

**Von der Geoarchäologie über die  
Küstendynamik zum  
Küstenzonenmanagement**



**Herausgeber:  
G. Gönnert, B. Pflüger & J.-A. Bremer**

*The Coastal Union*

*Die Küsten Union Deutschland*

# ***Coastline Reports***

**9 (2007)**

## **Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement**

**Beiträge der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises  
„Geographie der Meere und Küsten“  
26.-28.4.2007 in Hamburg**

**Herausgeber:**

**Gabriele Gönnert, Børge Pflüger & Johann-Ahlert Bremer**

**Hamburg Port Authority  
Landesbetrieb für Straßen, Brücken und Gewässer  
Institut für Geographie, Universität Hamburg  
Hamburg, 2007**

**ISSN 0928-2734**

**ISBN 978-3-9811839-1-7**

Mit freundlicher Unterstützung von:



## Impressum

**Titelbild:** "Der Hafen" kolorierter Stahlstich von Hermann Emden nach einer Zeichnung von Carl A. Lill um 1840 (Quelle: Liebes altes Hamburg. Ein Hamburgensien Buch, Verlag Okis Dr. Karl Josef Sattelmair, Hamburg, 1956.)



Coastline Reports is published by:  
EUCC – The Coastal Union  
P.O. Box 11232,  
2301 EE Leiden, The Netherlands

Responsible national branch of this volume:  
EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.  
Dr. Gerald Schernewski & Pina Springer  
c/o Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde  
Seestr. 15,  
18119 Rostock, Germany

Coastline Reports are available online under <http://www.eucc-d.de/> and <http://www.eucc.net/>. For hardcopies please contact the editors or the EUCC.

## **Vorwort der Herausgeber**

Die 25. Jahrestagung des Arbeitskreises Meere und Küsten fand im Jahre 2007 vom 26.4. bis 28.4. in Hamburg statt. Schon 1988 war Hamburg einmal Tagungsort, allerdings war es für die Ausrichter eine besondere Freude, das Jubiläum der 25. Jahrestagung ebenfalls in Hamburg veranstalten zu dürfen.

Das Vierteljahrhundert der aktiven Arbeit im Arbeitskreis war durch eine alljährliche Tagung gekennzeichnet, auf der die Vielfalt an Forschung im Küstenbereich vorgestellt und sich lebhaft ausgetauscht wurde.

Ausrichter der 25. Jahrestagung waren die Hamburg Port Authority und das Institut für Geographie der Universität Hamburg. Mit 35 Vorträgen und 10 Postern stellten sich die Küstenwissenschaftler in großer Zahl vor. Ein bedeutender regionaler Schwerpunkt war dabei in diesem Jahr vor allem der Norddeutsche Raum. Hamburg, an der Elbe gelegen, präsentiert natürlich seinen Fluss besonders gern, aber auch andere Regionen Südeuropas und außerhalb Europas stellten sich vor. Auch inhaltlich waren die Themen sehr vielfältiger Art, sie handelten von der Sedimentation eines Flussästuars bis hin zur Kulturlandschaftsveränderung an der Küste durch die Biokraftstoffproduktion. Die Vielzahl der Themen war für alle Beteiligten so interessant, dass auch bei schönstem Sommerwetter noch am Samstag nahezu alle Teilnehmer zuhörten.

Die Bandbreite der Küstenforschung spiegelt sich auch – schon beim Titel beginnend – in diesem Tagungsband wider. Das ist für die Tagungen des Arbeitskreises durchaus gewollt, da auch die geographische Küsten- und Meeresforschung ein erhebliches Spektrum aufweist.

Ein großer Dank von Seiten der Veranstalter gilt der GKSS, Institut für Küstenforschung, dem EU-Projekt Coastman (Coastal Zone Management in the Baltic Sea Region) und der EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V., welche die Ausrichtung der Tagung finanziell unterstützten und somit für das leibliche Wohl und die Bestreitung der Kosten des Tagungsbandes sorgten.

Die Philipps-Universität Marburg, die Universität Hamburg, die Hamburg Port Authority und die Geographische Gesellschaft in Hamburg unterstützten die Planung und Ausrichtung der Tagung durch Manpower erheblich. Ohne die helfenden Hände zahlreicher Angehöriger dieser Institutionen wäre die Tagung sicherlich nicht so erfolgreich geworden, weshalb auch ihnen recht herzlich gedankt sei.

Hamburg im November 2007

Gabriele Gönnert, Børge Pflüger & Johann-Ahlert Bremer

## **Vorwort der Sprecher**

Das vorliegende Buch ist der wissenschaftliche Ertrag der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ (AMK), eines Arbeitskreises der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG). Die Tagung fand vom 26. bis 28. April 2007 in Hamburg im Zentrum für Marine und Atmosphärische Wissenschaften statt, organisiert von PD Dr. Gabriele Gönnert, Hamburg Port Authority, und Dr. Børge Pflüger, Institut für Geographie der Universität Hamburg. Dieser Band 9 der *Coastline Reports* setzt die kontinuierliche Reihe der Tagungsveröffentlichungen des AMK seit seiner Gründung im Jahre 1983 fort.

Das Werk spannt einen weiten thematischen Bogen von der Küstendynamik über Küstenzonenmanagement und Risikoforschung bis hin zur Geoarchäologie. Es reflektiert damit die



breite Themenpalette der Jahrestagung 2007. Den Auftakt der über 30 wissenschaftlichen Vorträge machte Dieter Kellertat, einer der Gründungsväter und langjähriger Sprecher des AMK, mit seinem Vortrag: „Die Küsten der Erde: Vielfalt, Geoarchive und Risikoräume“ – ebenfalls ein Beitrag in diesem Band.

Die meisten Artikel befassen sich mit Küsten in Deutschland. Vergangenheit und Zukunft des nordfriesischen Wattenmeeres (K. Ahrendt) sind ebenso Gegenstand der Betrachtung wie der Neufelder Sand in der Elbmündung als Beispiel für die morphologischen Veränderungen von Wattflächen (Th. Albers & N. von Lieberman). Hierzu passen die Ausführungen über den Landnutzungswandel in Eiderstedt (P.M. Link & Ch. Schleupner). Die Bedeutung eines integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) für den Ostseeraum macht A. Körfer deutlich.

Nicht zuletzt durch die Veröffentlichung des neuesten IPCC-Berichts in diesem Jahr ist der prognostizierte Meeresspiegelanstieg als eine der Folgen der globalen Erwärmung ein Thema von hoher gesellschaftlicher Relevanz. Ihm widmen sich K. Licht-Eggert et al. mit ihren Szenarien zu möglichen Zukünften der Nordseeküste bis 2055. Eine ähnliche Thematik behandeln D. Kraft und F. Ahlhorn mit ihren Zukunftsszenarien für die Jade-Weser-Region. J. Hofstede erörtert die Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten hinsichtlich der Fragestellung, ob hieran bereits der anthropogene Klimawandel sichtbar sei.

Mit der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein (A. Bruns) bzw. ihrer Analyse und Bewertung, exemplifiziert an der Kieler Förde (A. Daschkeit et al.), beschäftigen sich zwei Beiträge. Über die Tideelbe wird ebenfalls zweifach berichtet: Als besonderer Lebensraum (C. Freitag et al.) und unter dem Aspekt ihrer hydrologischen Entwicklung (M. Fickert & Th. Strotmann). Dazu passt die vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems für die letzten 20 Jahre (B. Schuchardt et al.).

Die Auswirkungen von Extremereignissen auf Küsten – retrospektiv, aktuell und prognostisch – sind ein wichtiges Feld der Küstenforschung. In diesen Rahmen fallen der Artikel über Sturmflutablagerungen auf Hallig Hooge (M. Deicke et al.) ebenso wie derjenige zur Quantifizierung des Hochwasserrisikos für Bremen (H. Spekker). S.M. May et al. machen durch den Nachweis von tsunamigenen Sedimenten in NW-Griechenland das Tsunami-Risiko im Mittelmeerraum deutlich.

Wie aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich, befassen sich die meisten Beiträge regional mit deutschen Küsten. Zu den wenigen Ausnahmen zählen diejenigen über die Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands im Zeitraum 1777 – 2002 (B. Pflüger), über die Prozesse im Küstenraum Benins (U. Sturm et al.) sowie über Ausmaße und potenzielle Ursachen holozäner Meeresspiegelveränderungen an der patagonischen Atlantikküste (G. Schellmann & U. Radtke). S. Brockmüller et al. thematisieren den ehemaligen Umweltwandel im Sund von Leukas (NW Griechenland) und dessen Bedeutung für die (geo-) archäologische Forschung.

Wir wünschen dem vorliegenden Werk eine möglichst weite Verbreitung. Diesen Wunsch verbinden wir mit der Hoffnung, dass sich durch die Lektüre der nachfolgenden Seiten etwas von der Faszination der Küsten und Meere auf die Leserinnen und Leser überträgt.

Marburg im November 2007

Helmut Brückner  
(Sprecher des AMK 2001-2007)

Andreas Vött  
(Sprecher des AMK seit 2007)

## Inhaltsverzeichnis

Dieter Kelletat

**Die Küsten der Erde: Vielfalt, Geoarchive und Risikoräume. – Ein Beitrag zur  
25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ ..... 1**

Bastian Schuchardt, Jörg Scholle, Sandra Schulze & Tim Bildstein

**Vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der inneren Ästuarie  
von Eider, Elbe, Weser und Ems: Was hat sich nach 20 Jahren verändert? ..... 15**

Achim Daschkeit, Horst Sterr, Klaus-Gerhard Kirstein & Peter Krost

**Analyse und Bewertung 'erheblich veränderter Küstengewässer' im Kontext der  
Wasserrahmenrichtlinie – das Beispiel Kieler Förde ..... 27**

Antje Bruns

**Coastal Governance im Wandel: Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in  
Schleswig-Holstein..... 35**

Kai Ahrendt

**Vergangenheit und Zukunft des nordfriesischen Wattenmeeres ..... 45**

Maja Fickert & Thomas Strotmann

**Hydrodynamische Entwicklung der Tideelbe ..... 59**

Caroline Freitag, Boris Hochfeld & Nino Ohle

**Lebensraum Tideelbe..... 69**

Thorsten Albers & Nicole von Lieberman

**Morphologische Veränderungen von Wattflächen  
am Beispiel des Neufelder Sandes in der Elbmündung ..... 81**

Matthias Deicke, Volker Karius, Wiebke Jahnke, Wiebke Kallweit, Marlene Rebens &  
Dorothea Reyer

**Charakterisierung von Sturmflutablagerungen auf Hallig Hooge  
- Quantifizierung des Sedimentwachstums seit 1914 -..... 93**

Gerhard Schellmann & Ulrich Radtke

**Ausmaße und potentielle Ursachen holozäner Meeresspiegelveränderungen an der  
patagonischen Atlantikküste (Argentinien)..... 103**

Simon Matthias May, Andreas Vött, Helmut Brückner & Svenja Brockmüller

**Evidence of tsunamigenic impact on Actio headland near Preveza, NW Greece ..... 115**

Svenja Brockmüller, Andreas Vött, Simon Matthias May & Helmut Brückner

**Palaeoenvironmental changes of the Lefkada Sound (NW Greece) and their  
archaeological relevance ..... 127**

Jacobus Hofstede	
<b>Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten: Ist der anthropogene Klimawandel bereits sichtbar?.....</b>	<b>139</b>
Börge Pflüger	
<b>Veränderungen der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands von 1777 bis 2002 .....</b>	<b>149</b>
Heiko Spekker	
<b>Quantifizierung des Hochwasserrisikos für die Stadt Bremen .....</b>	<b>163</b>
Dietmar Kraft & Frank Ahlhorn	
<b>Jade-Weser-Region heute und in 2050: Skizzen zu möglichen Zukünften.....</b>	<b>169</b>
Ulrike Sturm, Oscar Teka, Joachim Vogt, Hans-Peter Bähr & Tillmann Buttschardt	
<b>Analyse von Prozessen im Küstenraum Benins – Grundlage für planerische Steuerung .....</b>	<b>185</b>
Peter Michael Link & Christine Schlepner	
<b>Agricultural land use changes in Eiderstedt: historic developments and future plans .....</b>	<b>197</b>
Katharina Licht-Eggert, Andreas Kannen, Kai Ahrendt, Benjamin Burkhard, Antje Bruns, Doris Diembeck, Kira Gee, Bernhard Glaeser, Bente Grimm, Jörg Köhn, Tanja Michler, Corinna Nunneri, Sebastian Stragies & Wilhelm Windhorst	
<b>Szenarien über mögliche Zukünfte der Nordseeküste bis 2055 – Herangehensweise und methodische Gesichtspunkte mit Schwerpunkt auf sozioökonomischen Aspekten .....</b>	<b>207</b>
Aude Körfer	
<b>IKZM im Ostseeraum: Situation und Perspektive .....</b>	<b>217</b>



## **Die Küsten der Erde: Vielfalt, Geoarchive und Risikoräume. – Ein Beitrag zur 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“**

Dieter Kelletat

Institut für Geographie, Universität Duisburg-Essen

### **Abstract**

Aus Anlass der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ innerhalb der deutschen Geographie sei ein weiter thematischer Überblick über eines der faszinierendsten Forschungsfelder der Erde gestattet, nämlich die Küsten, wobei die Blickrichtung des Verfassers natürlich eher die physischen Aspekte berücksichtigen wird.

