalinität [µmol/l], Ammonium [µmol/l], Chlorophyll [mg/m³], Gelöster Sauerstoff [µmol/l], Schwefelwasserstoff [µmol/l], Gesamtphosphor [µmol/l], Gesamtstickstoff [µmol/l], Nitrat [µmol/l], Nitrit [µmol/l], | Standortkoordinaten [degree]; Zeitangaben [JJJJ:MM]; Entnahmetiefe [m] (**) | Gesamte |
| | ASCII | 14 | 43647 | 1999 - 2002 | Temperatur [°C] Salinität [PSU] | Standortkoordinaten [decimal]; Zeitangaben [JJJJ:MM:TT:hh:mm]; Expeditionsnummer, Stationsnummer, Stationstyp; Lottiefe [m], Entnahmetiefe [dbar]; | Untere |
| Meeresumwelt-datenbank (Mudab) | CSV | 2 | 211249 | 1982 - 2000 | Alkalinität [µmol/l], Ammonium [µmol/l], Gelöster Sauerstoff [ml/l], Schwefelwasserstoff [µmol/l], Gesamtphosphor [µmol/l],Gesamtstickstoff [µmol/l], Nitrat [µmol/l], Nitrit [µmol/l], Phosphat [µmol/l], Primärproduktion [ugC/l/day], Salinität [PSU], Temperatur [°C], Nitrat+Nitrit [µmol/l], Silikat [µmol/l], Wasserdruck [dbar] | Standortkoordinaten [degree]; Zeitangaben [JJJJ:MM:TT:hh:mm:ss]; Expeditionsnummer (Mudab Ref), Reiseorganisator; Stationsbezeichnung; Stationsnummer (= St ID); Lottiefe [m], Entnahmetiefe [m]; Institut; Probenentnahmemethode; Physikalische Behandlungsmethode; Chemische Behandlungs-methode; Labormethode; MF; MP; DP; Sig.-St; QC; WH (***) | Untere |
| | MS Access | 1 | | 1995 - 1997 | | | Untere |

(*): jeweils 18 Dateien für Sommer- und Wintererhebungen
(**): jeweils Anbaben zum monatlichen Mittelwert, Minimum, Maximum und zur Standardabweichung
(***): Für diese Angaben lagen keine Erläuterungen vor

Anhang B.2: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Nordsee)

## Nordsee

| Jahr | Gesamt | ALKY | AMON | CHL | DOXY | HSUL | NTOT | NTRA | NTRI | PHOS | PHPH | PRIP | PRES | PSAL | PTOT | SLCA | TEMP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1974** | 50 | | | | | | | | | | | | | 25 | | | 25 |
| **1975** | 124 | | | | | | | | | | | | | 62 | | | 62 |
| **1976** | 732 | | | | | | | | | | | | | 366 | | | 366 |
| **1977** | 268 | | | | | | | | | | | | | 134 | | | 134 |
| **1978** | 134 | | | | | | | | | | | | | 67 | | | 67 |
| **1979** | 606 | | | | | | | | | | | | | 303 | | | 303 |
| **1980** | 406 | | | | | | | | | | | | | 203 | | | 203 |
| **1981** | 496 | | | | | | | | | | | | | 248 | | | 248 |
| **1982** | 916 | | | | 164 | | | 9 | 9 | 34 | | | | 344 | | | 356 |
| **1983** | 2419 | | | | 271 | | | 79 | 49 | 91 | | | | 899 | | | 1030 |
| **1984** | 3862 | | 96 | | 278 | | | 131 | 37 | 578 | | | | 1257 | | 99 | 1386 |
| **1985** | 4902 | | 264 | | 287 | | | 123 | 122 | 499 | | | | 1589 | | 265 | 1753 |
| **1986** | 7067 | | 367 | | 419 | | | 267 | 310 | 1008 | | | | 1984 | | 509 | 2203 |
| **1987** | 7490 | | 112 | | 716 | | | 545 | 782 | 632 | | | | 2114 | | 454 | 2135 |
| **1988** | 4517 | | 136 | | 495 | | | 168 | 299 | 436 | | | | 1376 | | 229 | 1378 |
| **1989** | 5032 | | | | 362 | | | 250 | 438 | 492 | | | | 1612 | | 220 | 1658 |
| **1990** | 6953 | | 92 | | 249 | | | 188 | 273 | 428 | | | | 2750 | | 185 | 2788 |
| **1991** | 9079 | | | | 250 | | | 220 | 342 | 604 | | | | 3724 | | 219 | 3720 |
| **1992** | 5280 | | | | 189 | | | 201 | 331 | 390 | | | | 1983 | | 200 | 1986 |
| **1993** | 5568 | | 31 | | 86 | | | 111 | 198 | 198 | | | | 2339 | | 104 | 2501 |
| **1994** | 8406 | | | | 139 | | | 310 | 337 | 358 | | | | 3513 | | 231 | 3518 |
| **1995** | 13744 | 29 | 36 | | 43 | | | 195 | 195 | 231 | | | 3039 | 4881 | | 210 | 4885 |
| **1996** | 8526 | | 165 | | 53 | | | 249 | 272 | 335 | | | 513 | 3336 | | 266 | 3337 |
| **1997** | 7383 | | 102 | | | | | 166 | 166 | 246 | | | 675 | 2891 | | 242 | 2895 |
| **1998** | 20159 | 10 | 654 | 375 | 590 | 5 | 188 | 1213 | 1003 | 1238 | 30 | | 835 | 6319 | 186 | 1259 | 6254 |
| **1999** | 17511 | 10 | 492 | 258 | 411 | 6 | 143 | 821 | 697 | 820 | 11 | | 1312 | 5642 | 143 | 823 | 5922 |
| **2000** | 11769 | 11 | 353 | 175 | 353 | 9 | 177 | 733 | 600 | 732 | 32 | | 1266 | 3232 | 170 | 713 | 3213 |
| **2001** | 6519 | | 109 | 114 | 45 | | 7 | 236 | 94 | 236 | | | 1578 | 1904 | 7 | 253 | 1936 |
| **2002** | 2995 | | 60 | 48 | 75 | | 10 | 101 | 60 | 100 | | | 409 | 1007 | 8 | 102 | 1015 |

| | |
|---|---|
| ALKY | Alkalinität [µmol/l] |
| AMON | Ammonium [µmol/l] |
| CHL | Chlorophyll [mg/m³] |
| DOXY | Gelöster Sauerstoff [µmol/l] |
| HSUL | Schwefelwasserstoff [µmol/l] |
| NTOT | Gesamtstickstoff [µmol/l] |
| NTRA | Nitrat [µmol/l] |
| NTRI | Nitrit [µmol/l] |
| PHOS | Phosphat [µmol/l] |
| PHPH | pH-Wert |
| PRIP | Primärproduktion [ugC/l/day] |
| PRES | Wasserdruck [dbar] |
| PSAL | Salinität [PSU] |
| PTOT | Gesamtphosphor [µmol/l] |
| SLCA | Silikat [µmol/l] (**) |
| TEMP | Temperatur [°C] |

Anhang B.2: Anzahl der Messdatensätze pro Erhebungsjahr (Teil Ostsee)

## Ostsee

| Jahr | Gesamt | ALKY | AMON | CHL | DOXY | HSUL | NTOT | NTRA | NTRI | PHOS | PHPH | PRIP | PRES | PSAL | PTOT | SLCA | TEMP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1978** | 572 | | | | | | | | | | | | | 286 | | | 286 |
| **1979** | 6 | | | | | | | | | | | | | 3 | | | 3 |
| **1981** | 46 | | | | | | | | | | | | | 23 | | | 23 |
| **1982** | 2251 | | | | 483 | 63 | | 254 | 254 | 304 | | 9 | | 493 | | | 391 |
| **1983** | 2374 | | | | 476 | 31 | | 308 | 308 | 346 | | 11 | | 473 | | | 421 |
| **1984** | 2401 | | | | 543 | 25 | | 325 | 327 | 324 | | 18 | | 540 | | | 299 |
| **1985** | 2707 | | | | 582 | 38 | | 390 | 389 | 390 | | 8 | | 582 | | | 328 |
| **1986** | 2943 | | | | 635 | 21 | | 329 | 332 | 385 | | 13 | | 808 | | | 420 |
| **1987** | 2939 | | | | 627 | 27 | | 446 | 446 | 446 | | 19 | | 628 | | | 300 |
| **1988** | 6811 | | | | 1630 | 33 | | 478 | 479 | 486 | | 26 | | 1921 | | | 1758 |
| **1989** | 5357 | | | | 1219 | 18 | | 513 | 513 | 512 | | 27 | | 1269 | | | 1286 |
| **1990** | 3228 | | | | 581 | 19 | | 361 | 357 | 411 | | 27 | | 715 | | | 757 |
| **1991** | 4161 | | | | 774 | 7 | | 581 | 588 | 587 | | 61 | | 867 | | | 696 |
| **1992** | 4947 | | | | 823 | 16 | | 585 | 674 | 678 | | 76 | | 961 | | | 1134 |
| **1993** | 11306 | | | | 2357 | 11 | | 596 | 597 | 595 | | 11 | | 3778 | | | 3361 |
| **1994** | 9540 | | | | 2074 | 8 | | 488 | 523 | 523 | | | | 3042 | | | 2882 |
| **1995** | 3773 | | | | 609 | 11 | | 382 | 429 | 429 | | | | 1073 | | | 840 |
| **1996** | 2914 | | | | 536 | 5 | | 363 | 392 | 390 | | | | 869 | | | 359 |
| **1997** | 2802 | | | | 578 | | | 453 | 454 | 453 | | | | 709 | | | 155 |
| **1998** | 7004 | 11 | 168 | 60 | 1287 | 42 | 168 | 793 | 794 | 797 | 11 | | | 1508 | 149 | 227 | 989 |
| **1999** | 5147 | 11 | 159 | 61 | 670 | 25 | 160 | 573 | 574 | 571 | 11 | | | 998 | 155 | 185 | 994 |
| **2000** | 2241 | 12 | 150 | 61 | 210 | 2 | 164 | 204 | 204 | 204 | 12 | | | 334 | 162 | 188 | 334 |
| **2001** | 319 | | 12 | | 34 | | 12 | 17 | 17 | 17 | | | | 91 | 11 | 17 | 91 |
| **2002** | 269 | | 18 | | 38 | | 14 | 21 | 21 | 21 | | | | 52 | 11 | 21 | 52 |

| | |
|---|---|
| ALKY | Alkalinität [µmol/l] |
| AMON | Ammonium [µmol/l] |
| CHL | Chlorophyll [mg/m³] |
| DOXY | Gelöster Sauerstoff [µmol/l] |
| HSUL | Schwefelwasserstoff [µmol/l] |
| NTOT | Gesamtstickstoff [µmol/l] |
| NTRA | Nitrat [µmol/l] |
| NTRI | Nitrit [µmol/l] |
| PHOS | Phosphat [µmol/l] |
| PHPH | pH-Wert |
| PRIP | Primärproduktion [ugC/l/day] |
| PRES | Wasserdruck [dbar] |
| PSAL | Salinität [PSU] |
| PTOT | Gesamtphosphor [µmol/l] |
| SLCA | Silikat [µmol/l] (**) |
| TEMP | Temperatur [°C] |

Anhang B.4: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (AWZ)

| Messgröße | Zeitfenster | Anzahl Standorte | Messwerte / Standort | | mittl. Variationskoeff. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | min | max | |
| **Ammonium** | Januar bis März | **45** | **2** | **4** | **39,5** |
| | Juli - September | **34** | **2** | **3** | **38,7** |
| **Nitrat** | Januar bis März | **30** | **2** | **3** | **29,2** |
| | Juli - September | **58** | **2** | **3** | **36,9** |
| **Gel. Sauerstoff** | Juli - September | **37** | **2** | **3** | **35,5** |
| **Phosphat** | Januar bis März | **53** | **2** | **7** | **25,9** |
| | Juli - September | **60** | **2** | **3** | **33,3** |
| **Salinität** | Januar bis März | **233** | **2** | **32** | **1,14** |
| | April - Juni | **353** | **2** | **35** | **0,48** |
| | Juli - September | **221** | **2** | **21** | **0,70** |
| | Oktober - Dezember | **66** | **2** | **17** | **1,03** |
| **Silikat** | Januar bis März | **61** | **2** | **7** | **23,0** |
| | Juli - September | **44** | **2** | **4** | **43,4** |
| **Temperatur** | Januar bis März | **260** | **2** | **32** | **14,0** |
| | April - Juni | **331** | **2** | **35** | **4,60** |
| | Juli - September | **241** | **2** | **21** | **3,26** |
| | Oktober - Dezember | **66** | **2** | **17** | **9,79** |

Anhang B.5: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (AWZ)

| Messgröße | Zeitintervall | Lagsize | Anzahl Lags | Lagsize-Ratio | Kommentare |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Januar bis März | 14514 | 17 | 3 | |
| | Juli - September | 19914 | 10 | 3 | |
| **Nitrat** | Januar bis März | 18140 | 10 | 3 | |
| | Juli - September | 12229 | 8 | 3 | |
| **Gel. Sauerstoff** | Juli - September | 17776 | 10 | 3 | |
| **Phosphat** | Januar bis März | 11315 | 12 | 2,5 | |
| | Juli - September | 25621 | 8 | 6 | |
| **Salinität** | Januar bis März | 5406 | 12 | 4 | |
| | April - Juni | 8798 | 12 | 4 | |
| | Juli - September | 14282 | 12 | 7 | |
| | Oktober - Dezember | 7192 | 10 | 6 | |
| **Silikat** | Januar bis März | 14980 | 12 | 3 | |
| | Juli - September | 14978 | 8 | 3 | |
| **Temperatur** | Januar bis März | 11070 | 12 | 8 | |
| | April - Juni | 8764 | 14 | 4 | |
| | Juli - September | 14212 | 14 | 7 | |
| | Oktober - Dezember | 3553 | 14 | 2,5 | |
| **Korngrößen** | 0 bis 20 µ | 4362 | 12 | 3 | 6 Ausreißer entfernt |
| | 20 bis 63 µ | 5804 | 10 | 4 | 2 Ausreißer entfernt |
| | 63 bis 2000 µ | 5772 | 10 | 4 | |

Anhang B.6: Kenngrößen der Modellvariogramme (AWZ)

| Messgröße | Zeitfenster | Nugget | Partial Sill | N-S-Ratio | Major Range [m] | Minor Range [m] | A-Richtung [°] | A-Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Januar bis März | 1,76 | 4,27 | 0,29 | 235900 | 140200 | 16,7 | 0,59 |
| | Juli - September | 1,15 | 2,56 | 0,31 | 18940 | 11500 | 56 | 0,61 |
| **Nitrat** | Januar bis März | 50 | 347 | 0,13 | 172520 | 67171 | 0,1 | 0,39 |
| | Juli - September | 0,70 | 0,75 | 0,48 | 92931 | 40000 | 58,2 | 0,43 |
| **Gel. Sauerstoff** | Juli - September | 1,21 | 2,69 | 0,31 | 169080 | 117400 | 51,8 | 0,69 |
| **Phosphat** | Januar bis März | 0,03 | 0,06 | 0,32 | 128480 | 60340 | 356,5 | 0,47 |
| | Juli - September | 0,02 | 0,07 | 0,23 | 194290 | 102950 | 40,2 | 0,53 |
| **Salinität** | Januar bis März | 0,40 | 2,09 | 0,16 | 61444 | 34249 | 340,6 | 0,56 |
| | April - Juni | 0,10 | 4,30 | 0,02 | 99931 | 73390 | 339,4 | 0,73 |
| | Juli - September | 0,05 | 1,04 | 0,05 | 162150 | 97654 | 356,2 | 0,60 |
| | Oktober - Dezember | 0,28 | 0,86 | 0,25 | 68453 | 44167 | 327,5 | 0,65 |
| **Silikat** | Januar bis März | 20 | 90,9 | 0,18 | 170060 | 72369 | 352,2 | 0,43 |
| | Juli - September | 2,15 | 3,42 | 0,39 | 113680 | 84375 | 40,3 | 0,74 |
| **Temperatur** | Januar bis März | 1,13 | 1,15 | 0,50 | 125730 | 92287 | 341,6 | 0,73 |
| | April - Juni | 2,20 | 5,81 | 0,27 | 117310 | 106560 | 16,2 | 0,91 |
| | Juli - September | 1,50 | 6,24 | 0,19 | 198210 | 120000 | 55 | 0,61 |
| | Oktober - Dezember | 1,00 | 0,91 | 0,52 | 47483 | 22568 | 93,1 | 0,48 |
| **Korngrößen** | 0 bis 20 µ | 1900 | 9133 | 0,17 | 27618 | 25247 | 341,7 | 0,91 |
| | 20 bis 63 µ | 2100 | 7586 | 0,22 | 55202 | 40532 | 23,4 | 0,73 |
| | 63 bis 2000 µ | 2699 | 40160 | 0,06 | 55560 | 40873 | 18,6 | 0,74 |

Anhang B.7: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (AWZ)

| Messgröße | Zeitfenster | MF | VMSF | MPF | Ks |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Januar bis März | 0,00 | 0,94 | 33,8 | 0,78 |
| | Juli - September | 0,00 | 1,00 | 31,9 | 0,71 |
| **Nitrat** | Januar bis März | 0,00 | 0,98 | 22,7 | 0,88 |
| | Juli - September | 0,00 | 1,07 | 63,8 | 0,53 |
| **Gel. Sauerstoff** | Juli - September | 0,01 | 1,10 | 31,5 | 0,63 |
| **Phosphat** | Januar bis März | 0,00 | 0,99 | 14,7 | 0,74 |
| | Juli - September | 0,00 | 1,05 | 27,4 | 0,77 |
| **Salinität** | Januar bis März | 0,00 | 1,01 | 0,6 | 0,91 |
| | April - Juni | 0,02 | 1,06 | 0,4 | 0,95 |
| | Juli - September | 0,00 | 1,02 | 0,2 | 0,97 |
| | Oktober - Dezember | 0,01 | 0,96 | 0,6 | 0,89 |
| **Silikat** | Januar bis März | -0,03 | 0,98 | 19,3 | 0,87 |
| | Juli - September | -0,04 | 1,08 | 32,8 | 0,56 |
| **Temperatur** | Januar bis März | 0,00 | 1,01 | 10,5 | 0,60 |
| | April - Juni | 0,04 | 1,06 | 9,3 | 0,67 |
| | Juli - September | 0,01 | 0,98 | 4,5 | 0,93 |
| | Oktober - Dezember | -0,02 | 1,04 | 6,7 | 0,42 |
| **Korngrößen** | 0 bis 20 µ | -0,50 | 0,99 | 30,22 | 0,81 |
| | 20 bis 63 µ | -0,95 | 0,99 | 71,71 | 0,70 |
| | 63 bis 2000 µ | 1,66 | 1,04 | 1,62 | 0,86 |

Anhang B.8: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Nordsee)

| Messgröße | Zeitfenster | Anzahl Standorte | Messwerte / Standort | | mittl. Variationskoeff. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | min | max | |
| **Ammonium** | Winter | **68** | **2** | **8** | **75,8** |
| | Sommer | **47** | **2** | **7** | **126,9** |
| **Nitrat** | Winter | **101** | **2** | **11** | **23,1** |
| | Sommer | **77** | **2** | **12** | **111,2** |
| **Phosphat** | Winter | **119** | **2** | **11** | **20,0** |
| | Sommer | **78** | **2** | **12** | **49,9** |
| **Salinität** | Winter | **267** | **2** | **31** | **1,4** |
| | Sommer | **265** | **2** | **15** | **0,7** |
| **Silikat** | Winter | **128** | **2** | **11** | **21,5** |
| | Sommer | **74** | **2** | **12** | **45,6** |
| **Temperatur** | Winter | **475** | **2** | **31** | **6,2** |
| | Sommer | **354** | **2** | **15** | **3,1** |

Anhang B.9: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Nordsee)

| Messgröße | Zeitintervall | Lagsize | Anzahl Lags | Lagsize-Ratio | Kommentare |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Winter | 8578 | 12 | 1 | |
| | Sommer | 11238 | 12 | 1 | |
| **Nitrat** | Winter | 6375 | 12 | 1 | |
| | Sommer | 11746 | 12 | 1 | |
| **Phosphat** | Winter | 6030 | 10 | 1 | 6 Ausreißer entfernt |
| | Sommer | 10445 | 10 | 1 | 2 Ausreißer entfernt |
| **Salinität** | Winter | 8895 | 12 | 5 | 1 Ausreißer entfernt |
| | Sommer | 15682 | 10 | 10 | |
| **Silikat** | Winter | 6118 | 12 | 1 | |
| | Sommer | 108681 | 10 | 1 | 2 Ausreißer entfernt |
| **Temperatur** | Winter | 15740 | 10 | 10 | |
| | Sommer | 1345 | 16 | 10 | |
| **Korngrößen** | 0 bis 63 µ | 6523 | 12 | 1 | Lognormaltransf. |
| | 63 bis 2000 µ | 5659 | 10 | 1 | |