Erst mit der synoptischen Sicht der Erde in hochauflösenden Maßstäben, wie sie uns die Satellitentechnik ermöglicht, können wir die ganze Vielfalt der Küsten erfassen und lernen dabei, dass alle bisherigen Klassifizierungen Lücken aufweisen und wir für manche Phänomene noch gar keine abgestimmten Begriffe gebildet haben. Das gilt für die extrem vielfältigen Erscheinungen der Ingressionsküsten ebenso wie für biogen gestaltete Küstenformen oder geomorphologische Ergebnisse extremer Gestaltungsprozesse, wie sie uns beispielsweise in Tsunamis begegnen. Ein kurzer Überblick dazu mag genügen.

Spannender wird es, wenn wir die Küsten als Geoarchive nutzen: sie liefern uns Auskünfte über frühere Meeresspiegelstände und damit auch wichtige Klima-Informationen, und das in feiner Auflösung, wenn man die richtigen vernetzten Techniken anwendet. Vor allem die Geo-Archäologie hat auf diesem Gebiet hervorragendes geleistet und nicht nur ehemalige Küstenlinien auf Karten fixiert, sondern uns Rekonstruktionen ganzer Landschaften für historische und prähistorische Zeitschnitte geliefert, die unser Verständnis von Umweltveränderungen im jüngeren Holozän erheblich erweitert haben.

Erst relativ neu ins Blickfeld gerückt sind Extremereignisse an den Küsten der Erde, jedenfalls ihre ganze Breite und die damit verbundenen Risiken für die Küsten-Infrastruktur und die dort ansässige Bevölkerung bzw. Besucher dieser Räume. Über Sturmfluten der Mittelbreiten wussten wir viel, über Wirbelstürme der Tropen ebenfalls etliche Details. Beides sind Erscheinungen, bei denen wenigstens ein gewisser Schutz und Vorwarnungen möglich und auch entwickelt sind. Das ist anders bei Tsunamis, deren nahezu weltweites Auftreten in Zeiten eines hohen Meeresspiegelstandes erst in den letzten Jahren als Extrem-Risiko erkannt wurde. Bedauerlicherweise sind die Pläne für Warn- und Schutzmaßnahmen trotz der Mega-Katastrophe im Indischen Ozean im Jahre 2004 bisher kaum vorangekommen. Auch Aspekte dieser „*extreme events*“ im Küstenraum und vor allem neue Einsichten und Methoden zu ihrer Erforschung werden behandelt.

### **1 Einführung**

Dieser Beitrag gibt einen (sehr persönlich gefärbten) Rückblick auf nunmehr fast 25 Jahre Forschung im Arbeitskreis „Geographie der Meere und Küsten“. Ausgehend von kleinen und nicht vernetzten Standorten mit geowissenschaftlicher Grundlagenforschung oder eher anwendungsorientierten Arbeiten an den universitären Küstenstandorten und außeruniversitären Instituten und Dienststellen ist es im Laufe der Jahre gelungen, im Arbeitskreis einen zentralen Knotenpunkt für Gedankenaustausch, Diskussionen, Vorstellung neuer Arbeitsrichtungen, Methoden und Forschungsergebnisse zu schaffen und manche „Einzelkämpfer“ zu gemeinsamen Anträgen und Projekten zusammenzuführen. Dabei haben sich auch „Schulen“ entwickelt, meist getragen von älteren Kolleginnen und Kollegen, und ein deutlicher Trend zu vertiefter Beschäftigung vor allem mit Küstenthemen ist in unserem

wissenschaftlichen Nachwuchs festzustellen. Die Meere und Ozeane mit ihrer Unzahl offener Fragen wurden allerdings weiterhin nur ausnahmsweise in die Forschung mit einbezogen. Dieses blieb zumeist das Privileg großer Forschungsorganisationen (z.B. AWI oder GEOMAR), die über Forschungsschiffe verfügen und sehr komplexe Fragestellungen über viele Jahre mit einem abgesicherten größeren Team und auf besserer finanzieller Basis angehen können als die Universitätsinstitute. Bei diesen muss jeder Forschungsansatz, der Arbeiten außerhalb des Büros erfordert oder auf andere Weise ein gewisses Maß an Kosten verursacht, über den mühsamen und immer steiniger werdenden Weg von Einzelanträgen (z.B. bei der DFG) versucht werden. Man stelle sich vor, welchen Fortschritt wir hätten erreichen können, wenn die dafür erforderliche und nicht selten vergeblich aufgewendete Zeit unmittelbar der Forschung zugute gekommen wäre!

Aber auch vor diesem Hintergrund erschwelter Arbeitsbedingungen ist erfreulicherweise eine sehr deutliche Zunahme der Beschäftigung mit Küstenforschung zu verzeichnen. Diese ist zudem außerordentlich thematisch und methodisch differenziert, zunehmend international und interdisziplinär vernetzt und trägt nicht selten bei zur Entschleierung und Beantwortung übergeordneter Fragen wie Klimaschwankungen und *Global Change* oder nachhaltige Entwicklung und Gefahrenabwehr im Küstenraum. Hierbei hat sich die Wirtschafts- und Sozialgeographie gegenüber der früheren Dominanz der Physiogeographie eindeutig weiterentwickelt, und es ist zunehmend eine bessere Verklammerung beider Blickrichtungen zu beobachten. Ein weiteres Positivum ist die ständige Verjüngung der Arbeitskreismitglieder und Referenten unserer Jahrestagungen und ihre stetig wachsende Zahl. Dieses ist auch ein Zeugnis für die Vorbildfunktion der Arbeitskreissprecher und ihre dichte Informationsverbreitung sowie die mit großem Einsatz vorbereiteten und durchgeführten Tagungen und die prompte Drucklegung der dabei präsentierten Arbeiten. Dass gerade auf letzterem Gebiet ein über ganz Deutschland verbreitetes Engagement zu beobachten ist, ist an immerhin 20 Standorten in 25 Jahren (Abb. 1 und Tab. 1) zu erkennen und unterscheidet unseren Arbeitskreis ganz wesentlich von anderen innerhalb der deutschen Geographie.

Tab. 1: Tagungsorte und Organisatoren der Arbeitskreistagungen seit 1983

Jahr	Ort	Organisatoren
1983	Essen	Kelletat
1984	Mainz	Uthoff
1985	Kiel	Klug
1986	Sylt	Besch
1987	Berlin	Voss
1988	Hamburg	Schipull & Thannheiser
1989	Wilhelmshaven	Kelletat
1990	Düsseldorf	Brückner & Radtke
1991	München	Wieneke & Rust
1992	Hannover	Buchholz & Scharmann
1993	Greifswald	Lampe
1994	Büsum	Klug & Klug
1995	Köln	Radtke
1996	Oldenburg	Sterr & Preu
1997	Vechta	Preu
1998	Marburg	Brückner

1999	Bremen	Venzke
2000	Vechta	Preu
2001	Bamberg	Schellmann
2002	Kiel	Daschkeit & Sterr
2003	Essen	Kelletat
2004	Warnemünde	Schernewski & Dolch
2005	Koblenz	Beck
2006	Wilhelmshaven	Behre
2007	Hamburg	Gönnert & Pflüger



Abb. 1: Tagungsorte des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ seit seiner Gründung im Jahre 1983 in Essen.

Die folgende Zusammenstellung gibt einen kleinen Überblick über drei Kernthemen der physisch-geographischen Küstenforschung, nämlich ihre geomorphologische Vielfalt, die Nutzung der Küstenräume als Geoarchive, und die Bewertung von Risiken im Küstenraum. Dabei wird auf eine Literaturdiskussion verzichtet, weil sie in diesem weitgespannten Rahmen nicht adäquat und fair vorgenommen werden kann.

## 2 Geomorphologische Vielfalt der Küsten

Die Ingressionsformen galten als die vielgestaltigsten Erscheinungen im Küstenraum, weil sie alle Relief-Eigenheiten der Erde im Zustand partieller Ertränkung aufweisen können. Sie wurde weltweit durch den postglazialen Meeresspiegelanstieg hervorgerufen, doch reicht dieser mit etwa 120 m nicht aus, um alle anzutreffenden Formtypen zu erklären. Krustenabsenkungen mit größeren Ertränkungsraten ergeben noch viel klarere Bilder von bisher unbenannten Küstenformen. Das gilt für Strukturformen der Erdoberfläche ebenso wie für stark zerschnittene fluviale Reliefs oder verschiedenen Karsterscheinungen (Abb. 2 und 3). Aber auch partiell ertrunkene Rumpfflächen mit Schildinselbergen (Abb. 4) oder Fußflächen kommen vor sowie alle glazialen Formengesellschaften. Unter den Zerstörungsformen sind diejenigen der Salzverwitterung immer noch nicht hinreichend erfasst und vor allem die biogenen in ihrer extremen Differenzierung ebenfalls weitgehend vernachlässigt (Abb. 5 und 6).

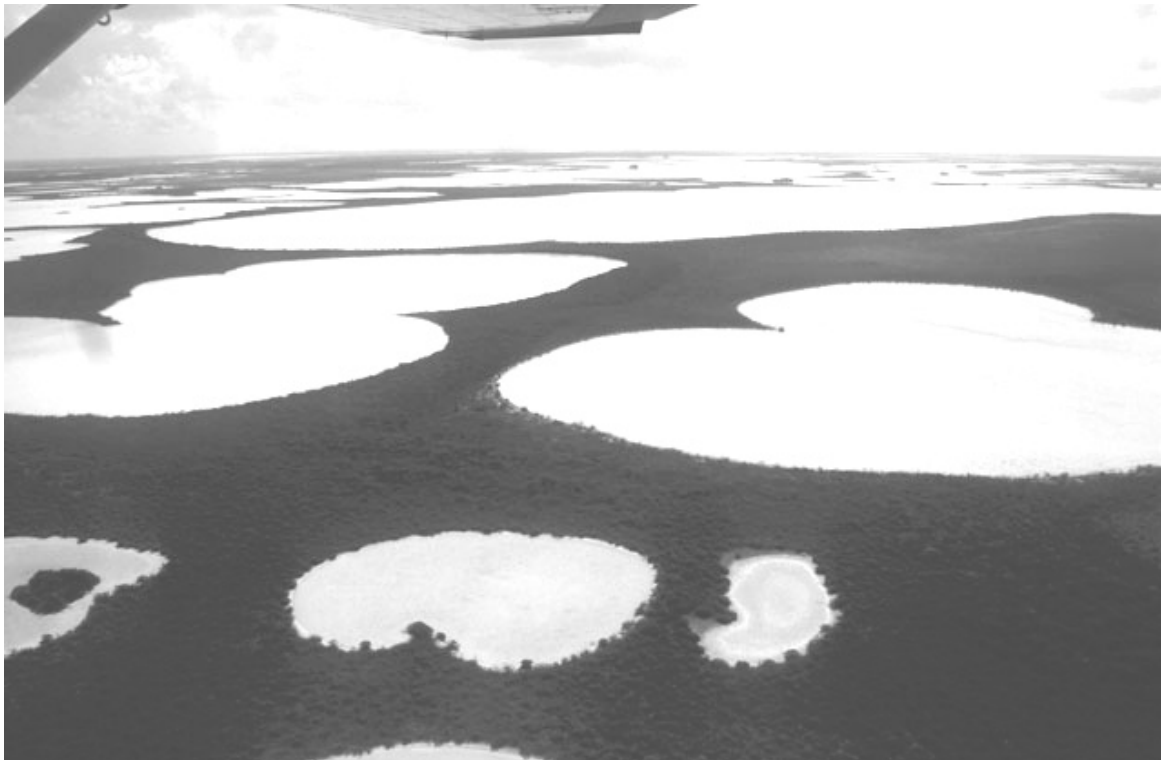


Abb. 2: Flache, knapp überflutete Dolinen bilden den größten Teil der Bahama-Insel Andros.



Abb. 3: Die sog. „Rock Islands“ des Palau-Archipels (Mikronesien) zeigen einen Übergang zwischen Cockpitkarst und Kegelkarst in verschiedenen Phasen der Ertrückung.

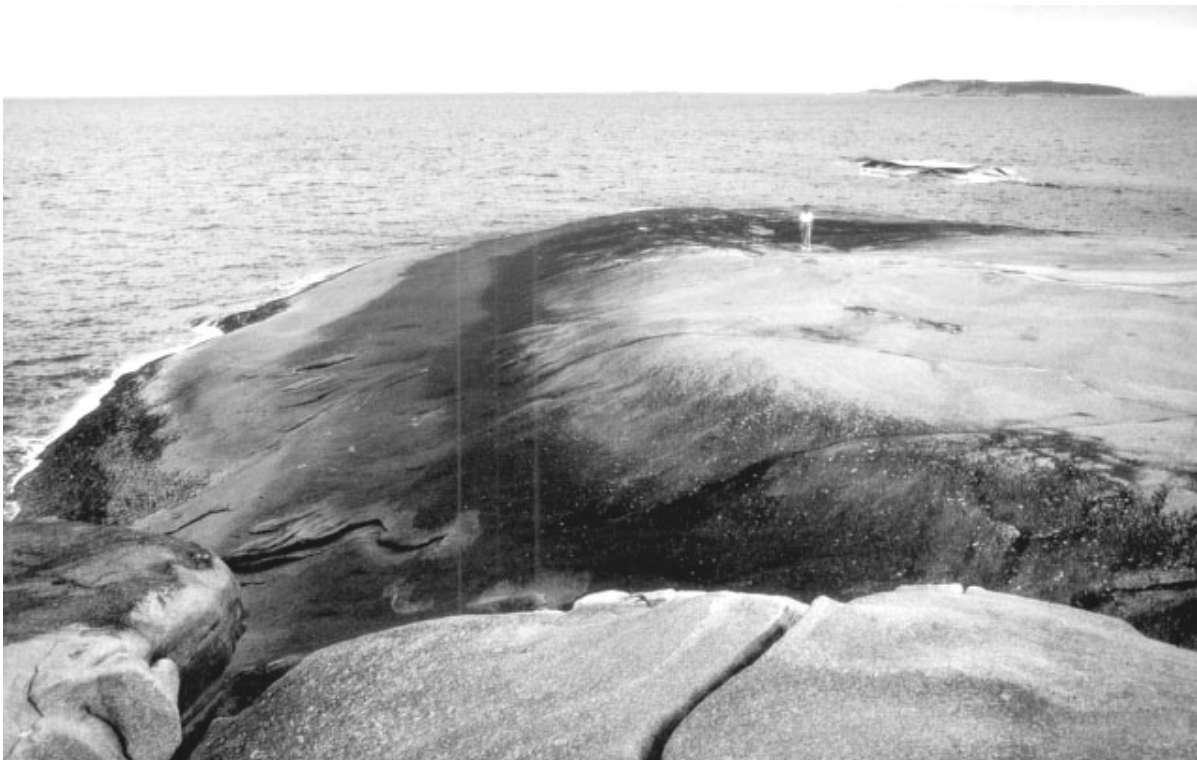


Abb. 4: An der Südküste von Westaustralien treten vor allem in der Region Esperance eintauchende Flanken von Schildinselbergen in größerer Zahl auf.





Abb. 5: Bei genauerem Hinsehen erkennt man auf dem durch endolithische Cyanophyceen dunkel gefärbten Kalkstein der Brandungszone die hellen Fressspuren von Napfschnecken und Käferschnecken (Nusa Dua-Region, Bali, jungpleistozäner Korallenkalk).



Abb. 6: Diese scharf eingeschnittene horizontale Hohlkehle biogenen Ursprungs im gehobenem Korallenkalk der Insel Curacao (Karibik) ist trotz eines Alters von etwa 125.000 Jahren (letztes Interglazial, Isotopenstufe 5e) praktisch unverändert erhalten und liefert damit eine exakte Meeresspiegelmarke.

### 3 Küstenräume als Geoarchive

Besonders eindrucksvolle Bilder von der Entwicklung der Küsten liefern meist gut sichtbare Spuren früherer Meeresspiegelstände aus dem mittleren Holozän oder dem Pleistozän, vor allem, wenn eine Heraushebung diese Formen vor späterer Zerstörung oder Veränderung durch nachfolgende litorale Prozesse bewahrt hat. Dabei kann es sich um Aufbauformen wie Terrassentreppen mit Korallenriffen ebenso handeln wie um Destruktionsformen der Hohlkehlen (Abb. 6 und 7). Auch reine Akkumulationsformen in der Art von Strandwallkomplexen liefern ebenso klar erkennbare Zeugnisse. Sie gehen meist auf Phasen stärkerer Wellenereignisse zurück, in denen feines Lockermaterial deutlich über die normale Brandungsreichweite hinaus geworfen wurde. Hierbei kann man kontinuierliche Abläufe in streng paralleler Anordnung von Strandwällen von diskontinuierlichen bei einem Wechsel der Strandwallrichtung unterschieden (Abb. 8), meist verbunden mit einer „horizontalen Abtragungsdiskordanz“ als Nahtstelle zwischen zwei unterschiedlich ausgerichteten Wallkomplexen. Leider ist erst wenig darüber bekannt, unter welchen Voraussetzungen diese Akkumulationskörper entstehen und welche Aussagemöglichkeiten sie für frühere dynamische Zustände bieten. So hält sich hartnäckig die Auffassung, dass die Krone von Strandwällen die maximale vertikale Reichweite kräftiger Sturmwellen anzeigt, doch belegen direkte Beobachtungen im Verlaufe von Wirbelstürmen, dass Wälle aus Grobmaterial in Wirklichkeit in der Wellenbasis abgelagert werden, wo die „orbital velocity“ noch hoch genug für Grobmaterialbewegung ist, während gleichzeitig der Sturmwasserstand (mit aufgesetzten Wellen!) etliche Meter über der Wallkrone stehen kann (Abb. 9). In arktischen und antarktischen Regionen, aus denen wir besonders gut entwickelte Strandwallfolgen mit hunderten von einzelnen glazialisostatisch herausgehobenen Küstenkonturen kennen gilt natürlich auch, dass sie das Ergebnis von stärkeren Wellenereignissen sind. Da diese Räume aber gleichzeitig Meereisbildung aufweisen mit Unterdrückung von Wellenbildung, und etliche der Strandwallsysteme bis in das (kältere) Spätglazial zurückreichen lässt sich damit auch erkennen, wann bereits die umliegenden Meere eisfrei wurden – wenigstens eine gewisse Zeit im Jahr – bzw. in welchen Phasen sie wieder vollständige Eisbedeckung aufwiesen. Dann gibt es Lücken in den Strandwallfolgen in einem vertikalen Streifen gewisser Breite, solange sich die glazialisostatische Hebung fortsetzt. Wendet man diese Beobachtungen z.B. auf Grenzbereiche von Meeresströmungen an wie die nördliche Reichweite der warmen Gewässer des Golfstromes, so findet sich hier ein Ansatz zur Interpretation der Zirkulationsbedingungen gerade für die spannenden Übergangszeiten zwischen eindeutig kalten (glazialen) und eindeutig warmen Klimaphasen (Interglazialen). Generell lässt sich sagen, dass die Möglichkeiten, sich über die Analyse und Datierung von Strandwallsystemen Informationen zur Paläo-Tempestologie zu verschaffen, noch lange nicht genutzt sind. Wir arbeiten gerade verstärkt daran, diese weiter und genauer für tropische und außertropische Regionen zu entschlüsseln.



Abb. 7: In der Phang Nga Bucht östlich von Phuket (Thailand) sind die aus dem Meer aufragenden Wände des Turmkarstes nahezu überall dekoriert mit bioerosiven Hohlkehlen. Auf dem Bild erkennt man eine untere, die dem heutigen Gezeitenbereich entspricht, sowie 2 höhere, wobei die obere der Isotopenstufe 5e und die mittlere der Stufe 5a entsprechen dürfte. Auskleidungen mit Tropfsteinen (speleothems) ermöglichen eine kontinuierliche Analyse der Umweltbedingungen seit Auftauchen dieser Hohlkehlen.



Abb. 8: Die wechselnde Richtung von Strandwallkomplexen (hier aus dem jüngeren Holozän auf der Abrolhos-Insel Pelsaert, West-Australien) deutet auf Zeitlücken im Aufbau bzw. zwischengeschaltete Abtragungsphasen hin.

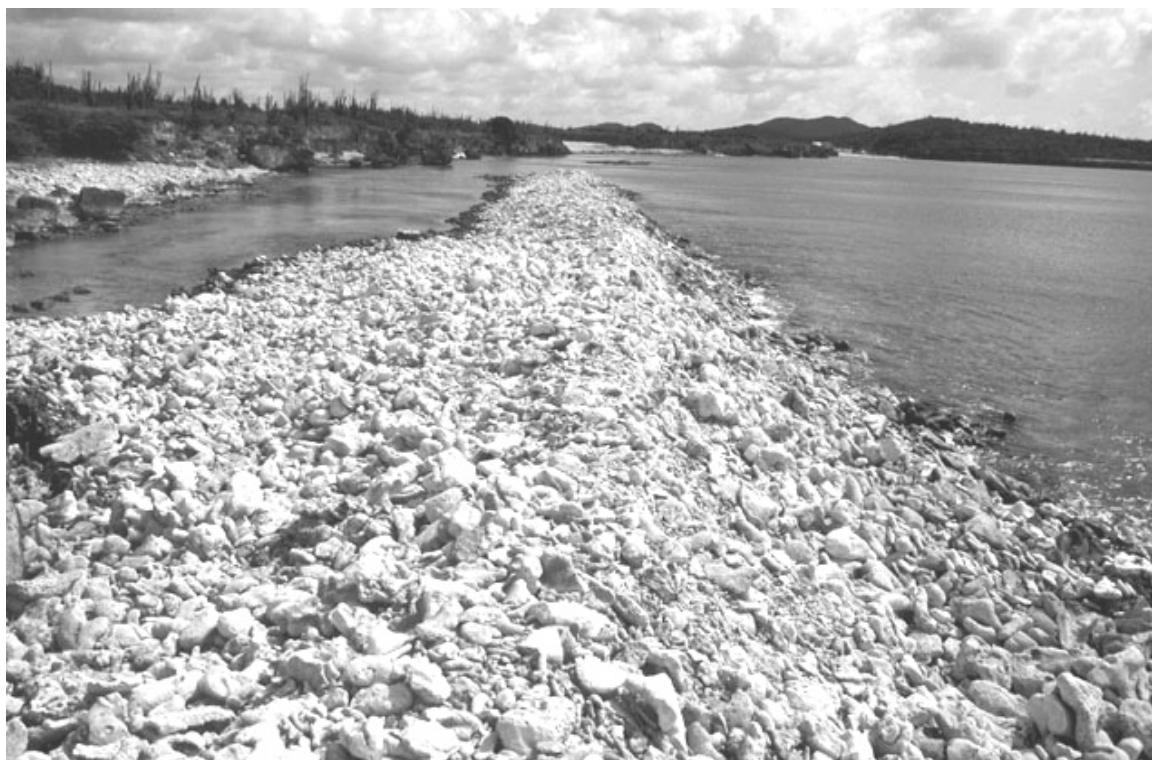


Abb. 9: Dieser neue „spit“ als frei ins Meer verlaufender Strandwall entstand im Verlaufe des Hurrikans Lenny (1999) an der Insel Bonaire (südliche Karibik), als die Wellen an dieser Stelle mindestens 4 m über die Strandwallkrone reichten.

Eine andere und vielfach genutzte Technik, die Küsten als Geoarchive zu nutzen, ist nicht die Geomorphologie selbst, sondern die Sedimentologie bzw. die Stratigraphie, die man gewöhnlich mit aufwendigen Bohrungen gewinnt. Bei entsprechenden Feinanalysen der Chemie und Mikrobiologie dieser Sedimente lassen sich nicht nur Meeresspiegelschwankungen recht präzise ermitteln, sondern auch das weitere Umfeld der Küstenräume bis zu Geschehnissen im Hinterland rekonstruieren. Vor allem, wenn archäologische Zeugnisse mit berücksichtigt werden wie in dem mittlerweile gut entwickelten Wissenschaftszweig der Geo-Archäologie ergeben sich Landschaftsrekonstruktionen von erstaunlicher Präzision und Aussagekraft, die unser Bild historischer und prä-historischer Gegebenheiten nachdrücklich verändert und verfeinert haben. Hier sind die Ansätze in unseren Breiten und für die Mittelmeerregion bereits gut entwickelt, aber weltweit liegt dabei noch sehr viel Arbeit vor uns.

Ein weiteres Archiv, welches erst nach und nach erschlossen wird, sind die in Korallen und anderen langlebigen Aufbauformen gespeicherten Umweltinformationen, so u.a. in Tropfsteingebilden, den sogenannten Speleothems. Hier sind nicht nur Altersbestimmungen aufs Jahr genau möglich, sondern sogar saisonale Auflösungen mit Auskünften etwa zum Niederschlagsablauf, der Oberflächentemperatur des Wassers, der Wassertrübung durch Stürme oder Tsunamis u.a.m. Allerdings sind dazu Ausstattungen und Mittel nötig, die meist weit über die Möglichkeiten der Geographie hinausgehen, aber das regt bekanntlich zu interdisziplinärer Zusammenarbeit besonders an.

#### 4 Risikoraum Küste

Küsten als Grenzräume unterliegen vielfältigen Risiken, vor allem für die dort ansässigen Menschen und ihre oft empfindliche und teure Infrastruktur. Ich will mich hier aber beschränken auf kurze Betrachtungen zu physikalischen Faktoren bei extremen Wirbelstürmen und Tsunamis.

Lehrbücher der Küstenmorphologie vermitteln uns den Eindruck, als entwickelten sich die Küstenformen allmählich unter dem Einfluss von Meeresspiegelschwankungen mit Abtragung oder Ablagerung, ggf. unter Mitwirkung von Organismen wie Mangroven oder Korallen. Es wurde jedoch niemals ernsthaft geprüft, ob nicht die meisten Küstenformen im Wesentlichen durch Extremereignisse zustande kommen oder doch ihr gegenwärtiges Aussehen erhielten. Das ist sicher richtig für die groben Konturen etwa der Nordfriesischen Inseln und Halligen oder der Jadebucht, die auf singuläre Sturmflutereignisse vor etlichen hundert Jahren zurückgehen, deren Spuren immer noch nicht verwischt sind.