Anhang B.10: Kenngrößen der Modellvariogramme (Nordsee)

| Messgröße | Zeitfenster | Nugget | Partial Sill | N-S-Ratio | Major Range [m] | Minor Range [m] | A-Richtung [°] | A-Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Winter | 0,77 | 2,93 | 0,21 | 98103 | 92668 | 10,2 | 0,94 |
| | Sommer | 0,55 | 2,11 | 0,21 | 127630 | 93754 | 53,3 | 0,73 |
| **Nitrat** | Winter | 40 | 100 | 0,29 | 72379 | 54394 | 354,7 | 0,75 |
| | Sommer | 1,50 | 2,05 | 0,42 | 111730 | 72721 | 53,8 | 0,65 |
| **Phosphat** | Winter | 0,02 | 0,03 | 0,38 | 57412 | 32335 | 353,1 | 0,56 |
| | Sommer | 0,01 | 0,05 | 0,13 | 99519 | 82019 | 41,9 | 0,82 |
| **Salinität** | Winter | 0,08 | 0,80 | 0,09 | 102210 | 70494 | 350,1 | 0,69 |
| | Sommer | 0,03 | 0,23 | 0,11 | 149150 | 77569 | 359,1 | 0,52 |
| **Silikat** | Winter | 3,13 | 50,4 | 0,06 | 69630 | 57060 | 342,5 | 0,82 |
| | Sommer | 1,00 | 2,60 | 0,28 | 101280 | 83246 | 46,1 | 0,82 |
| **Temperatur** | Winter | 0,70 | 1,00 | 0,41 | 103980 | 72159 | 48,1 | 0,69 |
| | Sommer | 0,35 | 4,79 | 0,07 | 214570 | 207390 | 40,6 | 0,97 |
| **Korngrößen** | 0 bis 63 µ | 0,09 | 2,83 | 0,03 | 74076 | 47756 | 71,2 | 0,64 |
| | 63 bis 2000 µ | 5000 | 33628 | 0,13 | 56164 | 54679 | 39,1 | 0,97 |

Anhang B.11: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Nordsee)

| Messgröße | Zeitfenster | MF | VMSF | MPF | Ks |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ammonium** | Winter | 0,02 | 1,01 | 33,9 | 0,74 |
| | Sommer | -0,02 | 1,00 | 26,1 | 0,81 |
| **Nitrat** | Winter | 0,21 | 1,00 | 13,5 | 0,81 |
| | Sommer | -0,33 | 1,03 | 37,2 | 0,92 |
| **Phosphat** | Winter | 0,00 | 1,01 | 9,9 | 0,80 |
| | Sommer | 0,00 | 1,00 | 12,1 | 0,89 |
| **Salinität** | Winter | 0,00 | 0,98 | 0,2 | 0,95 |
| | Sommer | 0,00 | 0,99 | 0,1 | 0,96 |
| **Silikat** | Winter | 0,09 | 1,06 | 13,5 | 0,86 |
| | Sommer | 0,04 | 1,09 | 20,7 | 0,78 |
| **Temperatur** | Winter | 0,84 | 0,99 | 6,2 | 0,83 |
| | Sommer | 0,00 | 1,00 | 2,8 | 0,97 |
| **Korngrößen** | 0 bis 63 µ | -1,81 | 1,00 | 35,2 | 0,83 |
| | 63 bis 2000 µ | -1,11 | 1,00 | 1,7 | 0,80 |

Anhang B.12: Mittlere Variationskoeffizienten für mehrfach beprobte Standorte (Ostsee)

| Messgröße | Zeitfenster | Anzahl Standorte | Messwerte / Standort | | mittl. Variationsko |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | min | max | |
| **Nitrat** | Winter | **244** | **2** | **21** | **9,4** |
| | Sommer | **309** | **2** | **26** | **29,3** |
| **Gel. Sauerstoff** | Winter | **244** | **2** | **17** | **17,6** |
| | Sommer | **152** | **2** | **19** | **59,2** |
| **Phosphat** | Winter | **229** | **2** | **17** | **22,0** |
| | Sommer | **192** | **2** | **19** | **39,2** |
| **Salinität** | Winter | **317** | **2** | **17** | **6,7** |
| | Sommer | **336** | **2** | **20** | **5,9** |
| **Temperatur** | Winter | **127** | **2** | **17** | **13,6** |
| | Sommer | **250** | **2** | **19** | **9,6** |

Anhang B.13: Eingangsgrößen für die experimentelle Variogramm-Analyse (Ostsee)

| Messgröße | Zeitintervall | Lagsize | Anzahl Lags | Lagsize-Ratio | Kommentare |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nitrat** | Winter | 9292 | 11 | 5 | Lognormaltransf. |
| | Sommer | 26630 | 8 | 10 | |
| **Gel. Sauerstoff** | Winter | 17050 | 7 | 10 | |
| | Sommer | 9205 | 8 | 5 | |
| **Salinität** | Winter | 15180 | 12 | 10 | Trendbereinigung |
| | Sommer | 12260 | 12 | 10 | Trendbereinigung |
| **Temperatur** | Winter | 19200 | 14 | 8 | |
| | Sommer | 7839 | 9 | 5 | |

Anhang B.14: Kenngrößen der Modellvariogramme (Ostsee)

| Messgröße | Zeitfenster | Nugget | Partial Sill | N-S-Ratio | Major Range [m] | Minor Range [m] | A-Richtung [°] | A-Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nitrat** | Winter | 0,08 | 0,27 | 0,22 | 94687 | 61359 | 52,2 | 0,65 |
| | Sommer | 3,64 | 4,24 | 0,46 | 202020 | 176030 | 327,6 | 0,87 |
| **Gel. Sauerstoff** | Winter | 0,45 | 0,74 | 0,38 | 114070 | 94704 | 307,8 | 0,83 |
| | Sommer | 0,90 | 1,92 | 0,32 | 68249 | 27413 | 351,4 | 0,40 |
| **Salinität** | Winter | 2,50 | 13,3 | 0,16 | 172380 | 121780 | 353,7 | 0,71 |
| | Sommer | 4,30 | 22,4 | 0,16 | 139230 | 108370 | 351,3 | 0,78 |
| **Temperatur** | Winter | 2,00 | 2,41 | 0,45 | 229590 | 79454 | 2,1 | 0,35 |
| | Sommer | 4,50 | 5,47 | 0,45 | 59929 | 36802 | 316,5 | 0,61 |

Anhang B.15: Schätzgütekennzahlen der Kreuzvalidierung (Ostsee)

| Messgröße | Zeitfenster | MF | VMSF | MPF | Ks |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nitrat** | Winter | 0,21 | 1,00 | 13,5 | 0,81 |
| | Sommer | -0,02 | 1,01 | 27,3 | 0,78 |
| **Gel. Sauerstoff** | Winter | 0,00 | 1,00 | 5,0 | 0,78 |
| | Sommer | -1,81 | 1,00 | 35,2 | 0,83 |
| **Salinität** | Winter | 0,00 | 0,98 | 0,2 | 0,95 |
| | Sommer | 0,00 | 0,99 | 0,1 | 0,96 |
| **Temperatur** | Winter | 0,84 | 0,99 | 6,2 | 0,83 |
| | Sommer | 0,00 | 1,00 | 2,8 | 0,97 |

Anhang B.16: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (AWZ)

| **Fehlklassifikationsmatrix AWZ** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lebensgemeinschaft | | | | | | | |
| | | cNS | NN | MB | HD | GS | TF | BT | AF |
| Vorhergesagt | centr. North Sea (cNS) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Nucula Nitidosa (NN) | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| | Macoma Balthica (MB) | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Helgoland Depth (HD) | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Goniadella Spisula (GS) | 0 | 1 | 3 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 |
| | Tellina Fabula (TF) | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 33 | 1 | 0 |
| | Bathyporeia Tellina (BT) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 17 | 2 |
| | Amphiura Filiformis (AF) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 49 |
| Gesamt | | 6 | 24 | 8 | 4 | 27 | 40 | 20 | 53 |
| **Fehlklassifiziert (n)** | | **1** | **3** | **4** | **1** | **6** | **7** | **3** | **4** |
| **Fehlklassifiziert (%)** | | **16,7** | **12,5** | **50,0** | **25,0** | **22,2** | **17,5** | **15,0** | **7,5** |

Anhang B.17: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (AWZ) Teil 1 von 2

| | | | Ammonium [µmol/l] | | Sauerst. [ml/l] | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | | | | Korngröße [g/kg] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kn.** | | **Tiefe** | **1_3** | **7_9** | **7_9** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **4_6** | **7_9** | **10_12** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **4_6** | **7_9** | **10_12** | **0_20µ** | **20_63µ** | **63_2000µ** |
| **23** | **n** | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2592 | 2590 | 2546 | 2535 | 2588 |
| | **Minimum** | 28,9 | 0,3 | 1,2 | 1,2 | 4,4 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 34,1 | 33,8 | 33,7 | 34,1 | 3,0 | 1,3 | 5,1 | 4,5 | 7,4 | 9,1 | 3,5 | 0,0 | 712,5 |
| | **Maximum** | 56,0 | 0,9 | 2,8 | 3,6 | 10,4 | 3,5 | 0,7 | 0,5 | 34,9 | 34,9 | 34,8 | 34,8 | 5,7 | 7,0 | 6,5 | 11,2 | 14,5 | 13,7 | 198,8 | 155,7 | 992,7 |
| | **Mittelw.** | 44,2 | 0,5 | 2,0 | 2,5 | 6,1 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 34,7 | 34,5 | 34,5 | 34,6 | 4,2 | 3,9 | 5,8 | 7,4 | 11,6 | 10,4 | 64,0 | 44,3 | 909,2 |
| | **Median** | 44,2 | 0,5 | 2,0 | 2,5 | 6,0 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 34,7 | 34,5 | 34,5 | 34,6 | 4,1 | 3,8 | 5,8 | 7,3 | 11,5 | 10,3 | 49,8 | 36,2 | 925,6 |
| | **St.abw.** | 4,6 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 0,9 | 0,3 | 1,0 | 1,7 | 0,5 | 45,0 | 30,1 | 53,8 |
| **27** | **n** | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1190 | 1122 | 947 | 1114 | 1168 |
| | **Minimum** | 26,5 | 0,6 | 1,2 | 1,2 | 4,2 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 34,7 | 34,1 | 34,8 | 34,6 | 2,9 | 1,3 | 5,3 | 4,6 | 7,5 | 8,5 | 2,8 | 0,3 | 867,0 |
| | **Maximum** | 59,9 | 1,0 | 2,7 | 3,4 | 7,2 | 3,2 | 0,6 | 0,6 | 35,0 | 35,0 | 35,2 | 34,8 | 4,7 | 6,6 | 6,8 | 9,8 | 14,4 | 11,7 | 115,1 | 97,5 | 997,0 |
| | **Mittelw.** | 44,2 | 0,8 | 2,0 | 2,1 | 5,9 | 1,1 | 0,6 | 0,3 | 34,9 | 34,7 | 34,9 | 34,8 | 3,5 | 2,9 | 6,1 | 7,7 | 10,2 | 10,0 | 26,5 | 22,1 | 968,4 |
| | **Median** | 44,2 | 0,8 | 2,0 | 2,0 | 5,9 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 34,9 | 34,7 | 34,8 | 34,8 | 3,5 | 2,8 | 6,0 | 7,7 | 9,9 | 9,8 | 17,5 | 18,7 | 970,4 |
| | **St.abw.** | 7,8 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 1,2 | 0,3 | 1,2 | 1,6 | 0,9 | 26,1 | 13,8 | 16,7 |
| **28** | **n** | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1008 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 1009 | 764 | 822 | 861 | 987 |
| | **Minimum** | 45,5 | 0,7 | 2,7 | 2,2 | 2,8 | 1,3 | 0,5 | 0,4 | 34,7 | 34,2 | 34,8 | 34,6 | 3,2 | 2,1 | 6,0 | 4,7 | 6,5 | 5,9 | 9,7 | 11,5 | 858,3 |
| | **Maximum** | 84,8 | 1,0 | 3,7 | 3,6 | 7,4 | 3,4 | 0,7 | 0,7 | 35,2 | 35,0 | 35,2 | 34,9 | 4,7 | 6,7 | 6,9 | 7,2 | 9,2 | 10,4 | 180,6 | 110,4 | 973,5 |
| | **Mittelw.** | 70,5 | 0,8 | 3,4 | 3,2 | 6,2 | 2,8 | 0,6 | 0,6 | 34,9 | 34,9 | 34,9 | 34,8 | 3,8 | 3,6 | 6,5 | 6,0 | 7,3 | 7,8 | 43,3 | 36,5 | 956,0 |
| | **Median** | 70,7 | 0,8 | 3,5 | 3,3 | 6,3 | 2,9 | 0,6 | 0,7 | 35,0 | 34,9 | 34,9 | 34,8 | 3,8 | 3,8 | 6,6 | 6,0 | 7,2 | 7,8 | 30,2 | 33,6 | 957,5 |
| | **St.abw.** | 7,0 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,8 | 0,5 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 30,0 | 11,6 | 13,7 |
| **32** | **n** | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 447 | 453 | 453 | 453 | 453 | 453 | 309 | 370 | 453 | 453 |
| | **Minimum** | 5,3 | 0,4 | 1,2 | 1,3 | 8,0 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 26,9 | 22,0 | 28,3 | 29,7 | 4,5 | 2,1 | 2,7 | 6,9 | 15,1 | 7,1 | 27,2 | 0,6 | 377,2 |
| | **Maximum** | 30,4 | 6,5 | 6,8 | 6,7 | 81,9 | 3,2 | 1,5 | 1,8 | 35,0 | 34,6 | 34,5 | 35,1 | 44,3 | 9,0 | 5,7 | 13,9 | 18,1 | 13,6 | 449,1 | 319,4 | 1009,8 |
| | **Mittelw.** | 16,0 | 3,9 | 4,5 | 4,5 | 37,1 | 1,6 | 0,9 | 0,8 | 31,6 | 30,9 | 32,0 | 32,8 | 17,8 | 4,9 | 4,3 | 10,2 | 16,8 | 9,9 | 96,2 | 48,0 | 872,1 |
| | **Median** | 16,9 | 3,4 | 4,3 | 4,3 | 31,5 | 1,9 | 0,8 | 0,6 | 31,9 | 31,9 | 32,4 | 32,9 | 14,5 | 3,7 | 4,4 | 9,3 | 16,8 | 9,9 | 66,2 | 31,2 | 906,6 |
| | **St.abw.** | 8,8 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 20,9 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 1,9 | 2,6 | 1,5 | 1,7 | 11,3 | 2,1 | 0,8 | 2,0 | 0,6 | 1,2 | 73,2 | 51,7 | 111,1 |
| **33** | **n** | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 147 | 129 | 148 | 148 |
| | **Minimum** | 5,4 | 2,5 | 0,6 | 0,6 | 31,6 | 0,1 | 0,8 | 0,2 | 28,9 | 23,6 | 30,7 | 29,6 | 16,3 | 1,7 | 2,7 | 7,2 | 16,3 | 7,8 | 0,0 | 0,0 | 881,2 |
| | **Maximum** | 19,1 | 6,2 | 6,8 | 6,8 | 65,0 | 3,0 | 1,3 | 1,6 | 31,9 | 31,5 | 31,2 | 32,8 | 31,5 | 7,7 | 4,2 | 14,0 | 17,9 | 10,4 | 7,4 | 102,0 | 1006,5 |
| | **Mittelw.** | 12,6 | 4,3 | 1,2 | 1,4 | 48,8 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 30,2 | 29,4 | 31,0 | 31,5 | 24,6 | 2,5 | 3,4 | 9,3 | 17,2 | 8,9 | 3,9 | 18,7 | 976,6 |
| | **Median** | 14,0 | 4,4 | 0,9 | 1,2 | 50,3 | 0,2 | 1,0 | 0,4 | 30,2 | 29,4 | 31,0 | 31,4 | 25,2 | 2,2 | 3,4 | 8,8 | 17,3 | 8,9 | 4,3 | 14,7 | 982,7 |
| | **St.abw.** | 5,3 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 7,1 | 0,7 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,1 | 0,7 | 3,5 | 1,1 | 0,3 | 1,6 | 0,4 | 0,5 | 2,4 | 20,7 | 24,1 |

Anhang B.17: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (AWZ) Teil 2 von 2

| | | | Ammonium [µmol/l] | | Sauerst. [ml/l] | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | | | | Korngröße [g/kg] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kn.** | | **Tiefe** | **1_3** | **7_9** | **7_9** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **4_6** | **7_9** | **10_12** | **1_3** | **7_9** | **1_3** | **4_6** | **7_9** | **10_12** | **0_20µ** | **20_63µ** | **63_2000µ** |
| **34** | **n** | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 107 | 113 | 113 |
| | **Minimum** | 5,1 | 2,1 | 0,6 | 0,6 | 42,1 | 0,1 | 0,9 | 0,4 | 27,8 | 25,5 | 29,2 | 29,4 | 19,9 | 1,9 | 2,6 | 7,2 | 16,2 | 7,6 | 7,6 | 0,0 | 811,4 |
| | **Maximum** | 18,7 | 6,4 | 6,2 | 6,2 | 75,7 | 3,3 | 1,4 | 1,5 | 31,6 | 31,1 | 31,2 | 31,4 | 37,6 | 7,3 | 3,6 | 14,3 | 17,9 | 10,1 | 27,2 | 187,8 | 998,5 |
| | **Mittelw.** | 10,6 | 5,1 | 1,8 | 1,9 | 56,1 | 1,3 | 1,1 | 0,6 | 29,6 | 29,2 | 30,8 | 30,4 | 28,3 | 3,7 | 3,0 | 9,5 | 17,3 | 8,5 | 14,6 | 30,0 | 956,5 |
| | **Median** | 10,6 | 5,4 | 1,5 | 1,6 | 56,3 | 1,3 | 1,1 | 0,6 | 29,4 | 28,8 | 30,8 | 30,3 | 29,2 | 3,4 | 3,0 | 9,0 | 17,3 | 8,4 | 14,1 | 16,2 | 973,6 |
| | **St.abw.** | 5,1 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 5,9 | 0,9 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,9 | 0,2 | 0,6 | 2,8 | 1,3 | 0,3 | 1,7 | 0,4 | 0,6 | 4,4 | 37,2 | 41,4 |
| **35** | **n** | 1670 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1656 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1665 | 1503 | 1571 | 1665 | 1665 |
| | **Minimum** | 5,0 | 0,4 | 0,7 | 0,7 | 4,9 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 29,7 | 24,0 | 31,2 | 31,1 | 3,0 | 1,6 | 3,1 | 6,4 | 14,5 | 6,3 | 0,0 | 0,0 | 815,6 |
| | **Maximum** | 40,2 | 5,5 | 6,9 | 6,8 | 50,0 | 3,2 | 1,1 | 1,6 | 35,0 | 34,8 | 34,9 | 34,8 | 25,2 | 7,8 | 6,0 | 14,4 | 18,1 | 10,8 | 27,2 | 170,8 | 1016,4 |
| | **Mittelw.** | 23,3 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 20,4 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 33,1 | 32,6 | 32,9 | 33,4 | 9,8 | 2,8 | 4,6 | 8,9 | 16,3 | 9,4 | 11,2 | 9,7 | 981,4 |
| | **Median** | 24,3 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 16,2 | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 33,4 | 33,0 | 33,0 | 33,7 | 7,1 | 2,6 | 4,7 | 8,3 | 16,3 | 9,4 | 9,9 | 5,5 | 987,8 |
| | **St.abw.** | 8,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 10,4 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 1,4 | 0,9 | 1,0 | 5,4 | 1,0 | 0,7 | 2,0 | 0,7 | 0,8 | 5,9 | 15,2 | 20,4 |
| **36** | **n** | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 157 | 173 | 173 |
| | **Minimum** | 16,4 | 0,5 | 1,4 | 1,3 | 4,9 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 31,9 | 31,7 | 32,4 | 32,4 | 3,0 | 1,3 | 4,0 | 6,8 | 14,5 | 10,8 | 0,0 | 0,0 | 890,9 |
| | **Maximum** | 41,7 | 3,4 | 4,2 | 4,1 | 30,8 | 1,4 | 0,8 | 0,6 | 34,9 | 34,8 | 34,8 | 34,8 | 14,0 | 3,9 | 6,3 | 11,5 | 17,7 | 13,6 | 26,8 | 69,5 | 1005,9 |
| | **Mittelw.** | 25,6 | 2,0 | 2,7 | 2,7 | 19,4 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 33,2 | 33,1 | 33,3 | 33,7 | 8,8 | 2,5 | 5,0 | 8,8 | 16,3 | 11,8 | 8,7 | 9,3 | 982,7 |
| | **Median** | 24,6 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 21,1 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 33,0 | 32,8 | 33,2 | 33,8 | 9,3 | 2,5 | 5,0 | 8,4 | 16,5 | 11,3 | 8,0 | 5,2 | 986,0 |
| | **St.abw.** | 5,4 | 1,1 | 0,7 | 0,6 | 7,9 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | 3,2 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 8,5 | 13,7 | 18,5 |
| **37** | **n** | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1346 | 1311 | 1332 | 1346 | 1346 |
| | **Minimum** | 30,4 | 0,3 | 1,1 | 1,2 | 4,4 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 32,1 | 31,1 | 32,2 | 33,0 | 3,8 | 1,9 | 4,3 | 6,4 | 14,5 | 9,3 | 27,3 | 0,6 | 659,6 |
| | **Maximum** | 48,5 | 4,7 | 6,2 | 6,2 | 36,1 | 2,6 | 1,0 | 0,9 | 34,9 | 34,7 | 34,6 | 34,8 | 16,1 | 7,8 | 6,2 | 13,2 | 17,5 | 11,5 | 168,2 | 162,1 | 999,5 |
| | **Mittelw.** | 38,5 | 1,0 | 2,2 | 2,3 | 10,4 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 34,3 | 34,1 | 34,1 | 34,4 | 5,3 | 3,6 | 5,6 | 9,2 | 15,7 | 10,4 | 67,3 | 49,3 | 902,9 |
| | **Median** | 38,4 | 0,6 | 2,0 | 2,1 | 9,1 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 34,5 | 34,1 | 34,2 | 34,6 | 4,9 | 3,5 | 5,6 | 9,1 | 15,6 | 10,5 | 67,4 | 42,2 | 908,4 |
| | **St.abw.** | 3,4 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 5,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 1,8 | 1,0 | 0,4 | 1,5 | 0,7 | 0,4 | 26,2 | 26,8 | 35,9 |
| **38** | **n** | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| | **Minimum** | 31,5 | 0,6 | 1,1 | 1,3 | 7,9 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 32,8 | 32,4 | 32,1 | 32,9 | 5,0 | 2,9 | 4,3 | 6,2 | 14,5 | 9,6 | 170,8 | 64,0 | 406,1 |
| | **Maximum** | 45,9 | 5,0 | 5,7 | 6,0 | 27,6 | 2,5 | 1,0 | 0,8 | 34,6 | 33,9 | 34,1 | 34,4 | 14,6 | 7,7 | 5,7 | 7,8 | 16,4 | 10,3 | 306,1 | 244,5 | 852,4 |
| | **Mittelw.** | 38,8 | 3,2 | 3,6 | 3,9 | 17,3 | 1,5 | 0,8 | 0,5 | 33,5 | 33,1 | 33,1 | 33,7 | 10,1 | 4,7 | 4,9 | 7,0 | 15,6 | 10,0 | 208,5 | 118,8 | 713,8 |
| | **Median** | 38,9 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 17,7 | 1,8 | 0,8 | 0,5 | 33,2 | 33,0 | 33,0 | 33,5 | 10,9 | 4,4 | 4,7 | 7,0 | 15,9 | 10,0 | 195,6 | 99,0 | 771,6 |
| | **St.abw.** | 3,5 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 6,3 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 3,6 | 1,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,2 | 36,2 | 51,2 | 129,0 |
| **AWZ** | **n** | 8727 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8706 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8722 | 8065 | 8014 | 8441 | 8674 |
| | **Minimum** | 5,0 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 2,8 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 26,9 | 22,0 | 28,3 | 29,4 | 2,9 | 1,3 | 2,6 | 4,5 | 6,5 | 5,9 | 0,0 | 0,0 | 377,2 |
| | **Maximum** | 84,8 | 6,5 | 6,9 | 6,8 | 81,9 | 3,5 | 1,5 | 1,8 | 35,2 | 35,0 | 35,2 | 35,1 | 44,3 | 9,0 | 6,9 | 14,4 | 18,1 | 13,7 | 449,1 | 319,4 | 1016,4 |
| | **Mittelw.** | 39,1 | 1,3 | 2,3 | 2,5 | 12,8 | 1,1 | 0,6 | 0,4 | 34,0 | 33,8 | 34,0 | 34,2 | 6,8 | 3,5 | 5,5 | 8,1 | 13,0 | 9,9 | 47,0 | 33,7 | 935,9 |
| | **Median** | 39,7 | 0,8 | 2,1 | 2,4 | 6,7 | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 34,6 | 34,4 | 34,4 | 34,6 | 4,5 | 3,4 | 5,7 | 7,8 | 13,6 | 10,1 | 31,6 | 28,4 | 951,1 |
| | **St.abw.** | 16,2 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 12,9 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 1,3 | 1,6 | 1,1 | 1,0 | 6,1 | 1,2 | 0,9 | 1,8 | 3,4 | 1,1 | 44,1 | 30,3 | 58,2 |