Eigentlich müssten an den Küsten der Erde Ereignisse mit großer Energieentfaltung einen viel größeren Anteil haben als am terrestrischen Relief, denn es standen für ihr heutiges Bild nur etwa 6000 Jahre seit dem Meeresspiegelhochstand nach der letzten Vereisung zur Verfügung, und gerade im Küstenraum gibt es eher „extreme events“ als auf dem Lande abseits von Vulkangebieten oder Steilrelief. Wenn man aber versucht, die Wirkung einzelner Extremvorgänge mit den ständig ablaufenden Prozessen quantitativ zu vergleichen, kommt man zu sehr extremen Ergebnissen. Nehmen wir dazu ein Beispiel, wie wir es einmal für Zypern berechnet haben:

An den dortigen Karbonatküsten gibt es u.a. biogene Hohlkehlen um 1 m Tiefe. Messungen haben ergeben, dass in diesem eulitoralischen Streifen die dortigen Organismen ohne weiteres in der Lage sind, pro Jahr flächenhaft mindestens 1 mm abzutragen. Damit könnte eine Hohlkehle im harten Kalk bei 1 m Eindringtiefe um 1000 Jahre alt sein, kaum älter. Nun fanden wir in Zypern Spuren eines starken Tsunami, der wahrscheinlich in der ersten Hälfte des 18. Jahrhundert aufgetreten ist. Er zerstörte längere Kliffpartien mit den Hohlkehlen und verbrachte große Blöcke weit ins Land und in größere Höhen. Eine Tsunamiwelle zerstörte demnach biogene Hohlkehlen aus einem etwa 1000 Jahre andauernden kontinuierlichen Prozess, doch die Welle wirkte sicher nicht länger als 30 Sekunden in ihrem Ansturm auf die Kliffe. Setzt man 30 Sekunden in Beziehung zu 1000 Jahren, so ergibt sich ein Verhältnis von 1: 1 Mrd. und es wäre nicht unlogisch zu behaupten, dass in dieser Konstellation eine Tsunamiwelle die milliardenfache Zerstörungsenergie im Vergleich zur biogenen Küstenabtragung an Karbonatgesteinen hat.

So schlicht diese Überlegungen sind, so äußerst heftig und komplex ist die andauernde Diskussion darüber, was starke Wellen überhaupt zu leisten vermögen. Kurz gesagt, in der Küstenforschung geht ein heftiger Streit zwischen den Vertretern von Sturmhypothesen für jegliche auch noch so extreme Art von Materialbewegung oder morphologischer Veränderung, und einer anderen Gruppe, die teilweise oder sogar in den meisten Fällen Tsunamis als Formungsagenzien heranzieht um. Es gibt also – in Analogie zu den Plutonisten und Neptunisten zu Zeiten Goethes – heutzutage die „Tempestologen“ und die „Tsunamiisten“.

Abschließend möchte ich zu dieser Diskussion einen kleinen Beitrag mit Beispielen aus eigener Forschungserfahrung beisteuern. Schließlich ist es nicht unwichtig, welchem Risiko Küstengebiete unterliegen: Eher häufigen und vorhersagbaren, aber in der Wirkung begrenzten Sturmereignissen, vor denen man sich mehr oder weniger gut schützen kann, oder unvermuteten und energetisch nahezu unbegrenzt starken Tsunamis, vor denen es – außer ggf. Warnungen nach der Auslösung – keinen wirklich sicheren Schutz gibt.

Die meisten Forscher, welche sich der Frage „Sturm oder Tsunami“ für Feldsignaturen der Vergangenheit im Küstenraum gewidmet haben, arbeiteten an Feinsedimenten, die zufällig in Aufschlüssen zu sehen waren oder die man mittels Bohrungen in ihrer Verbreitung verfolgte. Das liegt daran, dass z.B. Tsunamiforscher in aller Regel Geologen oder Sedimentologen sind, die sich gern auf zuverlässige stratigraphische und sonstige (physikalische und chemische sowie biologische)

Analysemethoden verlassen. Das gilt auch für die Teams, welche die ganz jungen Tsunamis untersuchten wie z.B. denjenigen vom 26.12.2004 im nördlichen Indischen Ozean. Man gewinnt dabei den Eindruck, als hinterließen Tsunamis – wenn überhaupt etwas - dann Feinsedimente, und so erschienen mittlerweile recht zahlreiche Publikationen über die Frage, wie man denn Tsunamisande von Feinsedimenten aus Hurrikanen unterscheiden könne. Etwas störend ist dabei, dass jeder Autor hier seine eigenen Auffassungen und Blickwinkel hat, mal die Unterschiede und mal die Gemeinsamkeiten betont und es deshalb sehr verschiedene Kataloge der Kennzeichen für diese beiden so unterschiedlich wirkenden Prozesse gibt. Es ist auch nicht zu erwarten, dass es hier in absehbarer Zeit eine Einigung der Auffassungen gibt, weil eben jedes Team im Gelände immer nur einen sehr kleinen Ausschnitt wirklich bearbeiten kann und dabei meist übersieht, dass die Sedimentationsverhältnisse „um die nächste Ecke herum“ ganz anders gewesen sein könnten. Hinzu kommt natürlich die Frage der Erhaltung. Hier gibt es erste Erfahrungen über eine deutliche Umwandlung der Feinsedimente in Südasien durch die heftigen Niederschläge des nächsten Monsuns 2005 mit über 3300 mm (in Thailand) sowie die Veränderung des Lagerungsgefüges durch Pflanzenwurzeln allein in der ersten Phase der Wiederbesiedlung.

Wir haben daher unser Augenmerk verstärkt auf Grobsedimente gerichtet, welche von extremen Wellenereignissen hinterlassen wurden, bis zu wirklich riesigen Blöcken und ihrer Verlagerung aus dem Küstenstreifen landwärts. An ihnen lässt sich die notwendige Wellenenergie zum Transport einschließlich der Geschwindigkeit und Höhe am besten ablesen. Außerdem sind dadurch objektive Größenordnungen für die Wellenbelastung von Bauwerken u.ä. bei Tsunamis gegeben, welche endlich in die Modelle eingebaut werden müssen. Da vieles von diesen Beobachtungen bereits publiziert wurde, will ich mich hier auf wenige Beispiele in Bilddokumenten beschränken (Abb. 10-13):



Abb. 10: Dieser um 3 t schwere Block mit perfekt erhaltenen biogenen rock pools und zwischengeschalteter feinsten Felsskulpturierung wurde aus dem Supralitoral von Bonaire (südliche Karibik) herausgebrochen und mehr als 200 m landwärts und mindestens 5 m gegen die Schwerkraft transportiert. Er liegt weit außerhalb der Reichweite selbst von Hurrikan-Brandung. Abrasionspuren fehlen, so dass ein Transport rollend oder schiebend ausgeschlossen werden kann.





Abb. 11: Dieser Riesenblock von mehr als 200 t auf Bonaire wurde aus einem Wasserschwall abgesetzt und zerbrach an Ort und Stelle durch den Aufprall. Für beide Prozesse reichen Sturmwellen nicht aus, weil sie zu niedrig und vor allem zu langsam sind und eine zu kleine Wassermasse beinhalten. Das Alter der Blockablagerung wurde mit ca. 4200 BP bestimmt. Seit dieser Zeit hat sich unter dem Block – geschützt vor Verkarstung durch Niederschläge – ein „Karsttisch“ von ca. 30 cm Höhe gebildet.



Abb. 12: Ebenfalls beim Aufprall zerbrochene Blöcke im Nordwesten der Insel Kreta. Der größte wiegt um 75 t und liegt inmitten von Muschelpflastern bei 15 m ü.M und mehr als 200 m von seinem Ursprungsort, einem Kliff, entfernt. Auch diese Bewegung, datiert auf etwa 500 BP, kann nur auf einen Tsunami zurückgehen.



Abb. 13: Selbst bei den mächtigsten Blöcken, die unstrittig durch Wellen landwärts transportiert wurden, wird immer noch über den Bewegungsmechanismus – Tsunami oder Supersturm-Wellen – gestritten. Das Beispiel stammt vom Norden der Insel Eleuthera auf den Bahamas: der Block wiegt mind. 2300 t und wurde mehr als 400 m weit und mind. 20 m gegen die Schwerkraft bewegt, und zwar im letzten Interglazial bei einem Meeresspiegelstand, der hier etwa dem heutigen entsprach.

Erst jüngst in die Diskussion geraten sind merkwürdige winkel- oder parabelartige Ablagerungen im Küstenraum, die als schmale lanzenförmige Gebilde von der Küste landwärts zeigen und viele Kilometer Länge und Höhen bis mind. 200 m erreichen können. Sie werden als „Chevrons“ bezeichnet (Abb. 14). Wegen ihrer Größe und auffällig hellen Färbung (aufgrund geringer Vegetationsbedeckung als Altersindiz für nur wenige Jahrhunderte oder Jahrtausende seit Ablagerung) lassen sie sich sogar in Satellitenbildern erkennen, wodurch z.B. mittels Google Earth ihre nahezu weltweite Verbreitung belegt werden kann. Noch ist es viel zu früh, alle diese Phänomene extremen Tsunami (etwa gar aus Meteoriten-Impacts) zuzuschreiben, doch ist dieses bereits für einige Lokalisationen gelungen. Abweichungen von Hauptwindrichtungen und Dünenachsen in der Nachbarschaft, Biegungen im Längsverlauf von Chevrons, Auftreten auch in Regionen ohne Strände als Materiallieferanten, eine Mischung von chaotischen Sanden mit Muschelschalen oder Steinen und andere Indizien mehr bezeugen, dass das Chevron-Phänomen noch weit von einer befriedigenden Erklärung entfernt ist und hier größere Forschungsanstrengungen notwendig sind, an denen wir uns ebenfalls beteiligen.

Wir müssen heute akzeptieren, dass neben den lange bekannten und beschriebenen möglichen Schadenswirkungen durch Sturmfluten oder Hurrikane auch Tsunamis – entgegen bisherigen Auffassungen – eine extrem weite Verbreitung haben können selbst an Küstenstrecken, für die man wegen fehlender seismischer Unruhe solche Erscheinungen ausgeschlossen hatte (Abb. 15). Gleichzeitig mit diesen Erkenntnissen, die durch absolute Datierungen abgesichert sind, erheben sich neue Fragen, nämlich jene nach weiteren möglichen Ursachen für katastrophale Wellenereignisse an den Küsten der Erde, etwa durch Kometen- und Meteoriteneinschläge oder Gashydratausbrüche. Eine enge Verzahnung von Ursachenforschung durch Geologen, Sedimentologen, Ozeanographen oder Geomorphologen mit der Folgenforschung für Menschen und ihre Infrastruktur vornehmlich durch Geographen, also die Weiterentwicklung von der Forschung an Naturereignissen zu solchen an Naturkatastrophen ist dabei nachdrücklich zu fordern und zu fördern. Diese Vernetzung allein kann in Zukunft Schaden abwenden oder doch wenigstens begrenzen und reicht damit weit über die Grundlagenforschung in akademischen Elfenbeintürmen hinaus.





Abb. 14: Weitgehend ertrunkener und abraderter Chevron aus dem letzten Interglazial an der Leeseite der Exuma-Inseln, Bahamas.

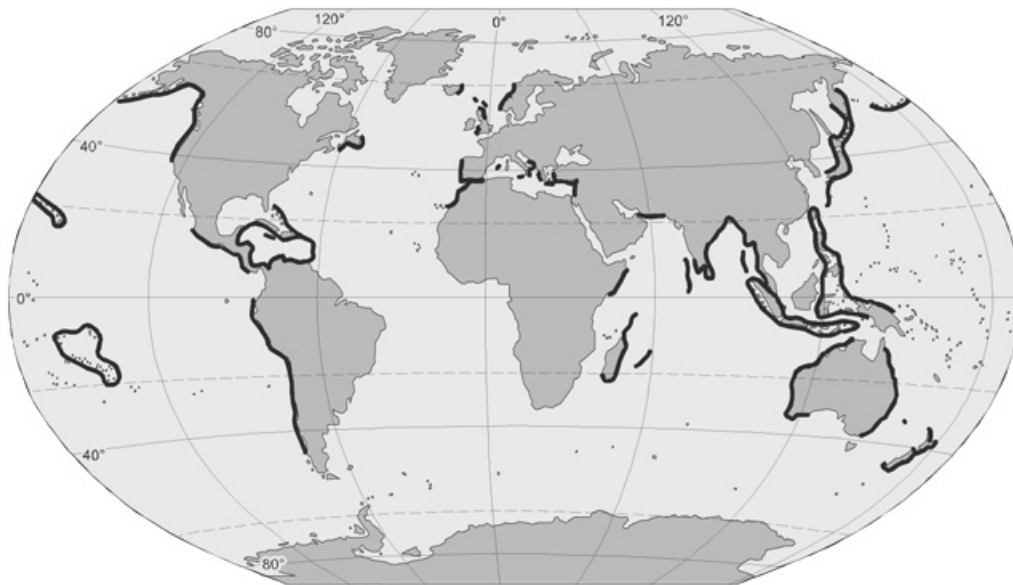


Abb. 15: Nach dem derzeitigen Wissensstand im jüngeren Holozän von starken Tsunamis betroffene Küstenregionen der Erde.

### Adresse

Prof. Dr. Dieter Kelletat  
Universität Duisburg-Essen  
Institut für Geographie  
Universitätsstraße 15  
45117 Essen

[dieter.kelletat@t-online.de](mailto:dieter.kelletat@t-online.de)



## **Vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems: Was hat sich nach 20 Jahren verändert?**

Bastian Schuchardt, Jörg Scholle, Sandra Schulze & Tim Bildstein

Bioconsult Schuchardt & Scholle GbR, Bremen

### **Abstract**

The current ecological situation of the inner estuaries of Eider, Elbe, Weser and Ems is described using the following indicators: tidal range, forland area, oxygen concentration in the water column and heavy metal concentration in sediments. The current situation is compared with the situation 20 years ago and with a historical reference situation. All estuaries are still subject to heavy stress as they were already 20 years ago. However, comparing the current situation with the situation 20 years ago different developments became evident. On the one hand, improvements can be noted in the heavy metal burden and the oxygen content in Weser and Elbe. On the other hand, there is a dramatic deterioration of the oxygen situation in the inner Ems estuary. An increase in the tidal range and destruction of foreland still takes place in the estuaries, but on a limited scale. Future prospects also appear to be contradictory; integrated management plans should be formulated.

### **1 Einleitung**

Die inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems formen einen Lebensraum ganz eigener Prägung, der vor allem durch den Salzgradienten und den Tidehub gekennzeichnet ist. Sie unterliegen trotz ihrer ökologischen Besonderheit einem starken Nutzungsdruck, der in allen Gewässern zu deutlichen Veränderungen von Struktur und Funktion geführt hat. Die einzelnen Nutzungen (vor allem Schifffahrt, Hochwasserschutz, Landwirtschaft, Abwassereinleitung) waren und sind dabei in den vier Ästuarie unterschiedlich stark wirksam (Schuchardt et al. 1999), wie dies von Lotze et al. (2006) auch bei einem Vergleich von 12 Ästuarie und Küstenmeeren weltweit gezeigt werden konnte.

1993 haben wir eine vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der tidebeeinflussten Flussunterläufe Norddeutschlands anhand der Parameter Morphologie, Vordeichsfläche, Sauerstoff-Konzentration und Schwermetallbelastung veröffentlicht (Schuchardt et al. 1993). Bei dieser Gegenüberstellung charakteristischer, die ökologische Situation prägender abiotischer Parameter sind sowohl die deutlichen Beeinträchtigungen der ökologischen Systeme verglichen mit einem historischen Referenzzustand als auch die unterschiedliche Situation in den verschiedenen Ästuarie deutlich geworden. Die Analyse basierte auf vorliegenden relativ heterogenen Daten, die überwiegend aus den Jahren 1983-88 stammten.

Seitdem, also etwa in den vergangenen 20 Jahren, haben sich die Randbedingungen in den Ästuarie in einigen Aspekten deutlich weiter verändert:

- die Ästuarie von Elbe, Weser und Ems sind weiter vertieft worden
- weitere Hafen- und Industrieansiedlungsprojekte sind realisiert worden
- die Unterhaltungsbaggermengen sind z.T. deutlich gestiegen
- es sind umfangreiche naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahmen realisiert worden
- Stoffeinträge durch Oberlieger und Direkteinleiter sind reduziert worden
- auch die inneren Ästuarie sind, v.a. im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU, großräumig unter Naturschutz gestellt worden.

Um die Konsequenzen dieser weiteren Veränderungen für die ökologische Situation der inneren Ästuarie auch vor dem Hintergrund der EU-WRRL, die die Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. Potentials bis 2015 erwartet aufzuzeigen, haben wir in der vorliegenden Arbeit den gleichen bzw. nur geringfügig modifizierten Bewertungsansatz nach ca. 20 Jahren noch einmal auf die vier Ästuarie angewendet.

## **2 Untersuchungsgebiete: die inneren Ästuarie**

Die inneren Ästuarie (zur Definition s. Fairbridge 1980) von Eider, Elbe, Weser und Ems, also der Abschnitte zwischen den heute überall vorhandenen Tidewehren als obere Grenze der Gezeiten und dem Übergang vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter als untere Grenze, sind als Lebensräume wesentlich durch den Salzgradienten und den Tidehub charakterisiert.

Während der ästuarine Salzgradient vor allem zu einer longitudinalen Zonierung von Arten und Lebensgemeinschaften führt, prägt der Tidehub wesentlich auch die laterale Abfolge (Schuchardt et al. 1999).

Die inneren Abschnitte der 4 Ästuarie sind von den anthropogenen Veränderungen deutlich stärker betroffen als die äußeren Abschnitte seewärts des Übergangs vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter, die meist als Teil des Wattenmeeres verstanden werden. In allen 4 Ästuarie fällt dieser Übergang in etwa mit dem Beginn des Mesohalinikums zusammen; die inneren Ästuarie schließen also den Bereich der ästuarischen Trübungszone und des steilen Salinitätsgradienten zumindest z.T. mit ein.

Die vier Ästuarie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Größe und ihren Oberwasserzufluss, sondern auch durch die Höhe und den longitudinalen Gradienten des Tidehubs (s.u. und Schuchardt 1995).

Alle 4 Ästuarie sind durch wasserbauliche Maßnahmen in ihrer Morphologie und Hydrodynamik deutlich verändert worden. Einen Überblick über die Maßnahmen bis 1990 geben Schuchardt et al. (1993). Seitdem ist es an der Unter- und Außenelbe und der Außenweser zu einer Vertiefung auf SKN -14,5 bzw. 14,0 m gekommen; weitere Ausbauten, auch in der Unterweser, befinden sich derzeit im Genehmigungsverfahren. Mehrere Ausbauten hat es in der Unterems gegeben, um die für die Überführung größer werdenden Werftneubauten erforderlichen Fahrwassertiefen herzustellen (s. Kuz et al. 1995); zusätzlich ist bei Gandersum ein bedarfsweise zu schließendes Sperrwerk errichtet worden (De Jonge 2007). An der Eider sind in den vergangenen 20 Jahren keine größeren Maßnahmen durchgeführt worden.

Der naturschutzrechtliche Status ist in den vier Ästuarie in den vergangenen 20 Jahren deutlich erweitert worden. Vor 20 Jahren waren es v.a. die äußeren Ästuarie, die durch die Ausweisung der Wattenmeer-Nationalparke großflächig (mit Ausnahme der Fahrrinnen der Großschifffahrt) unter Schutz standen. In den vergangenen Jahren ist v.a. im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU die Ausweisung von Schutzgebieten auch in den inneren Abschnitten der 4 Ästuarie großflächig erfolgt.

## **3 Methodik**

Es wird hier ein einfaches Bewertungskonzept angewendet, mit dem wir die ökologische Situation bereits vor ca. 20 Jahren bewertet hatten. Es greift auf wenige ausgewählte Indikatoren für den Systemzustand zurück, die zum einen zentrale Aspekte der Biotopstruktur bzw. ökosystemarer Funktionen beschreiben und zum anderen auch unmittelbar den anthropogenen Einfluss indizieren. Wesentliches Kriterium musste aus pragmatischen Gründen jedoch auch die Datenverfügbarkeit sein (s. Schuchardt et al. 1993).

Folgende Parameter werden vergleichend und bezogen auf eine historische Referenzsituation bewertet:

- Tidehub
- Größe der Vordeichsflächen
- Sommerliche Sauerstoffkonzentration im Wasser
- Schwermetallbelastung der Sedimente

Diese heterogene Parameter-Struktur war seinerzeit auch Ausdruck des Anspruchs, sowohl die Wasserqualität als auch die Gewässerstruktur in die Betrachtung einzubeziehen. Biologische Komponenten haben wir seinerzeit nicht berücksichtigt, da die Datenlage zu schmal war. Aktuell wird im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRL an Monitoring- und Bewertungskonzepten gearbeitet, so dass in Zukunft auch die Berücksichtigung der biologischen Komponenten möglich sein wird.

Der Vergleich erfolgt soweit möglich anhand quantitativer Angaben zu den einzelnen Indikatoren; z.T. sind jedoch auch nur qualitative Aussagen möglich. Dabei wird zum einen die Status quo-Situation jedes einzelnen Ästuars mit einem definierten historischen Referenzzustand, zum anderen die Status quo-Situation der 4 Ästuare untereinander verglichen. Als Bezugspunkt wird die Zeit um 1880 herangezogen (s. Schuchardt et al. 1993).

Zur Bewertung der Gewässermorphologie haben wir in der ersten Arbeit Veränderungen von Sohlagen und Querschnitten herangezogen; in der vorliegenden Arbeit nutzen wir stattdessen den Tidehub, da dieser einen sehr guten integrativen Indikator für die anthropogene Beeinflussung der Gewässermorphologie und ihre ökologischen Konsequenzen darstellt (Schuchardt 1995).

## 4 Ergebnisse

### Veränderungen des Tidehubs

#### *Indikator Tidehub*

Die aus der Nordsee in die Flussmündungen einlaufende Tidewelle ist das namensgebende (aestus = Gezeit) Charakteristikum des Ästuars. Sie kann für einen bestimmten Ort durch die Pegelstände bei Tidehochwasser (Thw) und bei Tideniedrigwasser (Tnw) beschrieben werden. Die Differenz ist der Tidehub (Thb). Die aktuellen Höhen der periodisch wiederkehrenden Pegelstände unterliegen einer größeren Zahl von aperiodischen Einflussgrößen (meteorologische Größen, Oberwasser). Um langfristige Veränderungen zu beschreiben ist es deshalb sinnvoll, auf die entsprechenden Mittelwerte (MThw, MTnw, MThb) zurückzugreifen. Dazu liegen für viele Pegel langfristige Datenreihen vor, die in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern zusammengestellt werden.

Durch die morphologische Dämpfung (Sohlrreibung, Stromspaltungen etc.) kommt es natürlicherweise zu einem stromauf zunehmenden Energieverlust des aus der Nordsee kommenden Tidesignals. Folge ist ein stromauf abnehmender Tidehub. Ausbaumaßnahmen reduzieren diese Dämpfung und führen, wie es von wasserbaulicher Seite auch gewollt ist, zu einem Anstieg des Tidehubs (Harten 1979). Dabei ist die Veränderung des Tidehubs stromauf ausgeprägter als im Mündungsbereich (z. B. Busch et al. 1984). Die Ausbaumaßnahmen umfassen nicht nur die Verbreiterung und Vertiefung der eigentlichen Fahrrinne, sondern auch deren Festlegung durch Leitdämme, Buhnen und die Verfüllung von Nebenarmen und damit die Konzentration der Stromkraft auf das Fahrwasser, wie es bereits im Rahmen des ersten Ausbaus Ende des 19. Jahrhunderts von Franzius für die Unterweser formuliert und umgesetzt worden ist.

Die wasserbaulich bedingten Veränderungen der Tideparameter in den vergangenen 120 Jahren sind dabei deutlich stärker als die durch Veränderungen des aus der Nordsee einlaufenden Tidesignals (Siefert 1982) oder die durch Oberwasser-Schwankungen zu erklärenden (Siefert & Jensen 1993). Eine Korrektur der Veränderungen der Tideparameter in den Flussmündungen um die (relativ

geringen) langfristigen Veränderungen des Tidesignals aus der Nordsee wird deshalb im Rahmen dieses Vergleichs nicht durchgeführt. Der Einfluss von Schwankungen des Oberwassers auf den Tidehub wird durch die Bildung von übergreifenden 5-Jahres-Mitteln reduziert (s. Abb. 1). Da die anthropogenen Veränderungen des Tidehubs im Ästuar-Längsschnitt jeweils unterschiedlich stark sind, werden hier Pegel verglichen, die im Bereich der maximalen Tidehubveränderung liegen.

Die Veränderung des Tidehubs stellt einen Indikator für Veränderungen der Gewässermorphologie v.a. durch Ausbauten und Küstenschutz dar. Relevant ist er auch für Veränderungen der Ausdehnung und Ausprägung von Lebensräumen wie Watten.

### *Untereider*

In der Eider ist der Tidehub von ca. 2,4 m am Pegel Tönning zum Ende des letzten Jahrhunderts auf heute 2,7 gestiegen. Am Friedrichstadt beträgt der mittlere Tidehub heute 2,3 m. In der Zwischenzeit sind jedoch Veränderungen auf 3,4 m und 1,6 m erfolgt: Nach der Errichtung des Tidewehrs Nordfeld (1936) ist es über 10 Jahre zu einer deutlichen Erhöhung des Tidehubs gekommen, da das MTnw stark absank (Wieland 1992). Von 1944-70 jedoch reduzierte sich der Tidehub von ca. 3,4 auf 1,6 m als Folge des verstärkten Sandeintriebs von unterstrom. Der heutige Tidehub an den Pegeln Friedrichstadt und Tönning ist Resultat der gezielten Flutdrosselung durch das Sturmflutsperrwerk Vollerwiek (Wieland 1992). Deshalb ist die relativ geringe Veränderung des Tidehubs um wenige Dezimeter bezogen auf die Situation um die Jahrhundertwende kein Indikator für eine wenig veränderte hydraulische (und ökologische) Situation.