Anhnag B.18: F-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

| | | Ammonium [µmol/l] | | Sauerst.[ml/l] | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | | | | Korngröße [g/kg] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klassen | Tiefe [m] | 1_3 | 7_9 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 0_20µ | 20_63µ | 63_2000µ |
| 23 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | **1,0** | 1,0 | 0,9 |
| 27 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| 28 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| 32 | 0,3 | **1,5** | **2,0** | **2,1** | **2,6** | 0,8 | **3,9** | **4,0** | **2,0** | **2,8** | **1,6** | **2,6** | **3,4** | **3,1** | 0,8 | **1,3** | 0,0 | **1,2** | **2,8** | **2,9** | **3,6** |
| 33 | 0,1 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,5 | 0,2 |
| 34 | 0,1 | 0,6 | **1,3** | **1,4** | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,4 | 0,2 | **1,2** | 0,1 | 0,9 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | **1,5** | 0,5 |
| 35 | 0,2 | 0,8 | **1,3** | **1,3** | 0,7 | 0,4 | **1,0** | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | **1,2** | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| 36 | 0,1 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,9 | 0,0 | 0,2 | 0,1 |
| 37 | 0,0 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,2 | 0,7 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 0,4 |
| 38 | 0,0 | **1,8** | **2,7** | **2,8** | 0,2 | 0,8 | **1,5** | 1,0 | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,4 | **1,5** | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | **2,9** | **4,9** |

Anhang B.19: T-Werte der Lebensraumklassen (AWZ)

| | | Ammonium [µmol/l] | | Sauerst.[ml/l] | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | | | | Korngröße [g/kg] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klassen | Tiefe [m] | 1_3 | 7_9 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 0_20µ | 20_63µ | 63_2000µ |
| 23 | 0,3 | -0,6 | -0,3 | 0,0 | -0,5 | -0,1 | -0,4 | -0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | -0,4 | 0,3 | 0,3 | -0,4 | -0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | -0,5 |
| 27 | 0,1 | -0,3 | -0,4 | -0,4 | -0,5 | 0,1 | -0,4 | -0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,6 | -0,5 | -0,4 | 0,7 | -0,2 | -0,8 | 0,1 | -0,5 | -0,4 | 0,6 |
| 28 | 1,9 | -0,4 | 1,0 | 0,7 | -0,5 | 1,8 | -0,1 | 1,2 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | -0,5 | 0,1 | 1,2 | -1,2 | -1,7 | -1,9 | -0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 32 | 1,4 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 0,6 | 1,7 | 2,0 | -1,8 | -1,8 | -1,7 | -1,4 | 1,8 | 1,2 | -1,4 | 1,2 | 1,1 | 0,0 | 1,1 | 0,5 | -1,1 |
| 33 | -1,6 | 2,4 | -1,2 | -1,1 | 2,8 | -0,6 | 2,7 | 0,4 | -2,8 | -2,7 | -2,6 | -2,6 | 2,9 | -0,8 | -2,3 | 0,7 | 1,3 | -0,9 | -1,0 | -0,5 | 0,7 |
| 34 | -1,8 | 3,0 | -0,5 | -0,6 | 3,4 | 0,3 | 3,5 | 1,2 | -3,3 | -2,9 | -2,7 | -3,7 | 3,5 | 0,2 | -2,8 | 0,8 | 1,3 | -1,2 | -0,7 | -0,1 | 0,4 |
| 35 | -1,0 | 0,5 | -0,2 | -0,3 | 0,6 | -0,6 | 0,2 | -0,3 | -0,7 | -0,7 | -0,9 | -0,7 | 0,5 | -0,6 | -1,0 | 0,5 | 1,0 | -0,4 | -0,8 | -0,8 | 0,8 |
| 36 | -0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | -0,4 | 0,2 | -0,1 | -0,6 | -0,5 | -0,5 | -0,5 | 0,3 | -0,8 | -0,5 | 0,4 | 1,0 | 1,7 | -0,9 | -0,8 | 0,8 |
| 37 | 0,0 | -0,2 | -0,1 | -0,2 | -0,2 | -0,7 | -0,3 | -0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | -0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | -0,6 |
| 38 | 0,0 | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 0,3 | 0,5 | 0,9 | 0,6 | -0,4 | -0,4 | -0,8 | -0,5 | 0,5 | 1,1 | -0,7 | -0,6 | 0,8 | 0,1 | 3,7 | 2,8 | -3,8 |

Anhang B.20: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (AWZ)

| | | Ammonium [µmol/l] | | Sauerst.[ml/l | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | | | | Korngröße [g/kg] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Tiefe | 1_3 | 7_9 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 1_3 | 7_9 | 1_3 | 4_6 | 7_9 | 10_12 | 0_20µ | 20_63µ | 63_2000µ |
| 23 und 27 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 28 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| 23 und 32 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| 23 und 33 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 34 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 35 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 23 und 38 | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | | + | | + | + | + | + | + |
| 27 und 28 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 27 und 32 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + |
| 27 und 33 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 27 und 34 | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| 27 und 35 | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 27 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 27 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 27 und 38 | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + |
| 28 und 32 | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| 28 und 33 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 und 34 | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 und 35 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 und 38 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 32 und 33 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 32 und 34 | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 32 und 35 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 32 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 32 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | |
| 32 und 38 | + | | | | + | | | + | + | + | + | | + | | + | + | + | | + | + | + |
| 33 und 34 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | + | + | | + |
| 33 und 35 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| 33 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | |
| 33 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 33 und 38 | + | | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 34 und 35 | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 34 und 36 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 34 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | | + | + | + | + | + |
| 34 und 38 | + | + | + | + | + | | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 35 und 36 | + | | + | + | | + | | + | | | + | | | | + | | | + | + | | |
| 35 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 35 und 38 | + | + | + | + | | + | | + | | | | | | + | | + | + | + | + | + | + |
| 36 und 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 36 und 38 | + | + | + | + | | + | + | + | | | | | | + | | + | + | + | + | + | + |
| 37 und 38 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + |

keine signifikanten Unterschiede (a=0,001)

Anhang B.21: Fehlklassifikationsmatrix der CART-Analyse (Nordsee)

| **Fehlklassifikationsmatrix Nordsee** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lebensgemeinschaft | | | | | | | |
| | | cNS | NN | MB | HD | GS | TF | BT | AF |
| Vorhergesagt | centr. North Sea (cNS) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Nucula Nitidosa (NN) | 0 | 20 | 2 | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | Macoma Balthica (MB) | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Helgoland Depth (HD) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Goniadella Spisula (GS) | 0 | 0 | 1 | 0 | 21 | 3 | 0 | 0 |
| | Tellina Fabula (TF) | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 35 | 1 | 0 |
| | Bathyporeia Tellina (BT) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15 | 0 |
| | Amphiura Filiformis (AF) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 52 |
| Gesamt | | 6 | 24 | 8 | 4 | 27 | 40 | 20 | 53 |
| **Fehlklassifiziert (n)** | | **1** | **4** | **3** | **4** | **6** | **5** | **5** | **1** |
| **Fehlklassifiziert (%)** | | **16,67** | **16,67** | **37,50** | **100** | **22,22** | **12,50** | **25,00** | **1,89** |

Anhang B.22: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (Nordsee) Teil 1 von 2

| | | | Korngröße [g/kg] | | Ammonium [µmol/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klassen | | Tiefe [m] | 0bis63µ | 63bis2000µ | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 |
| 28 | n | 699 | 648 | 633 | 679 | 683 | 678 | 606 | 649 | 699 | 699 | 699 | 680 | 678 | 682 | 699 |
| | Minimum | 6,1 | 69,7 | 40,0 | 0,1 | 0,1 | 3,7 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 25,1 | 28,8 | 2,5 | 0,8 | 3,7 | 6,5 |
| | Maximum | 38,2 | 959,7 | 987,0 | 8,7 | 6,5 | 80,4 | 13,4 | 1,9 | 1,3 | 35,2 | 35,3 | 54,9 | 15,9 | 9,0 | 17,8 |
| | Mittelw. | 29,9 | 137,4 | 887,0 | 1,3 | 1,7 | 13,1 | 1,9 | 0,7 | 0,3 | 34,3 | 34,2 | 6,5 | 2,9 | 6,3 | 14,1 |
| | Median | 32,7 | 109,6 | 916,0 | 0,6 | 1,3 | 9,6 | 0,8 | 0,7 | 0,3 | 34,6 | 34,3 | 5,2 | 2,4 | 6,1 | 15,0 |
| | St.abw. | 8,5 | 93,5 | 95,6 | 1,7 | 1,1 | 10,4 | 2,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,7 | 5,5 | 2,2 | 0,8 | 2,6 |
| 33 | n | 778 | 668 | 666 | 738 | 737 | 736 | 726 | 724 | 778 | 778 | 778 | 737 | 722 | 767 | 778 |
| | Minimum | 5,2 | 3,2 | 870,0 | 0,2 | 0,3 | 3,5 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 32,6 | 33,5 | 2,0 | 0,8 | 5,4 | 6,8 |
| | Maximum | 38,2 | 69,4 | 1001,0 | 2,2 | 3,8 | 7,6 | 13,4 | 0,8 | 1,0 | 35,3 | 35,3 | 6,6 | 4,7 | 8,8 | 17,2 |
| | Mittelw. | 29,2 | 20,0 | 982,6 | 0,8 | 1,1 | 5,9 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 34,7 | 34,7 | 3,8 | 2,2 | 6,6 | 12,6 |
| | Median | 30,3 | 15,0 | 988,0 | 0,7 | 1,0 | 5,9 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 34,8 | 34,8 | 3,8 | 1,9 | 6,4 | 12,8 |
| | St.abw. | 6,9 | 15,1 | 15,0 | 0,3 | 0,5 | 0,9 | 1,8 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 1,0 | 0,6 | 2,1 |
| 37 | n | 736 | 643 | 644 | 736 | 736 | 736 | 725 | 0 | 7 | 1 | 0 | 1 | 736 | 736 | 736 |
| | Minimum | 20,3 | 3,8 | 856,0 | 0,2 | 0,4 | 7,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 31,2 | 31,9 | 2,3 | 0,8 | 3,8 | 8,8 |
| | Maximum | 38,1 | 68,8 | 999,0 | 4,8 | 6,3 | 53,2 | 6,3 | 1,2 | 1,0 | 35,3 | 35,3 | 22,5 | 6,8 | 8,9 | 16,6 |
| | Mittelw. | 27,7 | 24,1 | 973,8 | 1,0 | 1,5 | 14,8 | 1,5 | 0,6 | 0,2 | 33,9 | 33,8 | 6,6 | 2,5 | 6,1 | 15,0 |
| | Median | 27,3 | 18,6 | 980,0 | 0,7 | 1,2 | 11,9 | 1,2 | 0,6 | 0,2 | 34,0 | 33,9 | 5,9 | 2,6 | 6,0 | 15,3 |
| | St.abw. | 4,4 | 16,8 | 23,0 | 0,8 | 0,8 | 7,9 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 2,6 | 1,1 | 0,9 | 1,5 |
| 40 | n | 440 | 307 | 298 | 440 | 403 | 437 | 356 | 411 | 440 | 440 | 439 | 434 | 386 | 414 | 440 |
| | Minimum | 5,5 | 2,9 | 774,0 | 0,2 | 0,2 | 7,6 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 26,7 | 29,1 | 2,3 | 0,8 | 4,0 | 8,9 |
| | Maximum | 20,3 | 67,9 | 1011,0 | 10,2 | 6,8 | 159,0 | 6,9 | 1,8 | 1,0 | 35,2 | 35,3 | 67,9 | 7,1 | 9,7 | 19,5 |
| | Mittelw. | 14,1 | 18,3 | 977,2 | 1,6 | 1,2 | 29,7 | 1,1 | 0,9 | 0,3 | 32,8 | 33,3 | 12,6 | 2,6 | 5,7 | 16,4 |
| | Median | 15,4 | 14,7 | 990,0 | 1,0 | 0,8 | 28,8 | 0,3 | 0,9 | 0,2 | 32,8 | 33,4 | 11,1 | 2,4 | 5,8 | 16,6 |
| | St.abw. | 4,8 | 14,4 | 34,4 | 1,4 | 1,2 | 17,5 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 1,1 | 7,9 | 1,0 | 1,1 | 2,0 |
| 41 | n | 496 | 446 | 436 | 496 | 492 | 496 | 494 | 496 | 496 | 496 | 496 | 496 | 464 | 496 | 496 |
| | Minimum | 20,3 | 3,2 | 888,0 | 0,0 | 0,3 | 7,6 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 31,7 | 32,1 | 1,4 | 1,0 | 4,6 | 16,6 |
| | Maximum | 38,2 | 67,7 | 997,0 | 2,9 | 2,6 | 47,4 | 6,8 | 1,3 | 0,3 | 35,3 | 35,1 | 21,1 | 4,3 | 9,0 | 19,6 |
| | Mittelw. | 28,6 | 16,6 | 987,9 | 0,8 | 0,9 | 16,6 | 1,7 | 0,7 | 0,2 | 34,4 | 34,5 | 6,2 | 2,1 | 6,6 | 17,9 |
| | Median | 28,9 | 11,6 | 992,0 | 0,7 | 0,8 | 13,9 | 1,0 | 0,7 | 0,2 | 34,6 | 34,6 | 5,5 | 2,0 | 6,4 | 17,7 |
| | St.abw. | 4,5 | 14,5 | 11,0 | 0,5 | 0,3 | 8,4 | 1,8 | 0,2 | 0,0 | 0,7 | 0,5 | 3,0 | 0,4 | 1,0 | 0,8 |
| 42 | n | 116 | 60 | 58 | 116 | 104 | 116 | 101 | 109 | 116 | 116 | 116 | 116 | 101 | 113 | 116 |
| | Minimum | 20,3 | 4,0 | 811,0 | 0,2 | 0,6 | 9,5 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 32,0 | 31,6 | 3,8 | 1,8 | 4,7 | 16,6 |
| | Maximum | 38,2 | 67,2 | 999,0 | 4,7 | 4,9 | 43,7 | 6,0 | 1,5 | 0,7 | 35,3 | 34,7 | 21,7 | 4,1 | 10,3 | 19,2 |
| | Mittelw. | 29,1 | 10,5 | 980,6 | 1,0 | 1,3 | 17,6 | 4,0 | 0,8 | 0,4 | 34,5 | 34,1 | 7,0 | 2,3 | 7,7 | 17,4 |
| | Median | 28,5 | 5,5 | 995,0 | 0,5 | 0,8 | 17,7 | 5,5 | 0,8 | 0,4 | 34,7 | 34,4 | 6,6 | 2,2 | 7,2 | 17,5 |
| | St.abw. | 5,5 | 9,5 | 33,3 | 1,0 | 0,9 | 5,9 | 2,4 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 3,0 | 0,4 | 1,8 | 0,4 |

Anhang B.22: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Lebensraumklassen (Nordsee) Teil 2 von 2

| | | | Korngröße [g/kg] | | Ammonium [µmol/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klassen | | Tiefe [m] | 0bis63µ | 63bis2000µ | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 |
| 43 | n | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 45 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 43 | 46 |
| | Minimum | 5,9 | 6,7 | 787,0 | 2,1 | 0,3 | 34,8 | 0,1 | 0,9 | 0,3 | 28,0 | 30,0 | 20,3 | 1,7 | 3,1 | 15,8 |
| | Maximum | 20,1 | 35,7 | 999,0 | 7,3 | 6,8 | 72,7 | 3,5 | 1,4 | 1,0 | 31,2 | 32,2 | 42,4 | 7,7 | 4,0 | 17,7 |
| | Mittelw. | 12,7 | 15,9 | 955,9 | 4,9 | 2,0 | 52,2 | 1,2 | 1,1 | 0,6 | 29,8 | 31,1 | 30,0 | 3,6 | 3,6 | 16,8 |
| | Median | 13,8 | 13,0 | 963,0 | 4,5 | 1,1 | 52,1 | 0,4 | 1,1 | 0,6 | 29,9 | 31,1 | 28,8 | 2,9 | 3,6 | 16,8 |
| | St.abw. | 3,7 | 7,5 | 38,9 | 1,4 | 1,9 | 9,5 | 1,2 | 0,1 | 0,2 | 0,9 | 0,5 | 5,7 | 1,8 | 0,3 | 0,5 |
| 44 | n | 31 | 29 | 29 | 31 | 31 | 31 | 27 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 29 | 31 |
| | Minimum | 5,1 | 4,0 | 882,0 | 0,7 | 0,6 | 8,7 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 31,3 | 31,3 | 2,5 | 2,0 | 3,6 | 15,7 |
| | Maximum | 19,1 | 33,2 | 995,0 | 5,5 | 6,8 | 44,5 | 5,8 | 1,6 | 1,0 | 35,1 | 34,4 | 23,1 | 7,5 | 4,0 | 17,5 |
| | Mittelw. | 12,9 | 15,5 | 962,4 | 2,5 | 3,8 | 24,7 | 1,5 | 0,7 | 0,6 | 32,4 | 32,9 | 12,0 | 4,1 | 3,9 | 16,3 |
| | Median | 14,8 | 14,0 | 971,0 | 1,6 | 3,3 | 27,2 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 32,3 | 33,2 | 9,0 | 3,1 | 3,9 | 16,2 |
| | St.abw. | 5,3 | 7,2 | 29,9 | 1,7 | 1,8 | 12,4 | 1,5 | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 1,1 | 7,7 | 1,7 | 0,1 | 0,4 |
| 45 | n | 9225 | 4005 | 4399 | 8213 | 8154 | 8218 | 8889 | 7379 | 9225 | 9225 | 9225 | 8212 | 8654 | 9067 | 9225 |
| | Minimum | 56,8 | 2,4 | 14,0 | 0,1 | 0,1 | 3,4 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 34,0 | 33,7 | 2,2 | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| | Maximum | 1152,8 | 986,1 | 998,0 | 1,4 | 5,1 | 21,2 | 13,7 | 1,5 | 1,3 | 35,4 | 35,4 | 22,1 | 16,7 | 10,1 | 17,7 |
| | Mittelw. | 158,5 | 187,9 | 861,6 | 0,8 | 2,0 | 8,4 | 7,3 | 0,7 | 0,7 | 35,1 | 35,1 | 4,1 | 4,7 | 7,4 | 8,1 |
| | Median | 109,9 | 98,1 | 934,0 | 0,8 | 1,8 | 8,5 | 7,4 | 0,7 | 0,7 | 35,1 | 35,2 | 3,7 | 4,3 | 7,5 | 7,6 |
| | St.abw. | 147,7 | 240,3 | 217,9 | 0,2 | 1,1 | 1,7 | 3,7 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1,5 | 1,9 | 1,2 | 1,8 |
| 48 | n | 318 | 253 | 253 | 300 | 309 | 293 | 310 | 285 | 318 | 318 | 318 | 293 | 304 | 311 | 318 |
| | Minimum | 38,2 | 6,6 | 40,0 | 0,1 | 0,1 | 3,4 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 34,2 | 34,9 | 2,4 | 1,0 | 5,8 | 6,8 |
| | Maximum | 56,6 | 959,7 | 997,0 | 2,4 | 4,0 | 13,8 | 13,4 | 1,4 | 1,1 | 35,4 | 35,3 | 22,1 | 12,9 | 9,1 | 19,2 |
| | Mittelw. | 47,4 | 46,2 | 957,2 | 0,8 | 2,0 | 6,6 | 2,6 | 0,6 | 0,4 | 35,0 | 35,0 | 3,7 | 3,3 | 7,2 | 10,5 |
| | Median | 48,0 | 21,2 | 966,0 | 0,7 | 2,2 | 6,2 | 1,8 | 0,6 | 0,4 | 34,9 | 34,9 | 3,5 | 3,2 | 7,1 | 9,3 |
| | St.abw. | 5,7 | 93,2 | 85,7 | 0,3 | 0,9 | 1,9 | 2,7 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 2,1 | 1,6 | 0,8 | 3,6 |
| 49 | n | 1606 | 1522 | 1514 | 1595 | 1598 | 1584 | 1566 | 1491 | 1606 | 1606 | 1606 | 1586 | 1594 | 1605 | 1606 |
| | Minimum | 38,2 | 3,1 | 723,0 | 0,1 | 0,1 | 3,5 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 33,9 | 33,3 | 2,6 | 0,8 | 5,5 | 6,5 |
| | Maximum | 56,6 | 377,4 | 997,0 | 5,1 | 4,1 | 26,7 | 12,5 | 1,4 | 1,2 | 35,1 | 34,9 | 21,7 | 15,3 | 9,3 | 15,1 |
| | Mittelw. | 45,9 | 99,3 | 928,0 | 0,6 | 1,7 | 6,6 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 34,7 | 34,6 | 4,4 | 3,2 | 7,0 | 11,6 |
| | Median | 45,2 | 86,7 | 938,0 | 0,5 | 1,7 | 6,0 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 34,7 | 34,6 | 4,3 | 3,3 | 7,0 | 11,7 |
| | St.abw. | 4,8 | 73,0 | 48,5 | 0,4 | 0,7 | 2,2 | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 1,2 | 1,4 | 0,7 | 2,0 |
| 50 | n | 386 | 338 | 317 | 386 | 372 | 386 | 369 | 385 | 386 | 386 | 386 | 386 | 362 | 386 | 386 |
| | Minimum | 38,2 | 5,5 | 557,0 | 0,0 | 0,6 | 5,5 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 32,8 | 31,9 | 2,3 | 0,9 | 5,0 | 15,1 |
| | Maximum | 55,0 | 656,4 | 995,0 | 5,8 | 4,5 | 44,1 | 7,4 | 1,1 | 0,7 | 35,3 | 34,9 | 14,5 | 6,6 | 10,3 | 19,1 |
| | Mittelw. | 43,1 | 91,9 | 905,4 | 1,1 | 1,5 | 11,6 | 3,2 | 0,7 | 0,3 | 34,8 | 34,4 | 5,1 | 2,9 | 7,6 | 16,9 |
| | Median | 42,4 | 89,8 | 908,0 | 0,4 | 1,4 | 10,6 | 4,2 | 0,6 | 0,3 | 34,8 | 34,5 | 5,0 | 2,2 | 7,6 | 16,9 |
| | St.abw. | 3,8 | 81,4 | 72,4 | 1,3 | 0,7 | 4,7 | 2,4 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 1,3 | 1,6 | 1,3 | 1,2 |
| Nordsee | n | 14877 | 8965 | 9293 | 13776 | 13665 | 13757 | 14214 | 12729 | 14877 | 14877 | 14876 | 13753 | 14078 | 14649 | 14877 |
| | Minimum | 5,1 | 2,4 | 14,0 | 0,0 | 0,1 | 3,4 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 25,1 | 28,8 | 1,4 | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| | Maximum | 1152,8 | 986,1 | 1011,0 | 10,2 | 6,8 | 159,0 | 13,7 | 1,9 | 1,3 | 35,4 | 35,4 | 67,9 | 16,7 | 10,3 | 19,6 |
| | Mittelw. | 111,3 | 120,4 | 905,9 | 0,8 | 1,8 | 9,9 | 5,0 | 0,7 | 0,5 | 34,8 | 34,8 | 4,9 | 4,0 | 7,1 | 10,3 |
| | Median | 75,1 | 67,1 | 952,0 | 0,8 | 1,5 | 8,4 | 4,1 | 0,6 | 0,5 | 35,0 | 34,9 | 3,9 | 3,7 | 7,2 | 9,2 |
| | St.abw. | 131,2 | 180,8 | 162,3 | 0,7 | 1,0 | 7,2 | 4,3 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 0,6 | 3,3 | 2,0 | 1,2 | 3,7 |

Anhang B.23: F-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

| | | Korngröße [g/kg] | | Ammonium [µmol/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Tiefe [m] | 0bis63µ | 63bis2000µ | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 |
| 28 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | **6,0** | **1,1** | **2,1** | 0,4 | **2,0** | 0,6 | **2,2** | **1,4** | **2,7** | **1,3** | 0,4 | 0,5 |
| 33 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 37 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **1,4** | 0,6 | **1,2** | 0,0 | **1,0** | 0,2 | 0,9 | **1,1** | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 0,2 |
| 40 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **3,9** | **1,4** | **6,0** | 0,1 | **4,5** | 0,5 | **3,6** | **3,2** | **5,6** | 0,3 | 0,8 | 0,3 |
| 41 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,1 | **1,4** | 0,2 | **1,6** | 0,0 | **1,1** | 0,5 | 0,8 | 0,0 | 0,7 | 0,0 |
| 42 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **2,3** | 0,8 | 0,7 | 0,3 | **2,5** | 0,2 | **1,2** | **1,2** | 0,8 | 0,0 | **2,1** | 0,0 |
| 43 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | **4,0** | **3,4** | **1,7** | 0,1 | 0,9 | 0,7 | **1,6** | 0,6 | **2,9** | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| 44 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **6,2** | **3,2** | **3,0** | 0,1 | **4,0** | **1,4** | **1,4** | **2,7** | **5,3** | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| 45 | **1,3** | **1,8** | **1,8** | 0,1 | **1,1** | 0,1 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,9 | 1,0 | 0,2 |
| 48 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 1,0 |
| 49 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| 50 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | **3,4** | 0,5 | 0,4 | 0,3 | **1,0** | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,7 | **1,1** | 0,1 |

Anhang B.24: T-Werte der Lebensraumklassen (Nordsee)

| | | Korngröße [g/kg] | | Ammonium [µmol/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Tiefe [m] | 0bis63µ | 63bis2000µ | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 |
| 28 | -0,6 | 0,1 | -0,1 | 0,7 | -0,1 | 0,4 | -0,7 | 0,5 | -0,8 | -0,7 | -1,0 | 0,5 | -0,5 | -0,7 | 1,0 |
| 33 | -0,6 | -0,6 | 0,5 | -0,1 | -0,7 | -0,6 | -1,0 | -0,5 | -1,1 | -0,1 | -0,2 | -0,3 | -0,9 | -0,4 | 0,6 |
| 37 | 0,6 | -0,5 | 0,4 | 0,3 | -0,3 | 0,7 | -0,8 | -0,4 | -1,2 | -1,2 | -1,6 | 0,5 | -0,7 | -0,8 | 1,3 |
| 40 | -0,7 | -0,6 | 0,4 | 1,1 | -0,6 | 2,8 | -0,9 | 1,7 | -0,9 | -2,9 | -2,4 | 2,3 | -0,7 | -1,1 | 1,6 |
| 41 | -0,6 | -0,6 | 0,5 | 0,0 | -0,9 | 0,9 | -0,8 | 0,5 | -1,4 | -0,5 | -0,5 | 0,4 | -0,9 | -0,5 | 2,1 |
| 42 | -0,6 | -0,6 | 0,5 | 0,3 | -0,5 | 1,1 | -0,2 | 1,2 | -0,4 | -0,4 | -1,0 | 0,6 | -0,9 | 0,5 | 1,9 |
| 43 | -0,8 | -0,6 | 0,3 | 6,0 | 0,2 | 5,9 | -0,9 | 3,2 | 0,3 | -7,0 | -5,9 | 7,5 | -0,2 | -2,9 | 1,8 |
| 44 | -0,8 | -0,6 | 0,3 | 2,5 | 1,9 | 2,1 | -0,8 | 0,5 | 0,1 | -3,4 | -3,0 | 2,1 | 0,1 | -2,7 | 1,6 |
| 45 | 0,4 | 0,4 | -0,3 | -0,1 | 0,2 | -0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | -0,2 | 0,4 | 0,2 | -0,6 |
| 48 | -0,5 | -0,4 | 0,3 | -0,1 | 0,2 | -0,5 | -0,6 | -0,6 | -0,4 | 0,2 | 0,3 | -0,3 | -0,3 | 0,1 | 0,0 |
| 49 | -0,5 | -0,1 | 0,1 | -0,3 | -0,1 | -0,5 | -1,0 | -0,5 | -0,9 | -0,1 | -0,3 | -0,1 | -0,4 | -0,1 | 0,4 |
| 50 | -0,5 | -0,2 | 0,0 | 0,3 | -0,3 | 0,2 | -0,4 | 0,0 | -1,0 | 0,0 | -0,6 | 0,1 | -0,5 | 0,4 | 1,8 |

Anhang B.25: Test der Lebensraumklassen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Nordsee)

| Klasse | | | Korngröße [g/kg] | | Ammonium [µmol/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Phosphat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Silikat [µmol/l] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tiefe [m] | 0bis63µ | 63bis2000 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 |
| 28 | 33 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 37 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + |
| 28 | 40 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 28 | 41 | + | + | + | 0,97 | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + |
| 28 | 42 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + |
| 28 | 43 | + | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 44 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 45 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 48 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 49 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 28 | 50 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | 0,97 | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 33 | 37 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 40 | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 41 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + |
| 33 | 42 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + |
| 33 | 43 | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 44 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 45 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 48 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 49 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 33 | 50 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 40 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 37 | 41 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 42 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + |
| 37 | 43 | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 44 | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 45 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 48 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 49 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 37 | 50 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 40 | 41 | + | 0,97 | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 40 | 42 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 40 | 43 | 0,97 | 0,97 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 |
| 40 | 44 | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | 0,97 | + | + | 0,97 |
| 40 | 45 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 40 | 48 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 40 | 49 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 40 | 50 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 41 | 42 | 0,97 | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + |
| 41 | 43 | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 41 | 44 | + | 0,97 | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + |
| 41 | 45 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 41 | 48 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 41 | 49 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + |
| 41 | 50 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 42 | 43 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 42 | 44 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | + | 0,97 | + | + | + |
| 42 | 45 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + |
| 42 | 48 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | 0,97 | + |
| 42 | 49 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + |
| 42 | 50 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | 0,97 | 0,97 | + |
| 43 | 44 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 43 | 45 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + |
| 43 | 48 | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 43 | 49 | + | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 43 | 50 | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | 0,97 |
| 44 | 45 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 44 | 48 | + | + | 0,97 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | 0,97 | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 44 | 49 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 44 | 50 | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | 0,97 |
| 45 | 48 | + | + | + | 0,97 | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 45 | 49 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 45 | 50 | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + |
| 48 | 49 | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | 0,97 | + | + |
| 48 | 50 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 49 | 50 | + | 0,97 | + | 0,97 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

keine signifikanten Unterschiede (a=0,001)

Anhang B.26: Deskriptiv-statistische Beschreibung der Seegrundtypen (Ostsee)

| | | | Gel. Sauerstoff [ml/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Klassen** | | **Tiefe [m]** | **12_3** | **5_9** | **12_3** | **5_9** | **12_3** | **5_9** | **12_3** | **5_9** |
| **1** | **n** | 734 | 734 | 734 | 734 | 734 | 734 | 734 | 734 | 734 |
| | **Minimum** | 79,2 | 5,1 | 5,0 | 6,0 | 4,1 | 33,9 | 34,2 | 6,1 | 6,2 |
| | **Maximum** | 354,6 | 6,9 | 5,9 | 13,3 | 11,9 | 35,3 | 35,4 | 9,0 | 11,4 |
| | **Mittelw.** | 159,6 | 6,3 | 5,5 | 8,2 | 7,7 | 34,8 | 35,0 | 7,9 | 7,7 |
| | **Median** | 148,8 | 6,5 | 5,5 | 7,2 | 7,3 | 34,8 | 35,1 | 7,8 | 7,6 |
| | **St.abw.** | 54,1 | 0,5 | 0,2 | 2,1 | 2,4 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,8 |
| **2** | **n** | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 | 2877 |
| | **Minimum** | 0,0 | 5,2 | 2,9 | 6,1 | 3,4 | 27,6 | 32,1 | 5,7 | 5,9 |
| | **Maximum** | 115,9 | 7,1 | 5,7 | 12,9 | 11,9 | 34,9 | 35,0 | 9,4 | 13,3 |
| | **Mittelw.** | 42,7 | 6,7 | 4,5 | 8,8 | 6,0 | 33,3 | 34,1 | 7,6 | 9,3 |
| | **Median** | 42,4 | 6,7 | 4,5 | 9,1 | 5,6 | 33,6 | 34,1 | 7,4 | 9,3 |
| | **St.abw.** | 22,5 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 1,1 | 0,5 | 0,9 | 1,0 |
| **3** | **n** | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 | 4636 |
| | **Minimum** | 0,0 | 6,2 | 0,9 | 6,6 | 2,6 | 20,4 | 21,2 | 4,1 | 6,7 |
| | **Maximum** | 55,0 | 7,6 | 6,0 | 12,8 | 5,5 | 34,6 | 34,1 | 9,1 | 14,2 |
| | **Mittelw.** | 16,7 | 6,8 | 3,5 | 9,6 | 4,1 | 30,1 | 31,5 | 6,3 | 10,8 |
| | **Median** | 16,0 | 6,9 | 3,4 | 9,7 | 4,0 | 30,0 | 31,7 | 6,2 | 10,3 |
| | **St.abw.** | 10,6 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 2,1 | 1,5 | 1,0 | 1,5 |
| **4** | **n** | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 | 4362 |
| | **Minimum** | 0,1 | 7,0 | 2,9 | 3,2 | 0,5 | 7,1 | 6,0 | 2,0 | 9,0 |
| | **Maximum** | 53,7 | 9,4 | 6,6 | 21,8 | 4,1 | 21,5 | 22,4 | 5,1 | 19,8 |
| | **Mittelw.** | 21,9 | 8,5 | 4,5 | 6,5 | 2,0 | 12,7 | 12,0 | 2,9 | 13,8 |
| | **Median** | 19,2 | 8,5 | 4,5 | 6,3 | 1,9 | 12,3 | 11,2 | 2,8 | 13,4 |
| | **St.abw.** | 9,9 | 0,6 | 0,7 | 2,4 | 0,8 | 3,7 | 3,7 | 0,6 | 2,0 |
| **5** | **n** | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 | 3347 |
| | **Minimum** | 0,0 | 6,9 | 0,8 | 4,4 | 1,5 | 10,3 | 10,4 | 2,7 | 7,7 |
| | **Maximum** | 58,2 | 8,5 | 4,5 | 13,8 | 5,3 | 25,8 | 28,9 | 5,2 | 14,3 |
| | **Mittelw.** | 24,6 | 7,5 | 2,8 | 7,6 | 3,4 | 18,2 | 18,9 | 3,8 | 10,7 |
| | **Median** | 23,0 | 7,5 | 2,8 | 7,4 | 3,5 | 19,0 | 19,7 | 3,9 | 10,9 |
| | **St.abw.** | 16,7 | 0,3 | 0,8 | 1,4 | 0,8 | 3,8 | 4,6 | 0,6 | 1,3 |
| **Westliche Ostsee** | **n** | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 | 15956 |
| | **Minimum** | 0,0 | 5,1 | 0,8 | 3,2 | 0,5 | 7,1 | 6,0 | 2,0 | 5,9 |
| | **Maximum** | 354,6 | 9,4 | 6,6 | 21,8 | 11,9 | 35,3 | 35,4 | 9,4 | 19,8 |
| | **Mittelw.** | 31,0 | 7,4 | 3,9 | 8,1 | 3,9 | 23,7 | 24,1 | 5,2 | 11,2 |
| | **Median** | 22,2 | 7,1 | 4,0 | 8,3 | 3,7 | 26,5 | 28,8 | 5,0 | 10,9 |
| | **St.abw.** | 34,9 | 0,9 | 1,0 | 2,0 | 1,9 | 9,1 | 9,7 | 2,0 | 2,3 |

Anhnag B.27: F-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

| Klasse | Tiefe [m] | Gel. Sauerstoff [ml/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 | 12_3 | 5_9 |
| 1 | 2,4 | 0,3 | 0,1 | 1,1 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| 2 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 3 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,4 |
| 4 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,7 |
| 5 | 0,2 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |

Anhang B.28: T-Werte der Seegrundtypen (Ostsee)

| Klasse | Tiefe [m] | Gel. Sauerstoff [ml/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 |
| 1 | 3,7 | -1,2 | 1,6 | 0,0 | 2,0 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | -1,5 |
| 2 | 0,3 | -0,8 | 0,6 | 0,4 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | -0,8 |
| 3 | -0,4 | -0,7 | -0,4 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | -0,2 |
| 4 | -0,3 | 1,3 | 0,6 | -0,8 | -1,0 | -1,2 | -1,3 | -1,1 | 1,1 |
| 5 | -0,2 | 0,2 | -1,1 | -0,2 | -0,2 | -0,6 | -0,5 | -0,7 | -0,2 |

Anhang B.29: Test der Seegrundtypen auf signifikante Unterschiede (α= 0,001) (Ostsee)

| Klassen | | Tiefe [m] | Gel. Sauerstoff [ml/l] | | Nitrat [µmol/l] | | Salinität [PSU] | | Temperatur [°C] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 | 12_3 | 6_9 |
| 1 | 2 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 1 | 3 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 1 | 4 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 1 | 5 | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 2 | 3 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 | 4 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 | 5 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 | 4 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 | 5 | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| 4 | 5 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