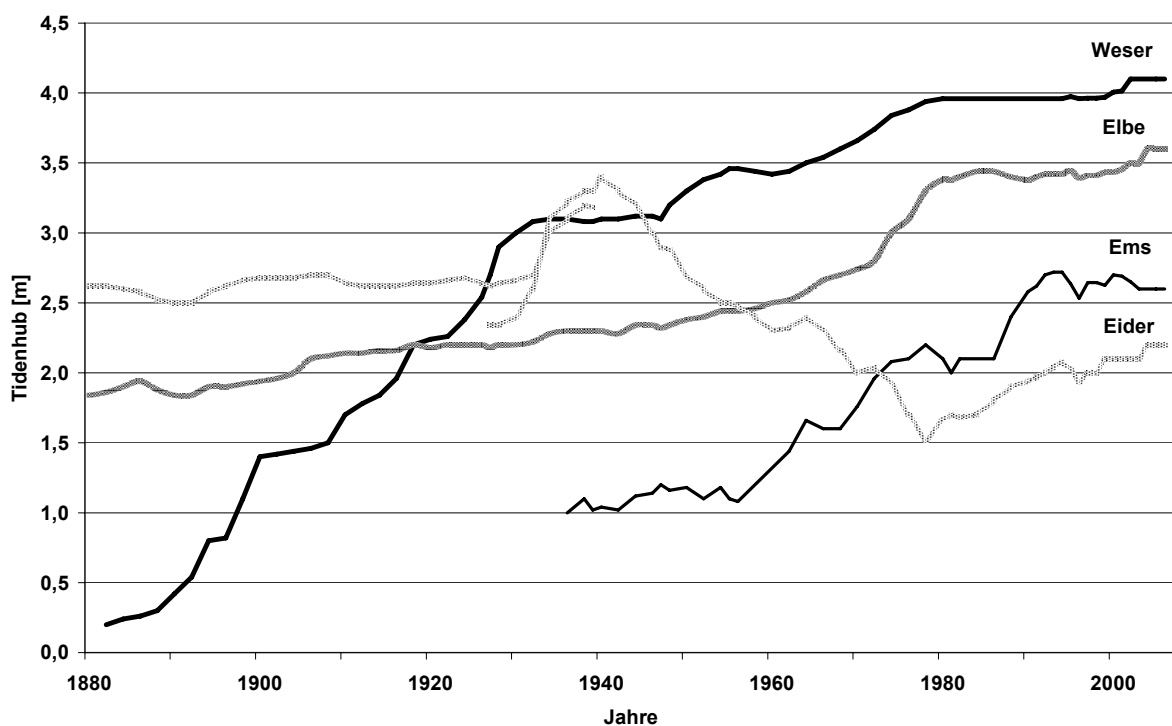


Abb. 1: Veränderungen des Tidehubs in Eider (Pegel Tönning und Pegel Friedrichstadt), Elbe (Pegel Hamburg St. Pauli), Weser (Pegel Bremen Oslebshausen) und Ems (Pegel Herbrum). Daten aus Schuchardt et al. (1993) aktualisiert nach den Gewässerkundlichen Jahrbüchern und Angaben des BSH. Dargestellt sind 5-jährige, übergreifende Mittel.

*Unterweser*

In der Unterweser hat sich der Tidehub in den vergangenen fast 130 Jahren in Bremen von 0,2 auf 4,1 m erhöht, also um den Faktor 20! Der Anstieg des Tidehubs war während der ersten drei Ausbauten zwischen 1890 und 1930 am steilsten (s. Abb. 1), durch die die Morphologie der Unterweser sehr stark verändert worden war (Busch et al. 1989). Nach ca. 1930 setzte sich der Anstieg des Tidehubs durch weitere Ausbauten fort, verlief jedoch weniger steil. Auch der (derzeit noch) letzte Ausbau der Unterweser von 1973-77 hat, verglichen mit den ersten Vertiefungen, zu einem weniger steilen Anstieg geführt. Allerdings fiel er deutlich höher aus, als im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens prognostiziert worden war (Wetzel 1987). Durch den Ausbau der Außenweser 1999 auf SKN -14,0 m und weitere Maßnahmen, wie die Verfüllung von Hafenbecken, hat sich der Tidehub weiter relativ schwach erhöht (Abb. 1); die Erhöhung entsprach überwiegend der im Genehmigungsverfahren prognostizierten (Lange 2004).

*Unterems*

In der Ems ist der Tidehub in Papenburg von ca. 1,4 m um die Jahrhundertwende über 3,1 m in den 1980er Jahren auf heute 3,5 m gestiegen, also um den Faktor 2,5 (am Tidewehr Herbrum, s. Abb. 1, ist der Anstieg etwas geringer). Anders als in der Weser war der zeitliche Verlauf (Abb. 1). Als Folge kleinerer Maßnahmen (Durchstiche) stieg der Tidehub bei Papenburg auf ca. 1,7 m bis etwa 1935. Ein deutlicher Anstieg begann erst um 1955, nachdem mit umfangreicher Unterhaltungsbaggerung begonnen worden war. Dieser steile Anstieg des Tidehubs (Abb. 1) setzte sich bis 1975 fort und stagniert dann mit der reduzierten Unterhaltungsbaggerung (Arntz et al. 1992). Eine zweite Phase mit steilem Anstieg wird dann für 1985 bis ca. 1995 deutlich, in der der Ausbau auf 5,7 m und die Anpassung an wachsende Schiffsneubau-Größen in Papenburg erfolgte. Verändert wird der Tidehub heute temporär durch den Aufstau der Unterems durch eine entsprechende Steuerung des Sturmflut- und Stauwehrs Gandersum, wenn für die Überführung von Schiffsneubauten der Wasserspiegel angehoben wird (De Jonge 2007).

*Untereibe*

In der Elbe ist der Tidehub am Pegel Hamburg-St. Pauli von 1,9 auf 3,6 m angestiegen, also um den Faktor 1,9 und damit etwas weniger stark als in der Ems. Der zeitliche Verlauf zeigt eine langsame, aber relativ kontinuierliche Zunahme ab etwa 1900 bis etwa 1960 und dann einen deutlich steileren Anstieg bis etwa 1980, also während der Vertiefungen auf SKN -11, -12 und -13,5 m. Der Ausbau auf SKN -14,5 m in 1999 führte zu einer weiteren, relativ geringen Erhöhung, die überwiegend schwächer als die im Genehmigungsverfahren prognostizierte war (Strotmann 2004). Einen Überblick über die verschiedenen Ausbaumaßnahmen gibt aktuell Hochfeld (2007).

**Reduzierung der Vordeichsfläche***Indikator Vordeichsfläche*

Das Vorland, also die zwischen Landesschutzdeich und der Linie des mittleren Tidehochwassers liegenden Flächen, stellt als Aue durch die aperiodisch auftretenden Überflutungen bei höher auflaufenden Flut- bis Sturmflutwasserständen einen bedeutsamen Teillebensraum der Ästuarie dar. Dies spiegelt sich nicht nur im Vorkommen spezifischer Biotoptypen, sondern auch in der zwischenzeitlich erfolgten großflächigen Ausweisung als FFH- bzw. EU-Vogelschutzgebiete wider. Die Vorlandflächen stellen insgesamt die vergleichsweise kleinen Reste der ursprünglich entlang der Ästuarie sehr großflächigen Aue dar, die durch die Errichtung einer geschlossenen Deichlinie seit ca. 1200 dem direkten Einfluss der Ästuarie entzogen worden sind. Die aktuelle Nutzung und Ausprägung des Vorlandes ist unterschiedlich.

Die Reduzierung der Vordeichsflächen stellt einen Indikator für einen Lebensraumverlust v.a. durch Küstenschutz, Landwirtschaft, Industrie- und Siedlungsentwicklung und Ausbauten dar. Relevant ist

er auch für Veränderungen der Sturmflut- und Schwebstoffdynamik sowie die Kapazität zur Nährstoffrückhaltung.

### *Untereider*

Der Deichbau in der Eiderniederung begann etwa um 1500; erst zum Ende des 19. Jahrhunderts war die Deichlinie geschlossen. Seitdem sind die Deichlinien nur noch wenig verändert worden. In Teilbereichen ist ein Zuwachs an Vordeichsflächen Folge des starken Sandeintriebs (s.o.) zu beobachten. Ein Vergleich der topographischen Karten von 1889 und 1977 zeigt, dass die Vordeichsflächen zwischen Tönning und Nordfeld (Tidewehr) sich nicht wesentlich verändert haben. Anders sieht es im Bereich stromab von Tönning aus (also unterhalb unseres Betrachtungsraumes): Hier ist durch die Errichtung des Eidersperrwerks zu Lasten von Wattflächen zu einer starken Zunahme von Vorland gekommen.

### *Untereibe*

Zwischen 1896/1905 und 1981/82 ist die Fläche der Vordeichsmarschen am Nordufer der Untereibe zwischen Altona und Brunsbüttel um ca. 52 % und am Südufer zwischen Elbbrücken und Cuxhaven um ca. 75 % (insgesamt ca. 66 %) verringert worden (ARGE Elbe 2004). Wesentliche Ursache waren die umfangreichen Vordeichungen, die nach der schweren Sturmflut von 1962 durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang sind auch an allen Nebenflüssen Sturmflutsperrwerke errichtet worden; meist verbunden mit Vorverlegungen der Deichlinie. Bei diesen Vordeichungen nach 1962 wurden nicht nur große Teile der Vordeichsflächen mit ihren Graben- und Prielsystemen dem Tideeinfluss entzogen, sondern auch verschiedene Nebengewässer (bekanntestes Beispiel ist die Haseldorfer Binnenelbe). In den vergangenen Jahren sind im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen mehrere Sommerdeiche geöffnet worden, so dass auf den verbliebenen Vordeichsflächen örtlich die Vernetzung mit der Elbe wieder verbessert worden ist. Aktuell werden im Rahmen des „Tide-Elbe-Konzepts“ großräumige Rückdeichungen diskutiert (Hochfeld 2007).

### *Unterweser*

Zwischen 1887 und 1975 ist die Fläche zwischen den Winterdeichen von 133 auf 78 km<sup>2</sup> verringert worden; der Verlust an Vordeichsfläche hat ca. 50 % betragen (Schuchardt et al. 1993). Für die Röhrichtflächen eines Abschnitts des westlichen Ufers der Unterweser haben Heinrich & Mühlner (1980) die Verluste zwischen 1922 und 1979 mit 46 % quantifiziert.

Ursachen der Verluste waren Verkürzungen der Deichlinie, Abtrennung und Verfüllung von Nebenarmen, Industrieansiedlungen und in den 1970er Jahren Verlegung von Deichlinien im Zusammenhang mit der Errichtung von Sperrwerken an den Nebenflüssen. Der Anstieg des MThw hat dagegen nicht zu einem weiteren Rückgang der Röhrichtflächen beigetragen, wie für den Zeitraum zwischen 1950 und 2002 ermittelt worden ist (Steege et al. 2005). Aktuell werden für die Erweiterung des Hafens Brake Vordeichsflächen in Anspruch genommen. Auf der Luneplate bei Bremerhaven soll im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen ein Polder hinter dem Winterdeich dagegen steuerbar für die Tide geöffnet werden; Öffnungen von Sommerdeichen und die Entwicklung von Tidepoldern haben an mehreren Stellen stattgefunden; weitere sind in Vorbereitung.

### *Unterems*

In der Unterems lassen sich bzgl. des Verlustes von Vordeichsflächen zwei Abschnitte unterscheiden. Während im Abschnitt stromab von Papenburg die Vordeichsfläche kaum verändert worden ist, ist es stromauf von Papenburg durch den Deichbau 1966 zu deutlichen Verlusten gekommen. Die Vordeichsfläche (vor dem Winterdeich, also inklusive Sommerpolder) ist um ca. 70 % verkleinert worden. Bezogen auf die gesamte Vordeichsfläche bedeutet dies einen Rückgang von ca. 33 % (Schuchardt et al. 1993). In jüngerer Zeit sind kleinere Flächen u.a. durch die Errichtung des Emssperrwerks in Anspruch genommen worden. Eine aktuelle Bilanzierung im Rahmen des Interreg-

Projekts HARBASINS von Herrling & Niemeyer (2007) hat für den Abschnitt zwischen Papenburg und Pogum für den Zeitraum 1898 bis 2005 einen Verlust von supratidalen Lebensräumen von ca. 20 % ergeben.