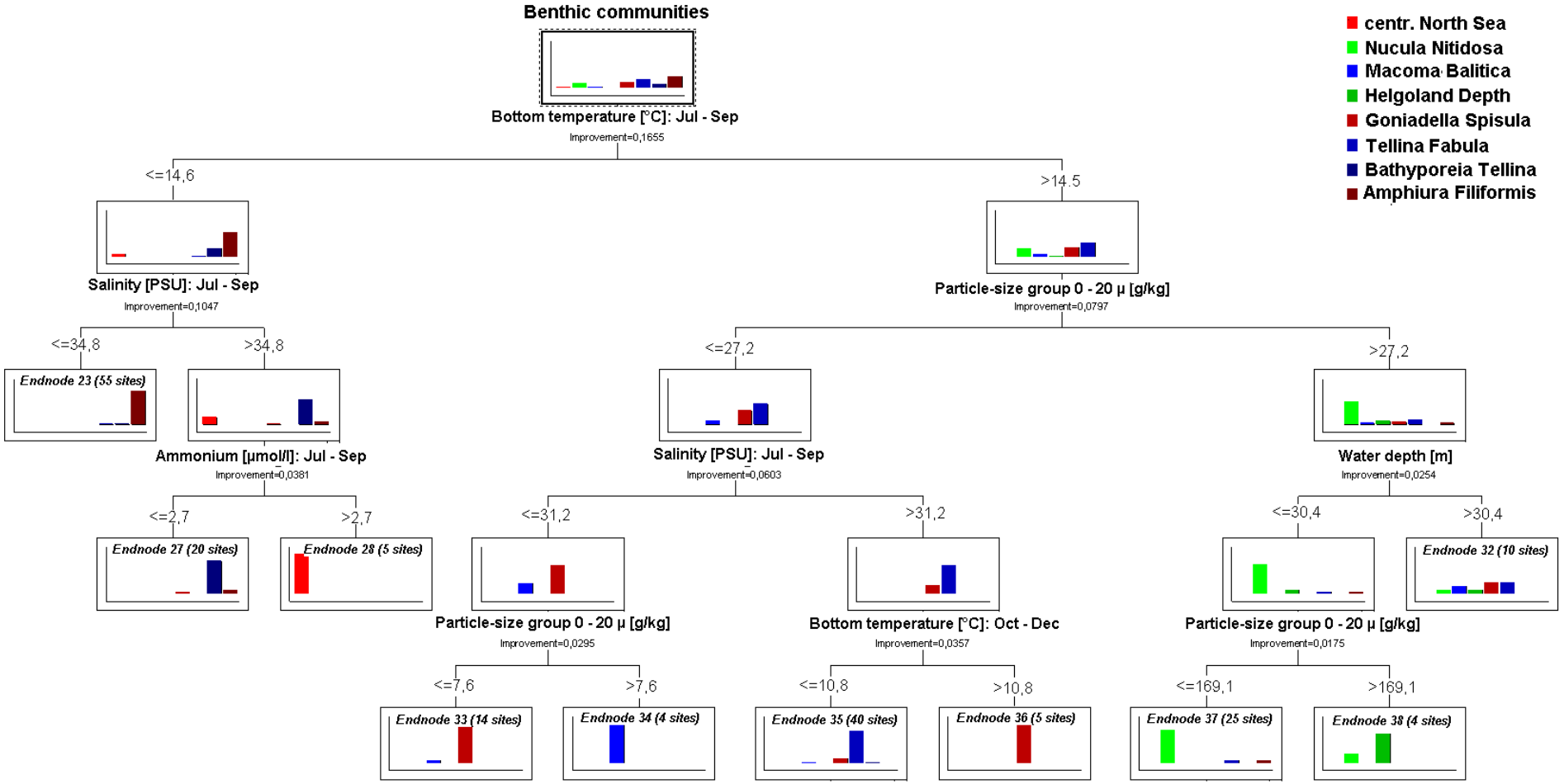
Anhang C: Diagramme

Anhang C.1: CART-Baum AWZ - 10 Endknoten

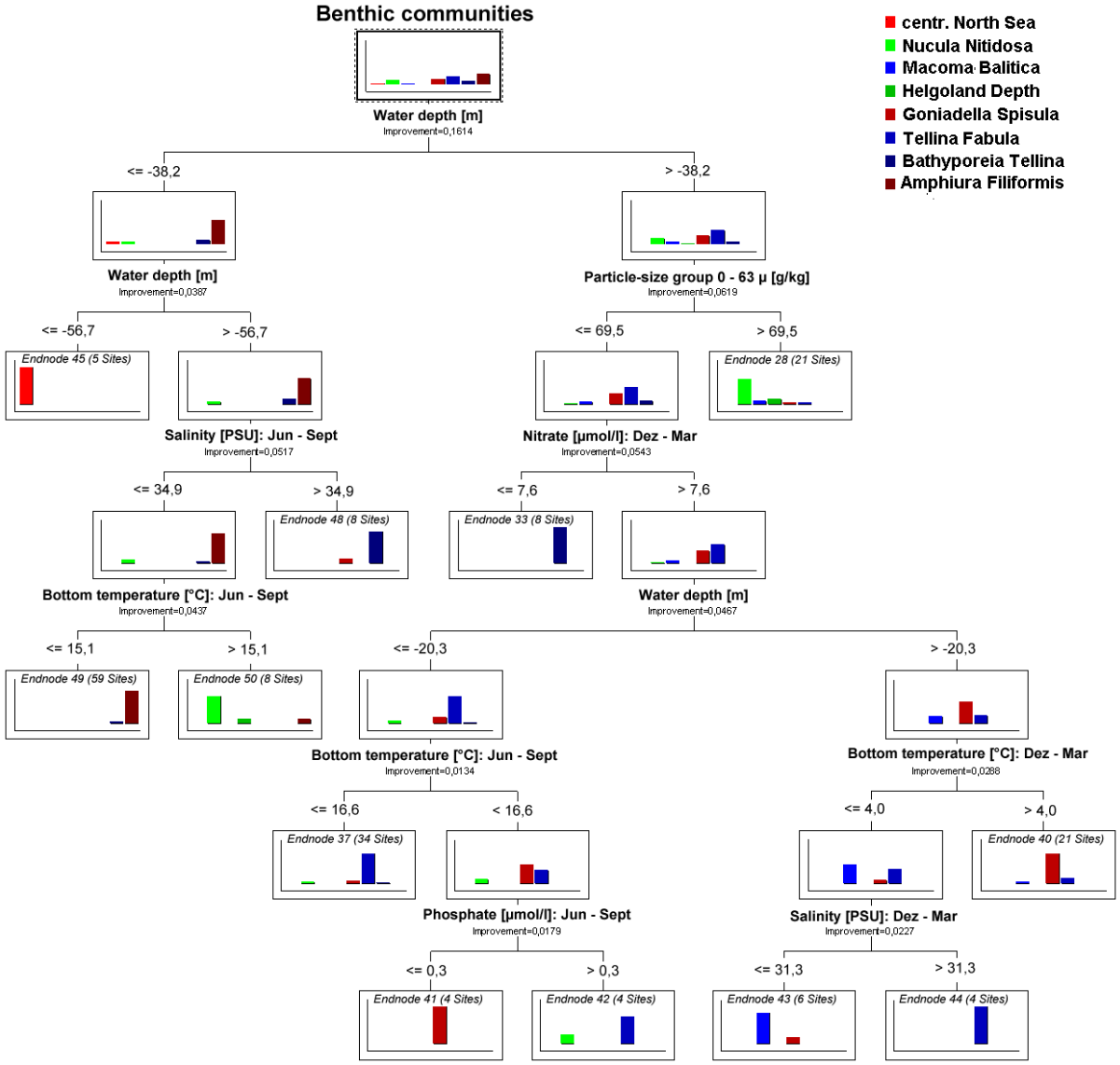
Anhang C.2: CART-Baum Nordsee - 12 Endknoten

Anhang C.3: Screeplot der Cluster-Analyse nach Ward für die Ostsee

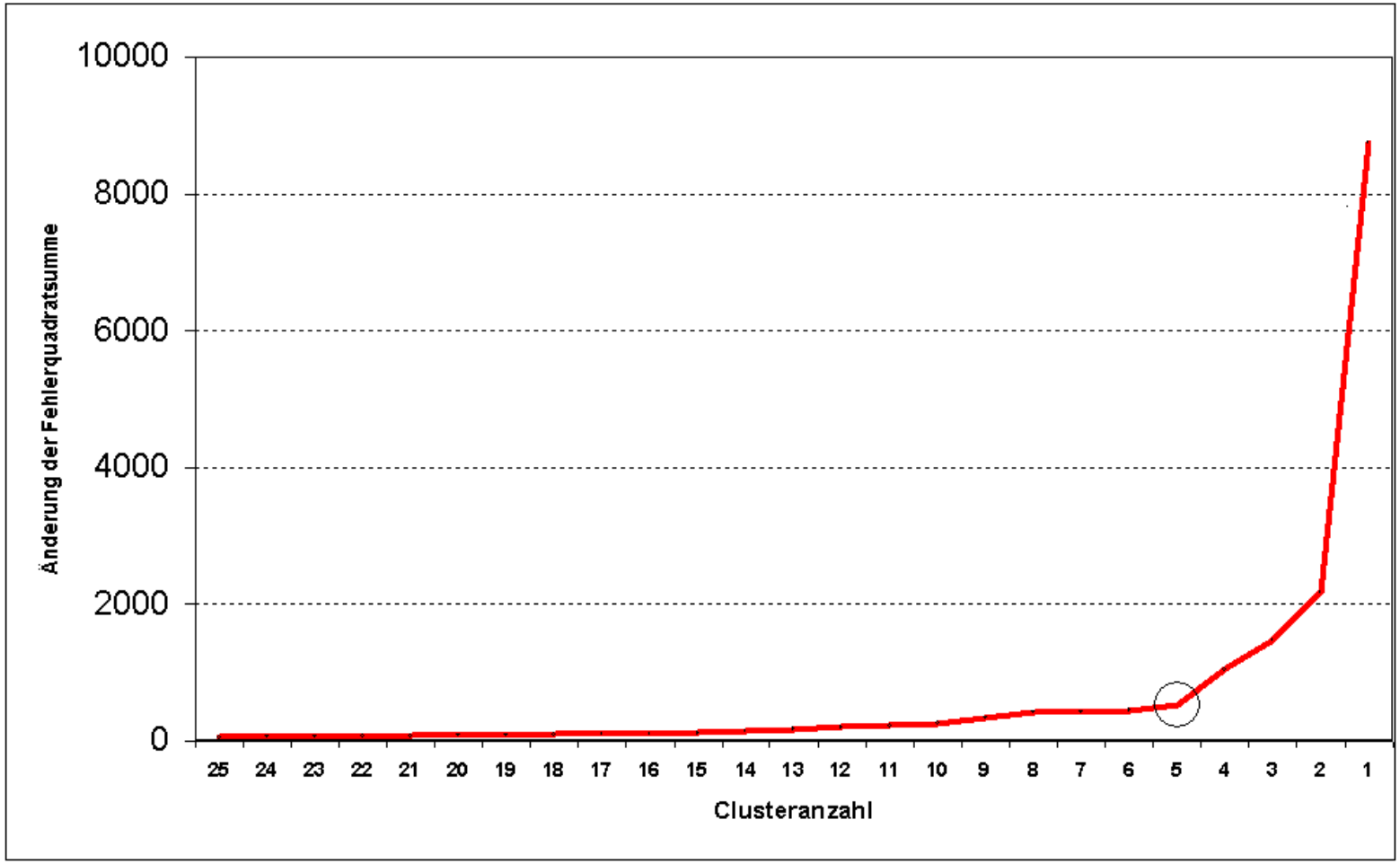
Anhang C.1: CART-Baum AWZ - 10 Endknoten



Anhang C.2: CART-Baum Nordsee - 12 Endknoten



Anhang C.3: Screeplot der Cluster-Analyse nach Ward für die Ostsee



Anhang D: Veröffentlichungen

Anhang D.1: Geplante und eingereichte Veröffentlichungen

Anhang D.2: Combining Geostatistical Methods and GIS to Estimate Temperature Maps of the Seafloor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea (submitted to Computer & Geoscience)

Anhang D.3: Nordsee-Atlas (Teil IUW)

Anhang D.1: Veröffentlichungsliste

- Pesch, R.; Jerosch, K.: Combining Geostatistical Methods and GIS to Estimate Temperature Maps of the Seafloor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea. Computer & Geoscience (submitted 13.04.05);
- Pesch, R.; Schröder, W., Schlüter, M.; Pehlke, H.; Jerosch, K.: Application of multivariate Descision Trees to Map Marine Habitats of Benthic Organisms within the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North and the Baltic Sea (in Bearbeitung, vorgesehen in *Environmental Science and Pollution Research – International*);
- Jerosch, K., Pesch, R.: Application of Indicator Kriging for Analysis of Video Mosaics and Marine Habitat Mapping at Håkon mosby Mud Volcano (in Bearbeitung, vorgesehen in Computer & Geoscience),
- Pesch, R.; Jerosch, K.: Performing Ordinary CoKriging to Calculate Nutrient Maps for the North Sea (in Bearbeitung, vorgesehen in *International Journal of Geographical Information Science*),
- Jerosch, K.; Pehlke, H.; Pesch, R.: Calculation of Sediment Maps for the German Bight by means of GIS, Geostatistical Methods and Measurement Data (in Bearbeitung, vorgesehen in *Journal of Soils and Sediments*);
- Pehlke, H.; Schröder, W., Schlüter, M.; Pesch, R.; Jerosch, K., Flächenhafte Kartierung marine Habitate benthischer Organismen für die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) der Nordsee (in Bearbeitung, vorgesehen in *Zeitschrift für Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung*);
- Jerosch, K.; Schröder, W., Schlüter, M.; Pesch, R.; Bernhardt-Pehlke, H.: Marine Habitat Mapping for the North Sea by means of GIS, Geostatistics and the Multivariat-statistical Method C&RT (in Bearbeitung, vorgesehen in *Environmental Monitoring and Assessment*);

Anhang D.1: Combining Geostatistical Methods and GIS to Estimate Temperature Maps of the Sea-floor in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the North Sea (submitted to Computer & Geoscience)

Anhang D.3: Nordsee-Atlas (Teil IUW)

# MarGIS

## Marines Geo-Informationssystem zur Visualisierung und Typologisierung meeres-geowissenschaftlicher Daten

im Förderschwerpunkt

***Informationssysteme im Erdmanagement: Von Geodaten zu Geodiensten***
(BMBF/DFG-Sonderprogramm Geotechnologien)

**FKZ 03F0370C**

Teilprojekt 3

**Web-basierte marine Geoinformations-dienste für MarGIS**

Prof. Dr. Lutz Vetter

Dipl.-Ing.(FH) Andreas Köberle

**Eingehende Darstellung**

**März 2006**

## Gliederung

1. Abbildungsverzeichnis
2. Tabellenverzeichnis
3. Abbkürzungsverzeichnis
4. Einleitung
5. Aufbau des web-basierten marinen Geoinformationsdienstes
6. Planerische Aspekte mariner Raumplanung
7. Ausblick
8. Literatur und URL

### 1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur eines Web-GIS
Abbildung 2: Client-Server-Prinzip
Abbildung 3: Drei-Schichten-Architektur
Abbildung 4: Verbindung zwischen Webserver und Datenbankserver über CGI
Abbildung 5: Client-Server-Architektur des web-basierten Geoinformationsdienstes MarGIS
Abbildung 6: MarGIS-Viewer
Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Metadaten für die Variable „Bottom Salinity“
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Statistikfunktion des Viewers
Abb. 9. Ausschnitt der Startseite der Homepage
Abb. 10: Nordsee – Sämtliche Nutzungen und Schutzgebiete (BSH 2004)
Abb. 11: Ostsee – Sämtliche Nutzungen und Schutzgebiete (BSH 2004)

## 2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 OGC-Spezifikationen

Tabelle 2: Synoptische Übersicht über die wichtigsten Institutionen (fett) und Rechtsregime des Meeresumweltschutzes, SRU 2004, S. 37)

### 3. Abbkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| **ARCIMS** | Arc Internet Server (der Fa. ESRI) |
| **ArcSDE** | Arc Spatial Data Engine (der Fa. ESRI) |
| **ArcXML** | Arc Extensible Markup Language |
| **AWZ** | Ausschließliche Wirtschaftszone |
| **BfN** | Bundesamt für Natur |
| **BNatSchG** | Bundesnaturschutgesetz |
| **BSH** | Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie |
| **CAT** | Catalog Service |
| **CGI** | Common Gateway Interface |

| | |
|---|---|
| **ESRI** | Environmental Systems Research Institute |
| **FFH** | Fauna Flora Habitat Richtlinie |
| **GIF** | Graphics Interchange Format |
| **GUI** | Graphical User Interface |
| **HTML** | Hypertext Markup Language |
| **HTTP** | Hypertext Transfer Protocol |
| **IIS** | Internet Information Server |
| **IP** | Internet Protokoll |
| **ISO** | International Organization for Standardization |
| **IOW** | Institut für Ostseeforschung Warnemünde |
| **JPG / JPEG** | Joint Photographic Experts Group |
| **GIS** | Geographischen Informationssystem |
| **OGC** | Open Geospatial Consortium |
| **PNG** | Portable Network Graphics |
| **ROG** | Bundesraumordnungsgesetz |
| **SeeAnlVO** | Seeanlagenverordnung |
| **SLD** | Styled Layer Descriptor |
| **SRÜ** | Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen |
| **SQL** | Structured Query Language |
| **UML** | Unified Modeling Language |
| **URL** | Uniform Resource Locator |
| **WCS** | Web Coverage Service |
| **WFS** | Web Feature Service |
| **WMS** | Web Map Service |
| **XML** | Extensible Markup Language |

## 4. Einleitung

Die förderpolitischen Ziele im Schwerpunkt *Informationssysteme im Erdmanagement* sind u.a. die Entwicklung von zeitgemäßer Technologie für die Verbreitung und langfristige Verfügbarkeit von Geoinformationen (hier: marinen Geoinformationen bzw. web-basierte marine Geodienste) sowie die Schaffung von Möglichkeiten der effizienteren Nutzung großer heterogener Datenbestände.

Das Teilprojekt 3 hatte folgende Aufgaben im Projekt MarGIS bearbeitet, um an Teillösungen der eben genannten Ziele mitzuwirken:

- Datenrecherche und Digitalisierung verschiedener Datensätze,
- Auf- und Ausbau eines GIS Mapservers (Programmkerne sind auf der CD-ROM dokumentiert bzw. http://gisweb2.awi-bremerhaven.de),
- Entwicklung und Bereitstellung eines HTML-Clients für ArcIMS im Internet (Programmkerne sind auf der CD-ROM dokumentiert bzw. http://gisweb2.awi-bremerhaven.de),
- Aufbau einer Internetseite für die interessierte Öffentlichkeit (Programmkerne sind auf der CD-ROM dokumentiert) sowie
- Planerische Aspekte der marinen Raumplanung.

Die eben aufgezählten Arbeitsschritte konnten im Teilprojekt 3 realisiert werden.

## 5. Aufbau des web-basierten marinen Geoinformationsdienstes

Das Interesse an rauminduzierten Daten wächst täglich und die Entwicklung diese zu nutzen, hat spätestens seit dem Google mit dem Projekt „google earth“ auf dem Markt ist, einen neuen Höhepunkt erreicht. Auch das Interesse am Meer und meereswissenschaftlichen Daten und Fragestellungen ist inflationär (etwa: Die Titelgeschichte [„Die Volkszählung im Meer“] in: „Der Spiegel 7/2006“ oder Beststeller wie „Der Schwarm“ von Frank Schätzing). Aber auch im wissenschaftlichen Kontext ist das Interesse an marinen Geoinformationen gewachsen, nicht zuletzt im Zusammenhang mit der Flut von Anträgen für Offshore-Anlagen in unseren Küstengewässern oder der Tsunami-Problematik.
Eine zeitgemäße Technologie für die Verbreitung und langfristige Verfügbarkeit von Geoinformationen (hier: marinen Geoinformationen bzw. web-basierte marine Geodienste) sowie die Schaffung von Möglichkeiten der effizienteren Nutzung großer heterogener Datenbestände wird heutzutage mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) bzw. web-basierten Geographischen Informationssystemen realisiert. Diese Technologie ist auch die Basis für die Entwicklung eines web-basierten marinen Geoinformationsdienstes in diesem Projekt, mit dem über das Internet dynamisch kommuniziert werden kann.

Bevor der eigentliche web-basierte marine Geoinformationsdienst beschrieben wird, wird zuvor das Client-Server-Prinzip sowie Aufbau und die Funktionsweise eines Web-GIS erläutert, welche Grundlagen der MarGIS-Struktur sind.
Aufgrund der Vielzahl unterschiedlichen Anwenderfunktionen werden Geographische Informationssysteme in den verschiedensten Bereichen eingesetzt und Anwendern auf den unterschiedlichsten Weisen zugänglich gemacht. Bei der klassischen Definition eines GIS können die Anwenderfunktionen eines GIS nur auf dem Computer, auf dem das GIS installiert wurde, aufgerufen und ausgeführt werden. GIS, deren Anwenderfunktionen von einer breiten Anwenderschaft an verschiedenen Orten verwendet werden, verfügen neben den klassischen Bestandteilen eines GIS über Systemkomponenten, die einen Zugang über ein Intranet oder das Internet ermöglichen, wie dies auch in diesem Projekt realisiert wurden ist (vgl. Abb. 1).

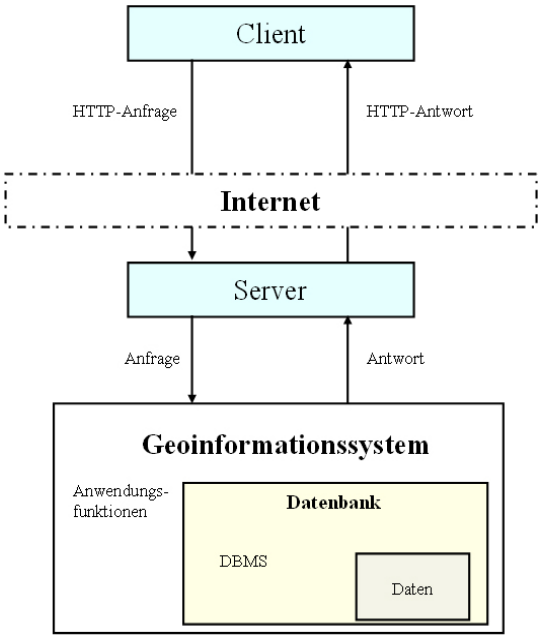



Abbildung 1: Struktur eines Web-GIS

Die Begriffe Client und Server werden sowohl für die benutzten Rechner als auch für die darauf eingesetzte Software verwendet: Auf dem Client-Rechner läuft die Client-Software, welche Dienstleistungen vom Server-Rechner, auf dem die Server-Software läuft, anfordert. Im Client-Server-Prinzip ist der Client somit der initiierende Prozess, der Anfragen stellt und Aufträge an den Server erteilt. Dieser wiederum ist der reagierende Prozess, der die Anfragen und Aufträge des Clients bearbeitet, in dem er beispielsweise große Datenmengen auswertet und die Ergebnisse an den Client sendet. Der Client verarbeitet die Ergebnisse weiter und gibt sie als Graphiken aus. Client und Server kommunizieren dabei bidirektional über eine gemeinsame Sprache. Diese Sprache ist ein vordefiniertes Protokoll mit dessen Hilfe sich Client und Server verständigen und Daten austauschen können. Das geläufigste Protokoll ist das Hypertext Transfer Protokoll (HTTP).
Server werden jedoch nicht von sich aus aktiv, sondern warten, bis sie eine Anfrage bekommen, die sie ausführen können. Der Server hat somit keinen Einfluss auf den Zeitpunkt einer Kommunikationsverbindung und muss daher permanent erreichbar und empfangsbereit sein. In der Regel verfügt der Server über eine Standleitung und eine statische IP-Adresse, die dem Client für die Kontaktaufnahme bekannt sein muss.

Dadurch das Client und Server auf unterschiedlichen Rechnern, verschiedener Hardware und verschiedenen Betriebssystemen räumlich voneinander getrennt laufen und auf einen Server mehrere Clients zugreifen können, wird die Arbeitslast in einem Netzwerk aufgeteilt, was die Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten wesentlich erhöht.

In der Abbildung 2 ist die Funktionsweise des Client-Server-Prinzips vereinfacht dargestellt.

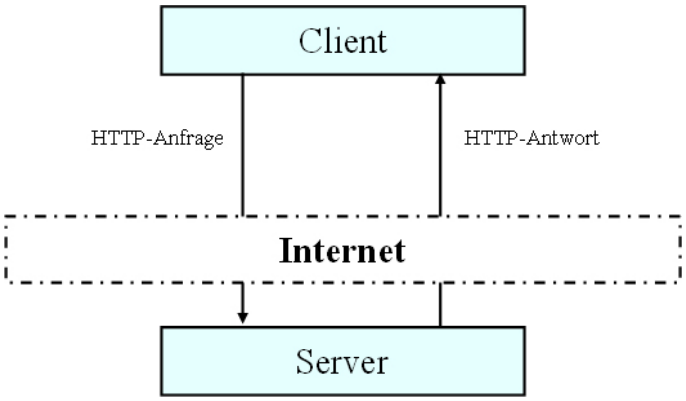



Abbildung 2: Client-Server-Prinzip

Da die marinen Geodienste im MarGIS-Projekt internetfähig sein sollen, müssen diese als ein Web-GIS entworfen werden.

Web-GIS sind Geographische Informationssysteme, dessen Funktion auf der Grundlage der Netzwerktechnologie basiert. Die Systemarchitektur eines Web-GIS wird als „Drei-Schichten-Architektur“ (engl. three-tier-architecture) bezeichnet. Die „Drei-Schichten-Architektur“ ist eine Erweiterung der „Client-Server-Architektur“. Das Client-Server-Prinzip wird in der „Drei-Schichten-Architektur“ „insofern konsequent beachtet, dass jede Schicht als Client für die darunter liegende Server-Schicht angesehen wird“ (BARTELME 2000, S.373).

Bei einem Web-GIS besteht die oberste Client-Schicht aus einem oder mehreren Webbrowsern, über die die Anwender Zugriff auf das System erhalten. Die zweite Schicht stellt der Webserver dar. Er ist auf der einen Seite der Server für die Webbrowser, die über das Internet auf ihn zugreifen und auf der anderen Seite ist er selbst ein Client, der Anfragen an andere Server wie z.B. Datenbank- und Applikationsserver stellt. In Abbildung 3 werden die einzelnen Schichten des Web-GIS dargestellt.

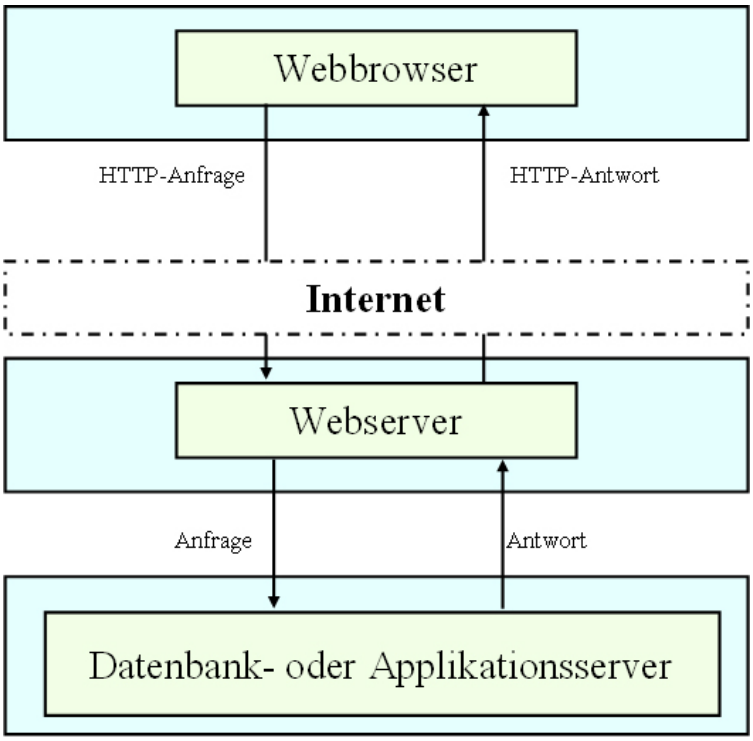



Abbildung 3: Drei-Schichten-Architektur

Die Client-Server-Kommunikation zwischen Webbrowser und Webserver erfolgt über das HTTP-Kommunikationsprotokoll. Durch die Angabe eines URL (Uniform Resource Locator) stellt der Webbrowser GIS-Anfragen an den Webserver. Da dieser nur bestimmte Teile der Anfrage beantworten kann, leitet er die Anfrage des Webbrowser an den darunterliegenden Datenbank- oder Applikationsserver weiter. Bei der Client-Server-Kommunikation zwischen Webserver und Datenbank- oder Applikationsserver stellt der Webserver jedoch nicht direkt Anfragen an den Datenbank- oder den Applikationsserver. In diesem Fall nimmt eine für das Ausführen von Diensten geeignete Server-Software über ein Common Gateway Interface (CGI) oder ein Application Programming Interface (API) mit dem Datenbank- oder Applikationserver Kontakt auf. CGI und API sind Programmierschnittstellen über die der Transfer und Austausch von Daten und Informationen möglich ist. Über diese Programmierschnittstellen übermittelt der Datenbank- oder Applikationsserver dem Webserver die angeforderten Daten. Dieser leitet die Daten an den Webbrowser weiter. Der Webbrowser zeigt daraufhin die übertragenen Daten entsprechend ihres Darstellungsformates an.

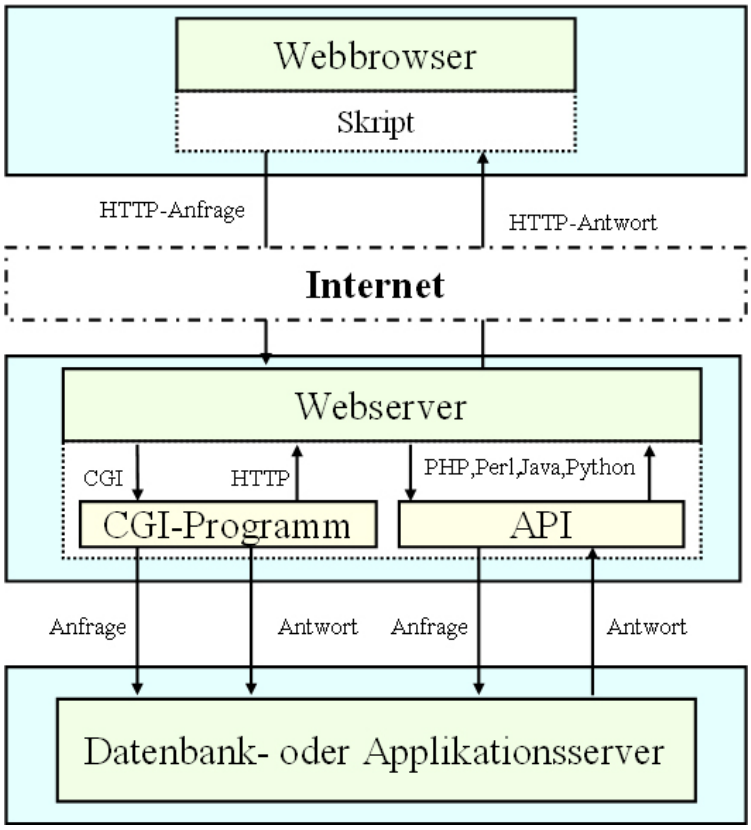


Abbildung 4: Verbindung zwischen Webserver und Datenbankserver über CGI

Die Abbildung 4 zeigt das Prinzip des Einbaus von CGI in die HTML-Kommunikation zwischen Webbrowser, Webserver und Datenbank- oder Kartenserver über das Internet. Ebenso ist in der Abbildung 4 die funktionale Erweiterung des Webbrowser dargestellt. Bei Web-GIS wird für die Programmierung der GUI nicht nur allein die Programmiersprache HTML verwendet. Zur Erhöhung der funktionellen Fähigkeiten einer HTML-Seite werden auch andere Programmiersprachen, so genannte Skriptsprachen, verwendet. Um diese Seiten anzeigen zu können, verfügen die meisten Webbrowser über interne Erweiterungen wie Java Applets, ActiveX Controls oder Skripte. Zusätzlich kann die Funktionalität eines Webbrowsers erweitert werden durch das Herunterladen von kleinen ausführbaren Programmen aus dem Internet, den so genannten Plugins.

Nach den allgemeineren Beschreibungen wird nun die genutzten Softwarekomponenten im MarGIS thematisiert.
In Abbildung 5 ist das Zusammenwirken der unterschiedlichen Softwarekomponenten des web-basierten marinen Geoinformationsdienstes dargestellt.
ArcIMS der Firma ESRI wird als Mapserver-Software genutzt, welche auf einem Apache Server mit Tomcat als Servlet Engine läuft. Für Umsetzung sind vor allem die in der Tabelle 1 beschriebenen Spezifikationen von Interesse.

| Spezifikation | Beschreibung |
|---|---|
| Catalog Service (CAT) | ein Katalogdienst für den strukturierten Zugriff auf alle Dienste |
| Web Map Service (WMS) | erzeugt webfähige Karten aus Vektor- und Rasterdaten, zu denen Sachdatenabfragen getätigt werden können |
| Web Feature Service (WFS) | ermöglicht einen internetgestützten Zugriff auf Vektordaten und geographische Funktionen (features) in Datenbanken |
| Web Coverage Service (WCS) | ermöglicht einen internetgestützten Zugriff auf Rasterdaten (coverages, wie DGM, Satellitendaten etc.), die Werte und Eigenschaften von geographischen Standorten beschreiben |
| Web Coordinate Transformation Service (WTCS) | ermöglicht eine internetbasierte Transformation von geographischen Koordinaten in andere räumliche Referenzsysteme |
| Styled Layer Descriptor (SLD) | ist eine Sprache für die Spezifikationen des Web Map Service, Web Feature Service und Web Coverage Service um nutzereigene Symbolisierungen zum Kennzeichnen der Daten zu ermöglichen. |

Tabelle 1: OGC-Spezifikationen

Die verschiedenen Geodaten (shapes, coverages, grids, raster images) und die Metadaten der Geodaten liegen in einer MS SQL Datenbank mit ArcSDE als Gateway. Der Nutzer greift mit seinem Webbrowser als Client via ArcIMS und ArcSDE auf diese Daten zu.
Der ArcIMS Servlet Connector übernimmt die Kommunikation zwischen dem Webserver und Application Server. Der Application Server organisiert die Verarbeitung der einzelnen Anfragen und leitet sie an den Spatial Server weiter. Auf dem Application Server laufen verschiedene Dienste die Anfragen verarbeiten und die Antworten für den Client erstellen. Je nach Art der Anfragen sind das Image-, Feature-, Metadata-, Query-, Geocode- oder Extract Services. Bei MarGIS kommen Image-, Query- und Metadata Dienste zum Einsatz. Der Image Service liefert Rasterbilder in den Formaten JPG, GIF oder PNG zurück. Immer wenn der Nutzer im Client zoomt oder die Karte verschiebt, wird eine Anfrage an den Image Service mit den Koordinaten des neuen Kartenausschnitts geschickt und dieser gibt dann ein Rasterbild mit dem jeweiligen Kartenausschnitt aus. Wenn der Nutzer im Client Abfragen auf der Karte oder allgemeine SQL Abfragen startet, werden diese vom Query Service abgearbeitet. Die Metadaten zu den einzelnen Geodaten werden auf Anfrage vom Metadaten Service bereitgestellt.

Zur Kommunikation zwischen Client und Application Server wird ArcXML benutzt. ArcXML ist eine Ausprägung von XML, mit der eine strukturierte Kommunikation zwischen dem Client und ArcIMS ermöglicht wird. Im Client werden diese XMLs als

Anfragen und Antworten des Servers mit Hilfe von JAVA-Skripten erzeugt bzw. ausgewertet.

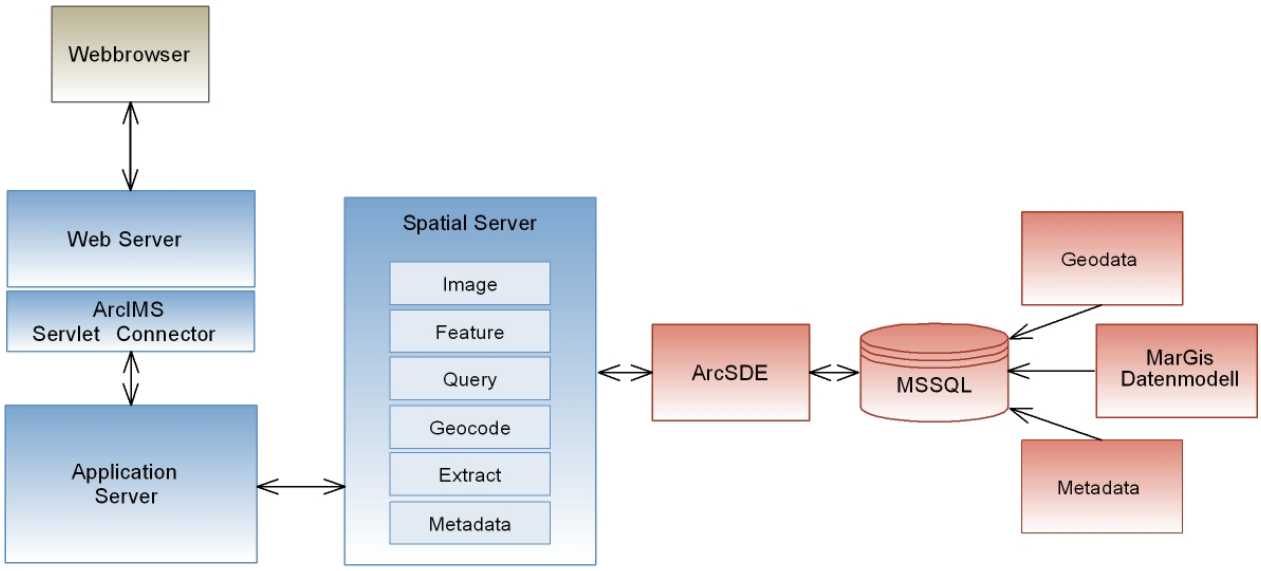



Abb. 5: Client-Server-Architektur des web-basierten Geoinformationsdienstes MarGIS

Das Problem bei der Präsentation von großen Datenmengen, wie etwa im Projekt MarGIS, ist die übersichtliche Darstellung der Information, die dem Nutzer die Möglichkeit gibt, innerhalb kurzer Zeit zu erkennen, welche Informationen vorliegen und wie er sich diese zugänglich machen kann. Das Ziel bei der Entwicklung des web-gestützten Viewers (vgl. Abb. 6) für die im Projekt gesammelten und erarbeiteten Datensätze war eine Applikation, die dem Nutzer diese Möglichkeiten bietet.

Als Lösungsweg hier wurde die Kaskadierung der Information gewählt. Der Einstiegspunkt ist die Legende, in der verschiedene Layer thematisch in Gruppen aufgeteilt (z.B. Geologie, Temperatur, Fischdaten) ist. In der Legende werden immer nur die Datensätze zu einer dieser Gruppen angezeigt. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, wird die Legende nur angezeigt, wenn der Datensatz auch in der Karte aktiviert wird.

In der Karte selber gibt es verschieden Möglichkeiten, die Daten aus den Layer abzufragen. Man kann entweder Daten zu einem bestimmten Objekt bzw. einem Pixel oder eines Grids abfragen oder man lässt sich die Daten eines bestimmten Gebiets ausgeben. Des Weiteren kann man die Datensätze per SQL durchsuchen und sich die Ergebnisse in der Karte anzeigen lassen. Zu jedem gefunden Datensatz werden bestimmte ausgewählte Teilaspekte der Daten angezeigt. Aus dieser Auflistung heraus kann zu jedem Datensatz die vollständige, auf dem Datenbankserver liegende Informationsstruktur abgefragt werden. Somit hat der Nutzer also die Möglichkeit sich von einer groben Übersicht über die vorhanden Themen zu den Layern bis hinunter zu den einzelnen Datensätzen durchzumanövrieren und so schnell die Informationen zu finden, nach denen er sucht.

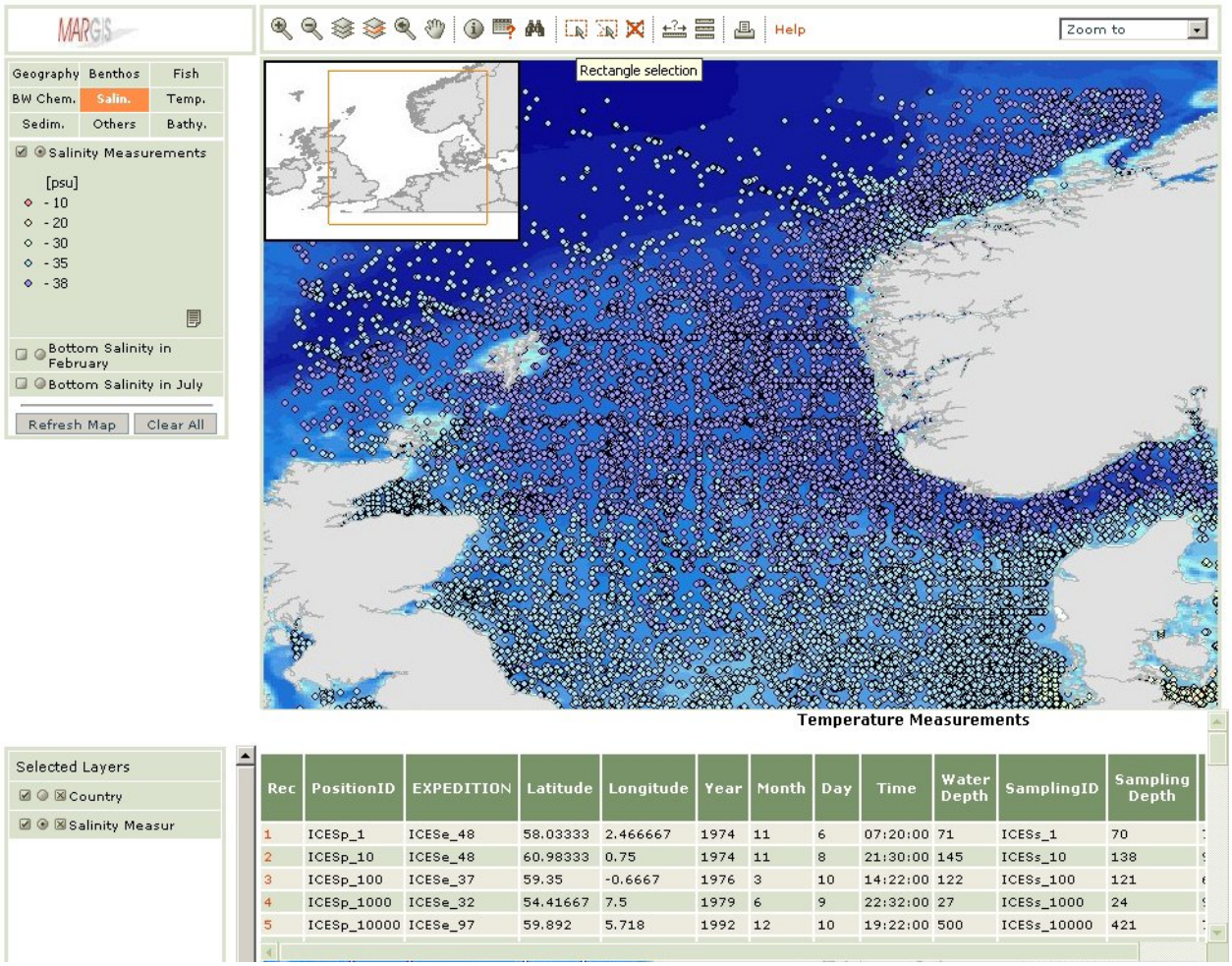



Abb. 6: MarGIS-Viewer

Zur Beschreibung der einzelnen Datensätze wird für jeden ein Metadatendokument nach ISO 19115 angelegt. Die ISO legt fest wie die Metadaten strukturiert, welche Daten enthalten sein müssen (core metadata) und welche optional sind (comprehensive metadata elements). Die core metadata beschreiben den Inhalt der Daten, die räumlichen Informationen, den Zeitpunkt, an dem die Daten erstellt wurden, und wer die Daten verwaltet. Optional können u.a. folgende Angabe hinzugefügt werden: Schlagwörter, Wartungsinformationen, Beschränkungen der Datenverwendung, vertikale Informationen, den Zeitraum bzw. Zeitpunkt, an dem die Daten erhoben wurden, Angaben zum Datenformat bei digitalen Daten, Medium, auf dem die Daten transferriert werden, URL der Daten und Angaben zur Entstehung des Datensatzes (vgl. Abb.7).