## **Sommerliche Sauerstoffkonzentration im Wasser**

### *Indikator Sauerstoffkonzentration*

Die sommerliche Sauerstoff-Konzentration im Wasser stellt einen Indikator für die Belastung mit sauerstoffzehrenden Substanzen und Eutrophierung v.a. durch direkte und diffuse Einleitungen, Baggergutumlagerung und besonders auch Veränderungen der Gewässermorphologie dar und ist ein ökologischer Schlüsselfaktor, der für die Struktur der Biozönose entscheidend ist. Für die inneren Ästuare sind Sauerstoffmangelsituation, die deutlich über die natürlicherweise zu erwartenden hinausgehen (Flügge et al. 1989), dokumentiert. Während die Einleitung sauerstoffzehrender Substanzen v.a. in den 1980er Jahren durch den Ausbau von Kläranlagen deutlich reduziert worden ist, ist der Aspekt der „Sekundärverschmutzung“, also der Eintrag von Phytoplankton aus den Mittelläufen und das Absterben im Tidebereich relevanter geworden, wo die Vertiefungen eine positive Netto-Primärproduktion erschweren (Schuchardt & Schirmer 1991; ARGE Elbe 2004).

### *Untereider*

In der Untereider sind für die 1960er Jahre sommerliche Sauerstoff-Sättigungen von 55-90 % dokumentiert (Kühl & Mann 1971). Nach dem Ausbau der Kläranlage der Stadt Tönning sind in den 1980er Jahren bis heute Sättigungen unter 70 % kaum aufgetreten (allerdings geringe Datenlage, da nur Einzelmessungen; Daten: LANU Kiel).

### *Untereibe*

Die Sauerstoff-Konzentrationen in der Untereibe sind seit den 1950er Jahren sehr gut dokumentiert ([www.arge-elbe.de](http://www.arge-elbe.de)). Im oberen Bereich der Untereibe können die Sauerstoff-Konzentrationen im Sommer stark vermindert sein. In den 1980er Jahren wurden über größere Strecken Konzentrationen von unter 3 und auch unter 1 mg/l gemessen; seit den 1990er Jahren waren Konzentrationen unter 3 mg/l räumlich und zeitlich deutlich reduziert (ARGE Elbe 2004). Entlastend wirkte v.a. die reduzierte Primärverschmutzung durch den Ausbau der Kläranlagen in Hamburg und nach der Wiedervereinigung in der Ober- und Mitteleibe; belastend wirkten die reduzierte toxische Hemmung der planktischen Primärproduktion in der Mitteleibe und die dadurch vermehrte Sekundärverschmutzung in der Untereibe und weitere Maßnahmen wie die Verfüllung des Mühlenberger Lochs und, dies ist allerdings strittig, der weitere Ausbau der Untereibe (s. ARGE Elbe 2004; Neumann 2004). Aktuell scheint es nicht sicher, wie sich die dokumentierte Verbesserung der Sauerstoff-Konzentrationen weiter entwickelt.

### *Unterweser*

Auch in der Unterweser wurden vor ca. 1985 ausgedehnte Sauerstoff-Mangelsituationen mit Konzentrationen unter 2 mg/l dokumentiert; seit 1985 (Ausbau der Kläranlage Bremen), sind die Mangelsituationen deutlich reduziert (Schuchardt et al. 1989; Grabemann et al. 1990). Dies hat sich in den 1990er Jahren und danach nicht deutlich verändert (Grabemann et al. 2005); Sauerstoff-Konzentrationen unter 4 mg/l treten kaum auf.

### *Unterems*

Die Sauerstoff-Konzentrationen in der Unterems haben sich seit Mitte der 1980er Jahre deutlich verändert; durch den Aufbau eines umfangreichen Messnetzes ist diese Veränderung auch gut belegt. Engels (2007) zeigt die deutliche räumliche und zeitliche Ausdehnung der sommerlichen Sauerstoff-Defizite im Bereich Leer. Auch die Intensität der Defizite hat zugenommen: die Minima haben sich in



den vergangenen 20 Jahren von ca. 6 auf unter 2 mg/l verstärkt. Auch Schöl et al. (2007) zeigen für die Messstationen Papenburg, Leerort und Terborg, dass es zu einer deutlichen Verschlechterung der Sauerstoffsituation im Ems-Ästuar gekommen ist. So treten seit Mitte der neunziger Jahre vermehrt Sauerstoffgehalte unter 4 mg/l auf; auch Konzentrationen unter 1 mg/l werden gemessen. Als wesentliche Ursachen sind die extreme Zunahme der Schwebstoff-Konzentrationen v.a. als Folge der starken Vertiefungen der inneren Ems für Schiffsüberführungen und die intensive Baggergutumlagerung identifiziert worden (Schöl et al. 2007; De Jonge 2007).

## **Schwermetallbelastung der Sedimente**

### *Indikator Schwermetalle*

Die Schwermetallbelastung der Sedimente stellt einen Indikator für die Schadstoffeinträge in das Gewässer v.a. durch direkte und diffuse Einleitungen dar. Als Stichworte für die mit erhöhten Konzentrationen verbundenen ökologischen Probleme seien hier nur die Stichworte Toxizität, Akkumulation und Persistenz genannt. In allen Gewässern zeigen sich gegenüber dem geochemischen Background erhöhte Konzentrationen; in den Ästuaren sind stromab abnehmende Konzentrationen charakteristisch, die wesentlich das Produkt der Vermischung von höher belasteten flussbürtigen und geringer belasteten marinen Sedimenten reflektieren (Ackermann 1998).

Die Zusammenstellung der Schwermetallkonzentrationen aus den 1980er Jahren (Schuchardt et al. 1993) zeigt für die verschiedenen Ästuar und die einzelnen Schwermetalle deutliche Unterschiede in der Überschreitung der natürlichen Hintergrundwerte. In der Untereider betragen die Überschreitungen Faktor 2-3; in der Unterelbe Faktor 3-30, in der Unterwese Faktor 8-40 und in der Unterems Faktor 2-3.

Seit etwa dem Ende der 1980er Jahre ist es v.a. in Elbe und Weser aber auch in der Ems in der Folge verstärkter Anstrengungen im Gewässerschutz zu einer deutlichen Reduzierung der Schwermetallbelastung sowohl in den Schwebstoffen als auch (abgeschwächt) in den Sedimenten gekommen (Steffen & Rischenbieter 1998, Bakker et al. 2005; die Daten werden hier aus Raumgründen nicht wiedergegeben). Die Reduzierung war in der Elbe noch deutlicher als in der Weser, v.a. als Folge der Wiedervereinigung. Dies hat auch zu einer deutlichen Reduzierung der Schwermetall-Einträge in die Nordsee, z.T. um den Faktor 3, geführt (Bakker et al. 2005).

## **5 Vergleichende Bewertung**

Die Situation für die 4 Indikatoren in den 4 Ästuaren hatten wir in den 1980er Jahren mit einem einfachen 5-stufigen Bewertungsansatz als Abweichung von der historischen Referenzsituation bewertet (Schuchardt et al. 1993). Die Einschätzungen sind in Tab. 1 wiederholt (Abweichungen gibt es durch den Wechsel des Indikators für die Morphologie von Querschnitten zum Tidehub (s.o.)). Tab. 1 gibt ebenfalls die Einschätzungen der aktuellen Situation 20 Jahre später wieder, die wir auf der Grundlage der in Kap. 4 skizzierten aktuellen Daten- und Literaturlage getroffen haben. Der sich dadurch ergebende Vergleich der ökologischen Situation der 4 Ästuar über die letzten 20 Jahre macht deutlich, dass die von uns zum Ende der 1980er Jahre identifizierten Problemfelder (verglichen mit einer historischen Referenzsituation) grundsätzlich die Gleichen geblieben sind, dass aber für die einzelnen Indikatoren in den verschiedenen Ästuaren unterschiedliche Entwicklungen stattgefunden haben:

*Tidehub:*

- 1880-1987: massiver Anstieg des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Elbe, Weser und Ems v.a. durch Ausbauten;
- 1987-2007: Fortsetzung des Anstieg des Tidehubs, allerdings deutlich abgeschwächt;
- keine Veränderung bei der Zustandsbewertung.

*Größe der Vordeichsfläche:*

- 1887-1987: starke Verluste an Vordeichsflächen, v.a. an der Unterelbe durch Vordeichungen;
- 1987-2007: weitere, relativ schwache Verluste, v.a. durch Hafenerweiterungen etc.; parallel Funktionsveränderung (ökologische Aufwertung) durch Öffnung von Sommerpoldern;
- keine Veränderung bei der Zustandsbewertung.

*Sommerliche Sauerstoff-Konzentrationen im Wasser:*

- 1887-1987: starke Defizite an der Unterelbe; etwas schwächer an der Unterweser;
- 1987-2007: Entstehung sehr starker Defizite an der Unterems, leicht abgeschwächte Defizite an Weser und Elbe;
- um 2 Stufen verschlechterte Zustandsbewertung für die Unterems v.a. als Folge der Vertiefungen; um eine Stufe verbesserte Bewertung für Weser und Elbe; keine Veränderung der Bewertung für die Untereider.

*Schwermetallbelastung der Sedimente:*

- 1887-1987: starke bis sehr starke Erhöhung gegenüber natürlichen Hintergrundwerten in allen Ästuaren; v.a. in Elbe und Weser;
- 1987-2007: weniger starke bis starke Erhöhung, also deutliche Reduzierung der Belastung;
- um 2 Stufen für die Weser und um eine Stufe für Ems und Elbe verbesserte Zustandsbewertung v.a. als Folge vermehrter Anstrengungen im Gewässerschutz.

Für die 4 hier verglichenen, insgesamt stark überformten inneren Ästuare von Eider, Elbe, Weser und Ems (die im System der Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL) vorläufig auch als „erheblich veränderte Wasserkörper“ klassifiziert sind) lässt die vergleichende Bewertung für die Umweltsituation unterschiedliche Entwicklungen für die vergangenen zwei Dekaden deutlich werden.

Tab. 1: Übersicht über die Bewertungen für die 4 Indikatoren in den 4 Ästuaren bezogen auf die historische Referenzsituation. Die jeweils stärkste Verformung ist fett gedruckt. Bewertungsstufen: keine; gering; weniger stark; stark; sehr stark.

Indikator	Eider bis 1987	Eider 1987-2007	Elbe bis 1987	Elbe 1987 - 2007	Weser bis 1987	Weser 1987 - 2007	Ems bis 1987	Ems 1987 - 2007
Tidehub	gering	gering	stark	stark	<b>sehr stark</b>	<b>sehr stark</b>	stark	stark
Vordeichsfläche	keine	keine	<b>sehr stark</b>	<b>sehr stark</b>	stark	stark	weniger stark	weniger stark
Sauerstoffdefizit	gering	gering	<b>sehr stark</b>	stark	stark	weniger stark	weniger stark	<b>sehr stark</b>
Schwermetalle	weniger stark	weniger stark	<b>sehr stark</b>	stark	<b>sehr stark</b>	weniger stark	stark	weniger stark

In den als Großschiffahrtswegen genutzten Ästuaren Elbe und Weser wurde und wird die morphologische Deformation durch weitere Ausbaumaßnahmen fortgesetzt; der Tidehub hat sich in der Folge weiter, wenn auch relativ schwächer, verstärkt. Das gilt auch, allerdings in deutlich stärkerem Maße, für das Emsästuar als Folge mehrerer Vertiefungen, um größere Schiffseinheiten zur Küste überführen zu können. Neben den Konsequenzen für die Lebensräume Wattflächen und Flachwasserzonen ist besonders der Aspekt der Zunahme des flutstromorientierten Sedimenttransportes oberhalb der Trübungszone (Sohrmann 2006; de Jonge 2007) von Bedeutung. Vermehrter Unterhaltungsaufwand und verstärkte Trübung können die Konsequenzen sein, die, parallel zu weiteren Ausbau-Planungen, Überlegungen zu umfangreichen Gegenmaßnahmen aktuell werden lassen (u.a. Hochfeld 2007). Diese schließen für einzelne Aspekte wie Wiederherstellung von Flutraum an Konzepte der Umweltverbände (Claus 1998) an.

Die Ausdehnung von Vordeichsflächen hat sich in den Ästuaren in den vergangenen 20 Jahren nur relativ wenig weiter verändert; Grund ist v.a. der Verzicht auf weitere großräumige Vordeichungen wie sie v.a. an der Elbe in den 1970er Jahren erfolgten. Allerdings gibt es weitere Verluste v.a. durch Hafenausbauten und Industrieansiedlung; weitere sind geplant. Dem stehen örtliche ökologische Aufwertungen u.a. durch die Öffnung von Sommerdeichen gegenüber. Die großflächige Unterschutzstellung der Vordeichsflächen und die steigende Erfordernis nach Flutraum und einem Mitwachsen der Vorlandflächen (auch vor dem Hintergrund des Klimawandels Schuchardt & Schirmer 2005) werden hier zukünftig voraussichtlich vermehrt Maßnahmen wie Sommerdeichöffnungen und Deichrückverlegungen erfordern.

Die Bemühungen um einen verstärkten Gewässerschutz in den vergangenen Jahrzehnten zeigen sich auch in den inneren Ästuaren. Durch den Ausbau der Kläranlagen sind sauerstoffzehrende Prozesse reduziert worden; eine Entlastung ist für die Weser und abgeschwächt auch für die Elbe erkennbar, wo die Defizite gerade in den letzten Jahren noch stark waren. Eine deutliche Veränderung in der Gewässergüte (Indikator Sauerstoff) in den vergangenen 20 Jahren ist für das Emsästuar offensichtlich. V.a. als Folge der Vertiefungsmaßnahmen ist es zu einer dramatischen Akkumulation von Schwebstoffen und in der Folge zu massiven Sauerstoffmangelsituationen gekommen. Hier besteht noch deutlich stärker als in der Unterelbe akuter Sanierungsbedarf.