Die Metadaten liegen physisch als XML Dokument in einer MS SQL Datenbank. Der Nutzer des Clients kann via ArcIMS die einzelnen Metadaten aus der Datenbank abrufen. Intern nutzt der ArcIMS dazu den Metadata Service.
Das Metadatendokument ist also, wie die Kartendaten selbst, auf einem Datenbankserver abgelegt und wird erst bei der jeweiligen Anfrage des Nutzers als HTML-Datei ausgegeben, wodurch die Wartung und Aktualisierung der Metadaten

erleichtert werden. Der Link zu den Metadaten sowie ein Downloadbutton für ausgewählte Layer wird auch nur bei Sichtbarkeit des jeweiligen Layers angezeigt.

**Bottom Salinity in February (North Sea)**

**Data format:** Raster Dataset

**Coordinate system:** GCS_WGS_1984

**Theme keywords:** Salinity

**Location:** file://\\GSYSPP12\C$\DOKUME~1\KJEROS~1.GSY\LOKALE~1\Temp\Q7F8FE8.sdr

**Abstract:** The grid shows the salinity distribution of the North Sea sea floor using average values of the month February during 10 years. Bottom salinity data were interpolated from raw data of ICES (ICES database 1980-1989) to a 10 x 10 km grid. Bottom was defined as any observation in the bottom 10 m layer.

ISO and ESRI Metadata:

- Metadata Information
- Resource Identification Information
- Spatial Representation Information
- Reference System Information
- Data Quality Information
- Distribution Information
- Binary Enclosures

Metadata elements shown with blue text are defined in the International Organization for Standardization's (ISO) document 19115 *Geographic Information - Metadata*. Elements shown with green text are defined by ESRI and will be documented as extentions to the ISO 19115. Elements shown with a green asterisk (*) will be automatically updated by ArcCatalog.

Metadata Information

**Metadata language:** English
***Metadata character set:** utf16 - 16 bit UCS Transfer Format

***Last update:** 20050215

**Metadata contact:**
**Individual's name:** Dipl.Geogr. Kerstin Jerosch
**Organization's name:** Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven
**Contact's position:** Scientist
**Contact's role:** principal investigator

Abb. 7: Exemplarische Darstellung der Metadaten für die Variable „Bottom Salinity“

Zu bestimmten Layern mit numerischen Daten kann eine statistische Analyse über die Abfrage aufgerufen werden. Diese enthält eine Box and Whisker Plot Funktion, Histogramm und die gängigsten statistischen Kenngrößen wie, Minimum, Maximum, Durchschnitt, Quantile etc. (vgl. Abb. 8).

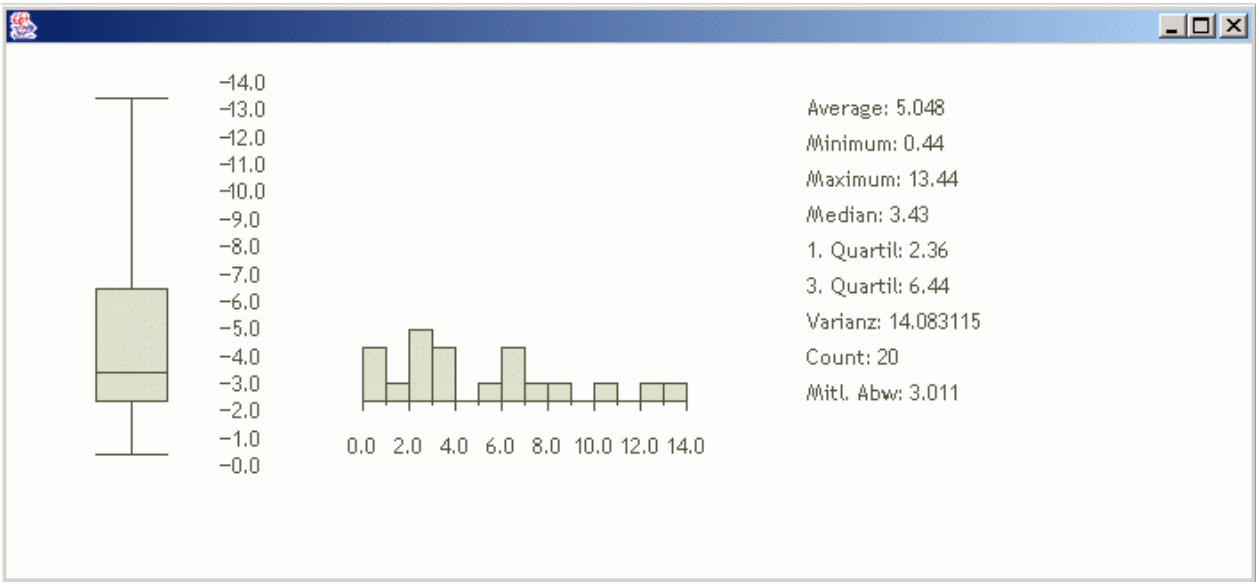



Abb. 8: Exemplarische Darstellung der Statistikfunktion des Viewers

Des weiteren wurde eine Homepage erstellt, die vor allem der interessierten Öffentlichkeit das Projekt MarGIS näher bringen soll. Neben einer ausführlichen Anleitung zum Client werden grundsätzliche Funktionsweisen von GIS beschrieben sowie die einzelnen Arbeitschritte bei der Berechnung von Daten für das Projekt vorgestellt (vgl. Abb. 9).

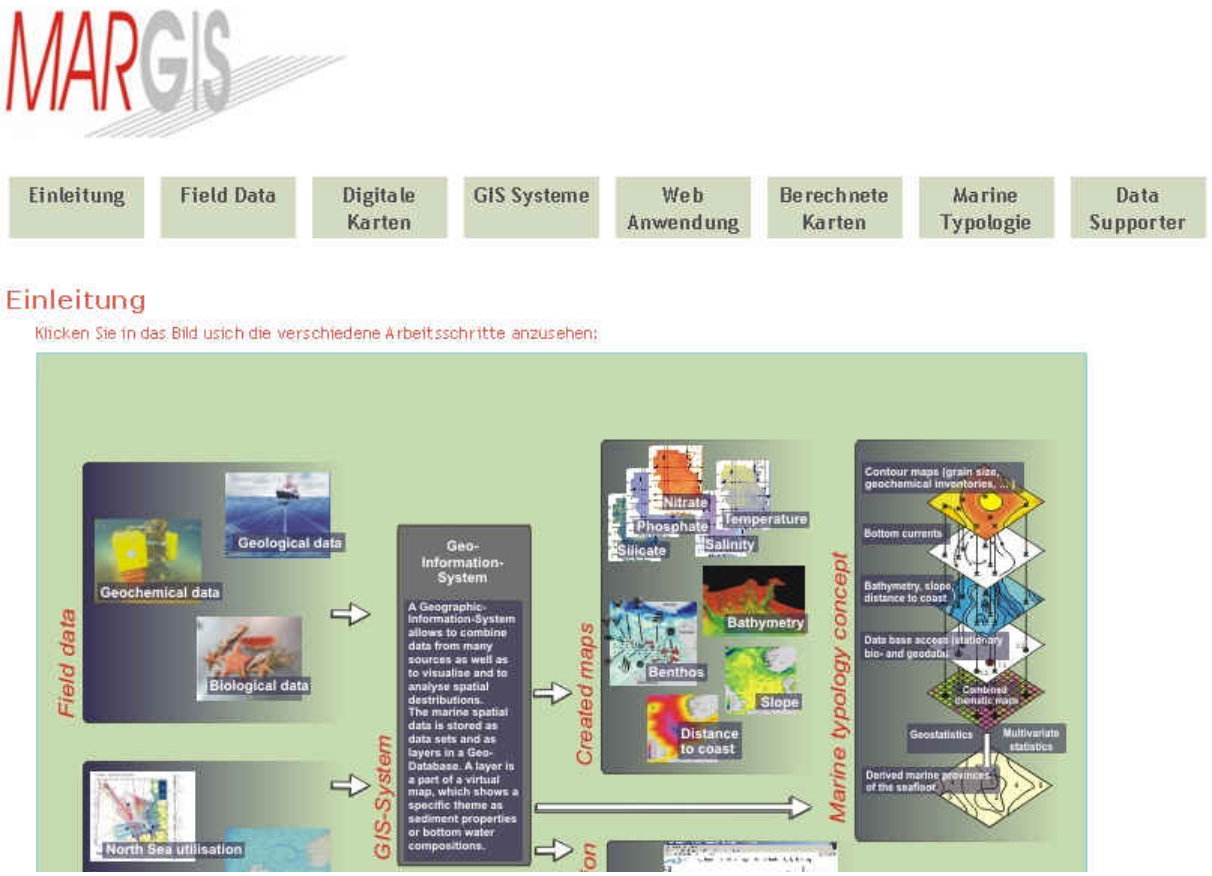


Abb. 9. Ausschnitt der Startseite der Homepage

## 6. Planerische Aspekte mariner Raumplanung

„Nord- und Ostsee sind keineswegs baulich unberührte Naturflächen, sondern seit langem und in immer noch rasch zunehmendem Maße von lokalen raumwirksamen Eingriffen insbesondere durch Küstenbau, marinen Meeresbergbau, Baggergutverklappung, Pipelines, Kabeltrassen und nunmehr auch durch Windenergieanlagen geprägt. In Ermangelung gesamtplanerischer Lenkungsinstrumente sind diese Eingriffe in nahezu willkürlicher räumlicher Verteilung und vielfach ohne Rücksicht auf besondere Schutzwürdigkeiten mit zum Teil gravierenden sichtbaren Auswirkungen auf die Meeresumwelt erfolgt. Maßnahmen des Küstenschutzes haben in vielen Küstenregionen die Morphologie, Strömungs- und Tidenverhältnisse und damit auch die natürlichen Habitate vieler Meerestiere und Seevögel stark verändert. Die Problematik findet gegenwärtig einen Kristallisationspunkt bei den Ausbauplänen der Bundesregierung für die Nutzung der Offshore-Windenergie“ (SRU 2004, S.36 Zf.8). Die Abbildungen 10 und 11 belegen eindrucksvoll, die vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) im Sondergutachten 2004, beschriebenen raumwirksamen Eingriffe in Nord- und Ostsee.

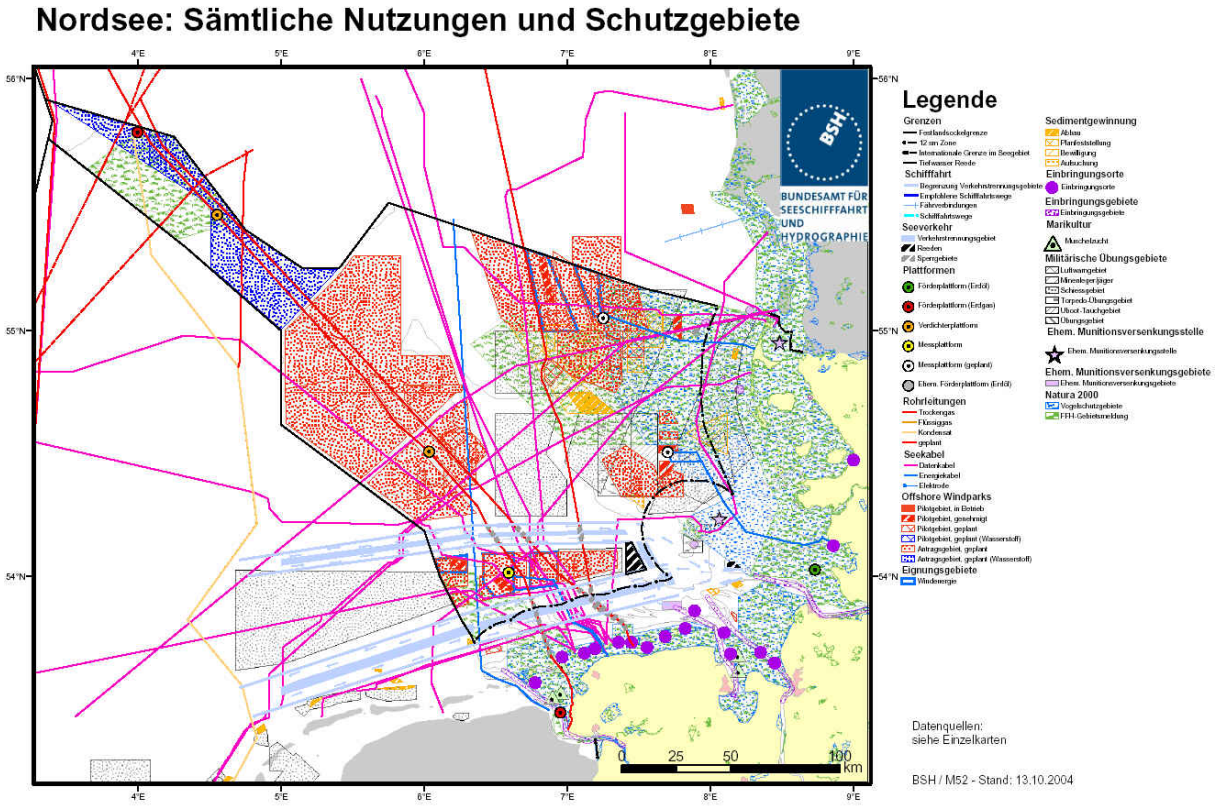



Abb. 10: Nordsee – Sämtliche Nutzungen und Schutzgebiete (BSH 2004)

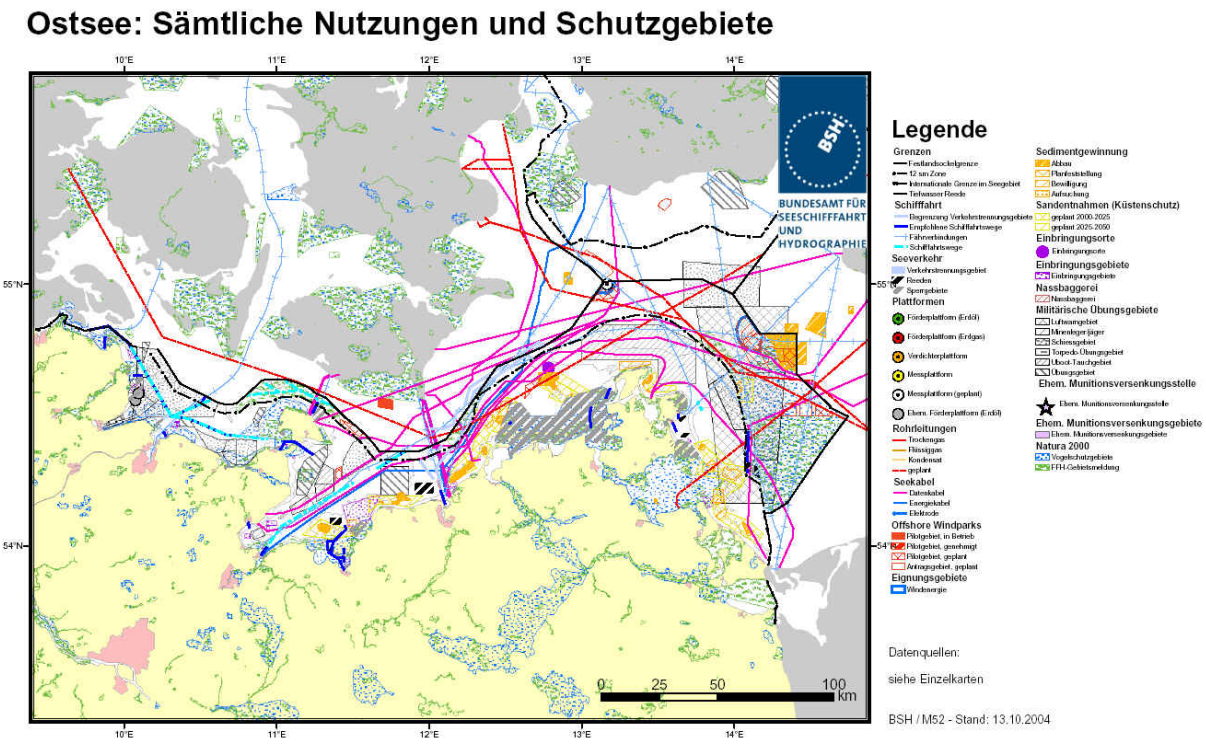



Abb. 11: Ostsee – Sämtliche Nutzungen und Schutzgebiete (BSH 2004)

Die Meeres- und Küstenzonen unterliegen in immer stärkerem Maße einer intensiven Nutzung anthropogenen Handelns, gleichzeitig konstituieren sie ökologisch wertvolle und sensible sowie hoch komplexe mehrdimensionale Kompartimente. Interessenkonflikte zwischen Nutzung, Entwicklung und Schutz sind somit vorprogrammiert. Zur Vermeidung von Konflikten in diesem Bereich, sowohl land- als auch seeseitig, ist eine koordinierte Vorgehensweise unumgänglich.
Der Nutzungsdruck auf das Meer ist erheblich angestiegen. Es ist deshalb erforderlich, die Nutzungskonflikte im Meer u.a. mit Hilfe der marinen Raumplanung zu lösen. Ausgehend von den bereits existierenden und noch zunehmenden vielfältigen Nutzungsansprüchen im Meer aus den Bereichen Tourismus, Schifffahrt, Fischerei, Forschung und Militär, die zu Konflikten untereinander bzw. mit den Zielen des Umwelt- und Naturschutzes führen können, ist es Aufgabe der marinen Planung, für eine nachhaltige Raumentwicklung zu sorgen, die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt und sie zu einer dauerhaften, großräumig ausgewogenen Ordnung führt (vgl. § 1 Abs. 2 Bundesraumordnungsgesetz [ROG]).

Grundlage muss dabei sein, dass die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln und die Standortvoraussetzungen für die ökonomische Entwicklung zu schaffen sind. Hierfür schafft die Raumordnung den planerischen Rahmen mit den wichtigen Grundsätzen, wie:

- Natur und Landschaft einschließlich Meeresgebiete sind dauerhaft zu schützen, zu pflegen, zu entwickeln und, soweit erforderlich, möglich und angemessen, wiederherzustellen (§ 2 Abs. 2 Nr. 8 ROG),

- für die vorsorgende Sicherung sowie die geordnete Aufsuchung und Gewinnung von standortgebundenen Rohstoffen sind die räumlichen Voraussetzungen zu schaffen (§ 2 Abs. 2 Nr. 9 ROG).

An dieser Stelle sei an die Antragsflut von Offshore-Windenergieanlagen erinnert, die für denkbare Nutzungskonflikte steht, sodass durch einen ordnenden rechtskräftigen Rahmen, wie etwa die Ausweitung der Raumordnung auf die AWZ und das Küstenmeer, Planungs- und Investitionssicherheit für den Staat sowie den Investor bietet.
Ziele der Raumordnung sind verbindliche Vorgaben in Form von räumlich und sachlich bestimmten oder bestimmbaren, vom Träger der Landes- oder Regionalplanung abschließend abgewogenen textlichen oder zeichnerischen Festlegungen in Raumordnungsplänen zur Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Raums (§3 Nr. 2 ROG).
Grundsätze der Raumordnung sind Aussagen zur Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Raums als Vorgaben für nachfolgende Abwägungs- oder Ermessensentscheidungen (§3 Nr. 3 ROG).
Für die Aufstellung eines marinen Raumordnungsplanes der Ziele und Grundsätze beinhaltet, müssen auch die Vorgaben des Seerechtsübereinkommens (SRÜ) der Vereinten Nationen berücksichtigt werden, wie wirtschaftliche und wissenschaftliche Nutzung, die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Seeschifffahrt sowie der Schutz der Meeresumwelt.
Die verbindlichen Vorgaben (Ziele) sowie die allgemeinen Aussagen (Grundsätze) im Raumordnungsplan beziehen sich auf:
Vorranggebiete: Gebiete, die für bestimmte, raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen vorgesehen sind und andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet ausschließen, soweit diese mit den vorrangigen Funktionen, Nutzungen oder Zielen der Raumordnung nicht vereinbar sind. Vorranggebiete haben den Rechtscharakter von Zielen der Raumordnung (§7 Abs.4 Nr. 1 ROG).
Vorbehaltsgebiete: Gebiete, in denen bestimmten, raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen besonderes Gewicht beigemessen werden soll. Vorbehaltsgebiete haben den Rechtscharakter von Grundsätzen der Raumordnung (§7 Abs.4 Nr. 2 ROG).
Eignungsgebiete: Gebiete, die für bestimmte, raumbedeutsame Maßnahmen geeignet sind und an anderer Stelle im Planungsraum ausgeschlossen werden. Eignungsgebiete haben nach innen den Rechtscharakter von Grundsätzen der Raumordnung und nach außen den Rechtscharakter von Zielen der Raumordnung (§7 Abs.4 Nr. 3 ROG).
Mit der Festlegung von Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebiete wird aber noch keine Zulassung der potenziellen Nutzungen erteilt. Erst im Genehmigungsverfahren auf der Basis des jeweiligen Fachrechts (etwa: Seeanlagenverordnung, Bundesbergbaugesetz) und unter Berücksichtigung weiterer Prüfungen, etwa eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), ergeht eine Entscheidung. Eine Umweltprüfung bei der Erstellung eines Raumordnungsplanes basiert auf §7 Abs. 5 ROG nach der Richtlinie 2001/42/EG. Gegenstand ist hier die Umweltauswirkung von Plänen und Programmen (Strategische Umweltprüfung [SUP]).
Ziel dieser SUP-Richtlinie ist es, im Hinblick auf die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung ein hohes Umweltschutzniveau sicherzustellen und dazu beizutragen, dass Umwelterwägungen bei der Ausarbeitung von Plänen und Programmen einbezogen und entsprechend dieser Richtlinie einer Umweltprüfung unterzogen werden.

Aufgabe der Strategischen Umweltprüfung ist es, bereits lange vor der Entscheidung über konkrete Einzelprojekte, Strategien und Planungen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit zu durchleuchten („Screening“). Dies gilt vor allem bei Plänen und Programmen in den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei, Energie, Industrie, Verkehr, Abfallwirtschaft, Wasserwirtschaft, Telekommunikation, Fremdenverkehr, Raumordnung oder Bodennutzung. Die Festlegung von Verfahren für eine Strategische Umweltprüfung bereits auf der Ebene von Plänen und Programmen soll auch Unternehmen zugute kommen, damit ein konsistenterer Handlungsrahmen durch Einbeziehung der relevanten Umweltinformationen bei der unternehmerischen Entscheidungsfindung geboten wird.
Die SUP-Richtlinie sieht die Erstellung eines Umweltberichtes vor, in welchem die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen sowie Alternativen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Als zentrales Element der Strategischen Umweltprüfung sieht der Gesetzentwurf eine frühzeitige Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie die Konkretisierung der für den Umweltbereich benötigten Angaben („Scoping“) vor. Darüber hinaus werden Regelungen über die SUP-Pflicht von Plänen und Programmen eingeführt. Für bestimmte Pläne und Programme, die in einer Anlage zu dem Gesetzentwurf abschließend aufgeführt sind, besteht eine obligatorische SUP-Pflicht beispielsweise bei der Verkehrswege-, Bauleit- und Landschaftsplanung. Zwingend SUP-pflichtig werden ferner Pläne und Programme, die einer Verträglichkeitsprüfung nach § 35 des Bundesnaturschutzgesetzes unterliegen. Bei anderen Plänen und Programmen soll die Notwendigkeit einer Strategischen Umweltprüfung vom Ergebnis einer Vorprüfung des Einzelfalles abhängig gemacht werden. Nach Abschluss einer ggf. grenzüberschreitenden Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgt schließlich eine Überprüfung der Darstellungen und Bewertung des Umweltberichts und Berücksichtigung der Ergebnisse im weiteren Planaufstellungs- oder -änderungsverfahren („Monitoring“).
Das Arbeitsprogramm für den Umweltbericht gibt die Anlage 1 der SUP-Richtlinie vor:

- eine Kurzdarstellung des Inhalts und der wichtigsten Ziele des Plans oder Programms sowie der Beziehung zu anderen relevanten Plänen und Programmen;
- die relevanten Aspekte des derzeitigen Umweltzustands und dessen voraussichtliche Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans oder Programms;
- die Umweltmerkmale der Gebiete, die voraussichtlich erheblich beeinflusst werden;
- sämtliche derzeitigen für den Plan oder das Programm relevanten Umweltprobleme unter besonderer Berücksichtigung der Probleme, die sich auf Gebiete mit einer speziellen Umweltrelevanz beziehen, wie etwa die gemäß den Richtlinien 79/409/EWG und 92/43/EWG ausgewiesenen Gebiete;
- die auf internationaler oder gemeinschaftlicher Ebene oder auf der Ebene der Mitgliedstaaten festgelegten Ziele des Umweltschutzes, die für den Plan oder das Programm von Bedeutung sind, und die Art, wie diese Ziele und alle Umwelterwägungen bei der Ausarbeitung des Plans oder Programms berücksichtigt wurden;
- die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen, einschließlich der Auswirkungen auf Aspekte wie die biologische Vielfalt, die Bevölkerung, die Gesundheit des Menschen, Fauna, Flora, Boden, Wasser, Luft, klimatisch

Faktoren, Sachwerte, das kulturelle Erbe einschließlich der architektonisch wertvollen Bauten und der archäologischen Schätze, die Landschaft und die Wechselbeziehung zwischen den genannten Faktoren.

Gerade das Vorhandensein bzw. das Nutzen von flächenhaften marinen Daten hinsichtlich Fauna, Flora etc. ist für den Planungs- und Abwägungsprozess immens wichtig. Das vorhandene Datenmaterial diesbezüglich ist eher spärlich und in seiner Qualität auch nicht ansatzweise mit den terrestrischen Daten zu vergleichen. Denn es existieren nur wenige ökologische Daten, welche zudem nicht der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen, da diese meistens für Studien im Offshore-Windenergieanlagenbau Kontext erhoben worden sind. Diese Situation könnte dazu führen, dass sich ein Datenmonopol mariner Informationen bei den Investoren unter geschickter Umgehung des Umweltinformationsgesetzes bilden kann (v. NICOLAI, 2004). Daraus ergibt sich für die zuständigen Planungsbehörde das grundsätzliche Problem des Fehlens von geeigneten Daten. An dieser Stelle leistet MarGIS einen Beitrag etwa durch Generierung wichtiger Informationen aus bestehenden, wie die Habitatkartierung (vgl. Teilvorhaben 2), mittels geostatistischer und multivariat-statistischer Verfahren sowie die Bereitstellung anderer biotischer und abiotischer Informationen als GIS-verknüpfte Daten bzw. Metadaten. Denn ökologische Daten bilden die Basis jeglicher Raumplanung und somit auch der marinen Raumplanung. Hinsichtlich der Planungssicherheit ist zu sagen, dass diese nur so gut und belastbar sein kann wie die Qualität der angewendeten Daten.
Der Aufbau resp. die Weiterentwicklung von MarGIS u.a. für raumplanerische Aspekte wird dahingehend untermauert, wenn v. NICOLAI konstatiert, dass es „zurzeit keinen Zugriff auf vernetzte und aufgearbeitete Informationen über die naturräumliche Ausstattung, ökologischer Daten, Bewertungsmaßstäbe für Eingriffe bezüglich des marinen Ökosystems, kumulative Wirkungen u.a.“ gibt.

*Die Ausschließliche Wirtschaftzone (AWZ)*

Betrachtet man das Meer, so geht man doch eher von einer einheitlichen Geographie des Meeres aus, welche sich aber aus juristischer wie planerischer Sicht nicht so verhält, da hier streng zwischen der 12-Seemeilen-Zone, dem Küstenmeer, der 200-Seemeilen-Zone, dem Gebiet jenseits der 200-Seemeilen-Zone, die Hohe See sowie der Ausschließlichen Wirtschaftzone (AWZ) differenziert wird. Diese Aufteilung spiegelt sich auch in den Planungsinstrumenten und -kompetenzen bzw. in den dafür entsprechenden Gesetzen wieder. Die Komplexität wird durch die föderale Struktur der Bundesrepublik Deutschland, die rechtlichen Maßnahmen der Europäischen Union (etwa: Fauna Flora Habitat Richtlinie [FFH]) sowie Bestimmungen der Vereinten Nationen (etwa: Seerechtsübereinkommen [SRÜ]) verstärkt. Hinzu kommt noch, dass die AWZ nicht zum Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland und damit auch nicht zu einem der angrenzenden Ländern gehört.

Die juristischen Weichenstellungen, welche entscheidend für die raumplanerischen Maßnahmen sind, haben erst gegen Ende des Projektzeitraumes bindenden Charakter erhalten. Denn mit dem Inkrafttreten der Novellierung des Raumordnungsgesetzes (ROG) zum 20. Juli 2004 können in der Ausschließlichen Wirtschaftzone (AWZ) Planung auf der Basis der Raumordnung stattfinden, die vom Bundesamt für Seeschifffahrt und

Hydrographie (BSH) koordiniert und genehmigt wird. Ferner muss das für die AWZ seit April 2002 geltende Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) berücksichtigt werden; denn Paragraph 38 (BNatSchG) sieht die Ausweisungen von Meeresschutzgebieten (FFH- und Vogelschutzgebieten) vor. Hierfür ist das Bundesamt für Natur (BfN) zuständig. „Der Nutzungskonflikt wird noch dadurch verschärft, dass in der AWZ in Ausführung des Seeaufgabengesetzes die Seeanlagenverordnung (SeeAnlVO) gilt…“ (NICOLAI, v., 2004, S. 494). Diese beschäftigt sich u.a. mit dem Genehmigungstatbestand für bauliche Anlagen in der AWZ. In der Tabelle 2 sind weitere Institutionen bzw. Rechtsregime aufgeführt, die verdeutlichen sollen, wie komplex sich der Raumplanungsprozess auf dem Meer darstellt. Hinzu kommen noch die Ländergesetzgebung sowie kommunales Recht. Erwähnt sei auch, dass in Mecklenburg-Vorpommern - als erstes Bundesland - ein Landesraumentwicklungsprogramm am 31. Mai 2005 in Kraft getreten ist, das eine Raumordnung im Küstenmeer durchführt („das Meer als 5. Planungsregion“).

**Synoptische Übersicht über die wichtigsten Institutionen (fett) und Rechtsregime des Meeresumweltschutzes**

| Handlungsfeld / Handlungsebene | Meeresumweltschutz allgemein | Fischerei | Stoffeinträge | Schiffahrt | Meeresnaturschutz |
|---|---|---|---|---|---|
| international global | – Seerechtsübereinkommen (SRÜ, Tz. 10) | – SRÜ (Tz. 240)<br>– Straddling-Stocks-Abkommen vom 4. August 1995 (Tz. 242)<br>– **Food and Agriculture Organization – FAO** (Tz. 243) | – SRÜ<br>– Stockholm-Konvention über Persistente Organische Schadstoffe (Tz. 308)<br>– UN-ECE-Protokoll über Stickoxide | – SRÜ (Tz. 360)<br>– **IMO** (Tz. 11, 360)<br>– MARPOL (Tz. 11, 360) | – SRÜ (Tz. 403)<br>– Ramsar-Konvention (Tz. 406)<br>– Konvention über die Biologische Vielfalt (Rio) (Tz. 494)<br>– Bonner Abkommen zum Schutz wandernder wild lebender Arten (Tz. 406) |
| international regional | Nordsee:<br>– OSPAR-Übereinkommen – **OSPAR-Kommission** (Tz. 13)<br>– **INK** (Tz. 18)<br>– Trilaterale Wattenmeerkonferenz (Tz. 20)<br>Ostsee:<br>– Helsinki-Übereinkommen – **HELCOM** (Tz. 15)<br>– Baltic Agenda 21 | Nordsee:<br>– **North East Atlantic Fisheries Commission – NEAFC**<br>Ostsee:<br>– **International Baltic Sea Fisheries Commission – IBSFC** | Nordsee:<br>– **INK**-Ziele (Tz. 2291, 342)<br>– **OSPAR-Kommission**-Beschlüsse (Tz. 292, 326)<br>Ostsee:<br>– **HELCOM**-Empfehlungen (Tz. 293, 327) | | – **OSPAR-Kommission**-Schutzgebietsprogramm (Tz. 408)<br>– **HELCOM**-Empfehlung zu „Baltic Sea Protected Areas" (Tz. 407)<br>– Klemwalabkommen (Tz. 406)<br>– Afrikanisch-Eurasisches Wasservogelabkommen (Tz. 406)<br>– Abkommen zum Schutz der Seehunde des Wattenmeeres (Tz. 406) |
| EU | – Konzept der EU-Kommission für eine gemeinsame Meeresumweltschutzstrategie (Tz. 22) | – Gemeinsame Fischereipolitik (GFP, Tz. 246 ff.)<br>– GFP-Grundverordnung mit Ausführungsrichtlinien und -verordnungen (Tz. 246 ff.) | – EU-Chemikalienpolitik/-recht (Tz. 299 ff.)<br>– Wasserrahmenrichtlinie (Tz. 296)<br>– Nitratrichtlinie (Tz. 336)<br>– Kommunalabwasserrichtlinie (Tz. 342) | – European Maritime Safety Agency<br>– Richtlinie über Hafenstaatkontrollen (Tz. 364)<br>– VO zum schrittweisen Verbot von Ein-Hüllen-Tankschiffen (Tz. 371) | – FFH-Richtlinie (Tz. 409 ff.)<br>– Vogelschutzrichtlinie (Tz. 409 ff.) |
| national | | | – insb. Chemikalien-, Wasser-, Düngerecht (Tz. 340 f., 345 ff.) | | – Umsetzung FFH- und Vogelschutz-Richtlinie (Tz. 414 f.)<br>– Schutzgebiete der Länder (Tz. 411) |

SRU/SG 2004/Tab. 1-1

Tab. 2: Synoptische Übersicht über die wichtigsten Institutionen (fett) und Rechtsregime des Meeresumweltschutzes, SRU 2004, S. 37)

## 7. Ausblick

Neben dem rechtlichen Problemen, ist auch die Datenlage bzw. Datenbeschaffung für die zu planenden Gebiete schwierig. Bei der Recherche für das MarGIS Projekt zeigte sich, das viele Daten verstreut, nicht flächendeckend oder nicht in digitaler Form vorlagen. Ein Ziel des MarGIS Projekts ist es planerischen Entscheidungsträgern eine Anlaufstelle zu bieten. Zum einen bietet MarGIS eine umfassende Übersicht über die marinen Daten im Bereich der Nord- und Ostsee und deren Bezugsquellen. Zum anderen werden durch die Klassifizierung der Daten mit multivariater Statistik und geostatistischen Techniken flächendeckende Datensätze für den Bereich der Nord- und Ostsee generiert, die für Planer ebenfalls relevant sein können.

## 8. Literatur und URL

ARL (1998): Methoden und Instrumente räumlicher Planung.- Braunschweig

BALLSCHMIDT-BOOG, A. (2000): Rechtliche Vorgaben und Defizite beim Schutz der Küstenökosysteme der Ostsee, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden

BARTELME, N. (2000): Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen.-

BfN (2001): BfN-Karte und Erläuterungen: Ökologisch besonders wertvolle marine Gebiete im deutschen Nordseebereich. 2., überarb. Aufl., Januar 2001. Online im Internet:http://www.bfn.de

BfN (2003a): Lebensraumtypen. Online im Internet: http://www.habitatmarenatura2000.de.

BfN (2003b): Schutzgebietsvorschläge nach der FFHRichtlinie. Online im Internet: http://www.habitatmarenatura2000.de

BfN (2003c): HABITAT MARE NATURA 2000. Aktuelle Karten. Online im Internet: http://www.habitatmarenatura2000.de/.

BOSECKE, C. (2005): Vorsorgender Küstenschutz und Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) an der deutschen Ostseeküste.- Springer, Berlin

BSH (2003e): Continental Shelf Information System. Online im Internet: http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/index.jsp.

BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (2004): Marine Raumordnung, Heft 7/8, Bonn

CZEGKA, BRAUNE, PALM, RITSCHEL, KLUMP, LOCHTER (2003): Beispiele ISO 19115 DIS konformer Metadaten in Katalogservices. Zwei Anwendungen aus dem Bereich umwelt- und geowissenschaftlicher Geofachdaten im Rahmen der

Metadatencommunity der „GIB“, www.unigis.ac.at/club/u2/2003/UP_Beitrag_Czegka_Braune.pdf

DABBERT, S.; HERRMANN, S.; KAULE, G. & M. SOMMER (Hrsg.) (1999): Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung.-

ESRI (2002): Using ArcIMS, Redlands

FISCHER, T. (2002): UMN MapServer – Handbuch und Referenz.-

FÜRST, D. & F. SCHOLLES (Hrsg.) (2001): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung.- Dortmund

GREEN, D., BOSSOMAIER, T. (2002): Online GIS and spatial metadata.- London

GREEN, D. R., KING, S.D. (2003): Access to Marine Data on the Internet for Coastal Zone Management: The New Millenium, in: Green, D. R., King, S.D. (2003): Coastal and Marine Geo-Information Systems, Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, p.555-578

GREEN, D. R., KING, S.D. (2003): Coastal and Marine Geo-Information Systems, Kluwer Academics Publishers, Dordrecht

GREEN, D. R., KING, S.D. (2003): Internet-Based Information Systems: The Forth Estuary Forum (FEF) System, in: Green, D. R., King, S.D. (2003): Coastal and Marine Geo-Information Systems, Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, p. 451-465

HAAREN v., Chr. (Hrsg.) (2004): Landschaftsplanung.-

ISO (2001) : Draft International Standard ISO/DIS 19115 (ISO/TC211) Geographic information - Metadata (Version 2001-02-20). ISO, Genève

JARASS, H. D. (2002): Naturschutz in der Ausschließlichen Wirtschaftszone, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden

KAULE, G. (2002): Umweltplanung.-

KRESSE, W. & K. FADAIE (2004): ISO Standards for Geographic Information, Springer, Berlin Heidelberg

KÜHLING, W. & Chr. HILDMANN (Hrsg.) (2003): Der integrative Umweltplan.- Dortmund

LOESER, H. (2001):Web-Datenbanken.- Springer

MARR, S. (2003): The Precautionary Principle in the Law of the Sea. The Hague: Nijhoff

MINISTERIUM FÜR ARBEIT, BAU UND LANDESENTWICKLUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN (2005): Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern.-

MITCHELL, R. B. (1998): Sources of Transparency: Information Systems in International Regimes. International Studies Quarterly 42 (1), S. 109–130.

NICOLAI, v. H. (2004): Rechtliche Aspekte einer Raumordnung auf dem Meer, in: BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (2004): Marine Raumordnung, Heft 7/8, Bonn, S. 491-498

NOGUERAS-ISO, J., ZARAZAGA-SORIA, F., MURO-MEDRANO, P. (2005): Geographic information metadata for spatial data infrastructures : resources, interoperability and information retrieval, Berlin, Springer

PENG, Z.-R., TSOU, M.-H. (2003): Internet GIS.- Wiley

SWEITZER, J., LANGAAS, S., FOLKE, C. (1996): Land use and population density in the Baltic Sea drainage basin: a GIS database. Ambio Jg. 25, S. 191–198.

SRU (2004): Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden

WOLFRUM, R. (2000): Die Entwicklung des Seerechts zum Recht der marinen Umwelt. In: EHLERS, P., ERBGUTH, W. (Hrsg.): Aktuelle Entwicklungen im Seerecht. Dokumentation der Rostocker Gespräche zum Seerecht
1996–1999. Baden-Baden: Nomos, S. 69–81.

WRIGHT, D., BARTLETT, D. (2000) Marine and Coastal Geographical Information System, Taylor & Francis, London

**URL:**

http://www.apache.de/
http://bundesrecht.juris.de/rog/
http://www. bundestag.de/bic/analysen/index.html
http://www.java.com/de/download/manual.jsp
http://www.opengeospatial.org/http://www.opengeospatial.org/