Bei den Schwermetallen als Indikator der Wasserqualität ist insgesamt eine Verbesserung der Belastungssituation aufgrund der verstärkten Bemühungen um den Gewässerschutz festzustellen.

## **6 Fazit**

Die vergleichende Bewertung hat deutlich gemacht, dass neben einer Reihe von Verbesserungen weiterhin z.T. akuter Handlungsbedarf besteht. Dieser liegt u.E. v.a. in Maßnahmen zur Reduzierung der Sauerstoff-Defizite und des tidal pumping in Ems und Elbe, der Sicherung und Wiederherstellung von Nebenarmen mit ihren Flachwasserzonen sowie der Wiederherstellung von ästuartypischen Lebensräumen im Vorland aller Ästuare.

Dieser und weiterer Handlungsbedarf, die aufgrund der Globalisierung zunehmende ökonomische Bedeutung der Ästuare, die auch ökonomischen Konsequenzen eines intensivierten Stromauf-Transports von partikulärem Material, die Umsetzung von EU-Richtlinien (WRRL, FFH) und die erforderliche Anpassung an den Klimawandel machen es sinnvoll und erforderlich, die zu erwartenden bzw. erforderlichen zukünftigen Maßnahmen und widersprüchlichen Perspektiven über ein Integriertes Küstenzonenmanagement in Form integrierter Managementpläne aufeinander abzustimmen und dabei auch langfristige Konsequenzen aktueller Aktivitäten angemessen zu berücksichtigen.

## Literatur

- ARGE Elbe (2004): Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Elbe (ARGE ELBE), Hamburg, 11 S.
- Arntz, W., C. Schadwinkel, C.-P. Günther & H. Meinken (1994): Fischereibiologisch-fischereiwirtschaftliches Gutachten. Im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Emden (unveröff.).
- Bakker, J. F., M. v.d. Heuvel-Greve & D. Vethaak (2005): Natural Contaminants. In: Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystems 19, 86-100.
- Busch, D., M. Schirmer, B. Schuchardt & P. Ullrich (1989): Historical changes of the River Weser. In: Petts, G.E., A.L. Roux & H. Möller (eds.): Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe. J. Wiley & Sons, Chichester, 297-321.
- Claus, B. (1998): Länderübergreifendes Schutzkonzept für die Ästuarie von Elbe, Weser und Ems. Studie des WWF und des BUND, 237 S.
- De Jonge, V. (2007): Long term changes in the in turbidity gradient of the of Ems estuary and and its ecological consequences.- Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden. ([www.phys.uu.nl/~talke/Ems/](http://www.phys.uu.nl/~talke/Ems/)).
- Engels, A. (2007): Seasonal and tidal variation of oxygen and salinity in the river Ems.- Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden. ([www.phys.uu.nl/~talke/Ems/](http://www.phys.uu.nl/~talke/Ems/)).
- Fairbridge, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E. & I. Cato (eds.): Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. J. Wiley & Sons, Chichester, 1-35.
- Flügge, G., T. Gaumert & M. Bergmann (1989): Gewässergütekriterien und Bewirtschaftungsmodelle für die Tideelbe.- Studie der Wassergütestelle Elbe im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 247 S.
- Grabemann, I., H. Kühle, B. Kunze, A. Müller & L.J.R. Neumann (1990): Studies on the Distribution of Oxygen and Nutrients in the Weser Estuary. In: Michaelis, W. (ed.): Estuarine Water Quality Management.- Coastal and Estuarine Studies 36, Springer-Verlag, Berlin, 341-344.
- Grabemann, H.-J., I. Grabemann & A. Müller (2005): Die Auswirkungen eines Klimawandels auf Hydrografie und Gewässergüte der Unterweser. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.) Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweseregion. Springer-Verlag, Heidelberg, 59-77.
- Harten, H. (1979): Ausbaumaßnahmen in Tideästuarien der deutschen Nordseeküste und die Auswirkungen auf das Tidegeschehen. Die Küste 34, 150-158.
- Heinrich, T. & G. Mühlner (1980): Beurteilung der Röhrichtbestände an der Unterweser im Bereich des Landkreises Wesermarsch im Hinblick auf ihre Schutzwürdigkeit. Landkreis Wesermarsch, Amt für Landschaftspflege, unveröff.
- Herrling, G. & H. D. Niemeyer (2007): Long-term Areal Development of Habitats in the Ems-Dollard Estuary. HARBASINS Report. ([www.harbasins.org](http://www.harbasins.org)).
- Hochfeld, B. (2007): Zukunft Tideelbe. Seevögel 2007, 28, 1/2, 30-34.
- Kuz, D., W. Herr, B. Greuner & H. Bröring (1995): Bedarfsweise der Ems zwischen Papenburg und Emden. Hansa 132, 6, 53-69.
- Kühl, H. & H. Mann (1981): Main characteristics of the environment and zooplankton of Eider, Elbe, Weser and Ems. In: Dankers, N., H. Kühl & W.J. Wolff (eds.): Invertebrates of the Wadden Sea. Marine Zoology 4, 143-145.
- Lange, D.(2004): Auswirkungen auf Hydrologie und Morphologie. Vortrag auf dem Fachseminar „Der SKN - 14 m-Ausbau der Außenweser und seine Auswirkungen auf die Umwelt“ am 20.4.2004 in Bremerhaven.
- Lotze, H.K., H.S. Lenihan, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R.G. Cooke, M.C. Kay, S.M. Kidwell, M.X. Kirby, C.H. Peterson & J.B.C. Jackson (2006): Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. Science 312, 1806-1809.
- Neumann, L.J.R (2004): Fachthema Weitere hydrologische Parameter.- Vortrag auf dem Kolloquium am 21.9.2004 in Hamburg: Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Ergebnisse der Beweissicherung ([www.bs-elbe.de](http://www.bs-elbe.de)).
- Schöl, A., C. Günster, W. Krings, V. Kirchesch & W. Rätz (2007): Interrelations between oxygen concentration and suspended particulate matter (SPM) distribution in the Ems Estuary. Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden. ([www.phys.uu.nl/~talke/Ems/](http://www.phys.uu.nl/~talke/Ems/)).
- Schuchardt, B., M. Müller & M. Schirmer (1989): Veränderungen im Sauerstoff-Haushalt der Unterweser nach der Reduzierung kommunaler und industrieller Einleitungen. Dt. Gewässerkundl. Mitt. 33, 3/4, 98-103.

- Schuchardt, B. & M. Schirmer (1991): Phytoplankton maxima in two coastal plain estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.* 32, 187-206.
- Schuchardt, B., M. Schirmer & B. Jathe (1993): Vergleichende Bewertung des ökologischen Zustands der tidebeeinflussten Flussunterläufe Norddeutschlands. *Jb. Natursch. Landschaftspfl.* 48, 137-152.
- Schuchardt, B. (1995): Die Veränderung des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems. Ein Indikator für die ökologische Verformung der Gewässer. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 27, 6, 211-217.
- Schuchardt, B., M. Schirmer, G. Janssen, S. Nehring & H. Leuchs (1999): Estuaries and Brackish Waters. In: de Jong, F. et al. (eds.): *Wadden Sea Quality Status Report.- Wadden Sea Ecosystem* 9, 175-186.
- Schuchardt, B. & M. Schirmer (2005) (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweseregion.* Springer-Verlag, Heidelberg, 341 S.
- Siefert, W. (1982): Bemerkenswerte Veränderungen der Wasserstände in den deutschen Tideflüssen. *Die Küste* 37, 1-37.
- Siefert, W. & J. Janssen (1993): Fahrrinnenvertiefungen und Tidewasserstände in der Elbe. *Hansa* 130, 10, 119-125.
- Sohrmann, A. (2006): Elbe Ästuar: Analyse Ist-Zustand und historische Zustände.- Vortrag auf dem Kolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg und der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Erfahrungsaustausch zur Untersuchung und Einschätzung von Transportprozessen in Ästuaren und Wattgebieten und zum Sedimenttransport in Tidegewässern“ am 08.11.2006 in Hamburg. ([www.baw.de](http://www.baw.de)).
- Steege, V., F. Brüning, U. Köhler-Loum, J.L. Ringot & T. Schikorre (2005): Die Ausdehnung der Ufervegetation an Unter- und Außenweser vor dem Hintergrund steigender Hochwasserstände – Luftbildinterpretationen über den Zeitraum 1950 –2002.- Tagungsbericht 2005 der DGL und SIL, 144-148.
- Strotmann, T. (2004): Fachthema Wasserstandsentwicklung. Entwicklung der Wasserstände in der Unter- und Außenelbe.- Vortrag auf dem Kolloquium am 21.9.2004 in Hamburg: Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Ergebnisse der Beweissicherung. ([www.bs-elbe.de](http://www.bs-elbe.de)).
- Steffen, D. & D. Rischbieter (1998): Trendbeobachtung über die Belastung von Gewässersedimenten mit Schwermetallen – Zeitraum 1986 bis 1996.- Niedersächsisches Landesamt für Ökologie Hildesheim. *Oberirdische Gewässer* 8/98, 88 S.
- Wetzel, V. (1987): Der Ausbau des Weserfahrwassers von 1921 bis heute. *Jb. Hafenbautechnische Gesellschaft* 42, 83-105.
- Wieland, P. (1992): Deichschutz und Binnenentwässerung im Eidergebiet. In: DVWK (Hrsg.): *Historischer Küstenschutz*, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 463-486.

## Adresse

Dr. Bastian Schuchardt  
Dipl.-Biol. Sandra Schulze  
Dipl.-Geogr. Tim Bildstein  
BioConsult Schuchardt & Scholle GbR  
Reeder Bischoff Str. 54  
D-28757 Bremen

[schuchardt@bioconsult.de](mailto:schuchardt@bioconsult.de)  
[schulze@bioconsult.de](mailto:schulze@bioconsult.de)  
[bildstein@bioconsult.de](mailto:bildstein@bioconsult.de)

Dipl.-Biol. Jörg Scholle  
BioConsult Schuchardt & Scholle GbR  
Klenkendorf 5  
D-27442 Gnarrenburg

[scholle@bioconsult.de](mailto:scholle@bioconsult.de)



## **Analyse und Bewertung 'erheblich veränderter Küstengewässer' im Kontext der Wasserrahmenrichtlinie – das Beispiel Kieler Förde**

Achim Daschkeit<sup>1</sup>, Horst Sterr<sup>2</sup>, Klaus-Gerhard Kirstein<sup>2</sup> & Peter Krost<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Umweltbundesamt, Deutschland

<sup>2</sup> Universität Kiel, Geographisches Institut, Deutschland

<sup>3</sup> Coastal Research & Management, Deutschland

### **Abstract**

In Schleswig-Holstein some coastal waters are classified as so-called "heavily modified water bodies" (in sense of the EU-Water Framework Directive). The following article describes hydromorphological changes of the Kiel Fjord of the last 150 years and its consequences for water quality. Some measures are outlined to achieve a "good ecological potential".

### **1 Einleitung**

Nach der im Jahre 2000 verabschiedeten Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist der "gute ökologische und chemische Zustand" das Ziel für alle Gewässer im Bereich der EU. In manchen Fällen sind Gewässer allerdings so stark morphologisch und strukturell verändert, dass eine Rückkehr zu einem „guten ökologischen Zustand“ ohne gravierende Auswirkungen für das Wirtschafts- und Sozialleben kurz- und/oder mittelfristig nicht zu erreichen ist. Für derartige Fälle, nämlich für „künstliche und/oder erheblich veränderte Gewässer“ (im Folgenden HMWB – heavily modified water bodies), können entsprechend der WRRL (gem. Art. 4, (5)) deutlich weniger strenge Umweltziele festgelegt werden. Zielzustand für derartige Gewässer ist das so genannte „ökologische Potenzial“, also der bestmögliche Zustand, der unter den gegenwärtigen Bedingungen zu erreichen ist. Für Küstengewässer sind zur Ausweisung von erheblich veränderten Gewässern u. a. folgende Kriterien heranzuziehen:

- Schifffahrt und Unterhaltung von Schifffahrtsstraßen,
- Küstenschutzbauwerke mit starkem hydrologischen und morphodynamischen Einfluss,
- starker Küstenverbau mit Hafenanlagen, Industrie, Spundwänden, Seebrücken, etc.

Im Bereich der schleswig-holsteinischen Ostseeküste wurden zwei Küstengewässer als „erheblich verändert“ ausgewiesen. Es handelt sich um den Wasserkörper B2.9610.09.01, die Innere Kieler Förde, und um die Wasserkörper B2.9610.10.01 und B2.9610.10.03, den Unterlauf der Trave mit Ausnahme des Dassower Binnensees und der Pötenitzer Wik. Beide Gewässer sind im Flusseinzugsgebiet Schlei/Trave, in den Teileinzugsgebieten Kossau/Oldenburger Graben sowie Trave gelegen, und beide wurden in ihrem Wesen durch den starken Verbau durch Hafenanlagen, Werften und Spundwänden sowie durch die Nähe urbaner Strukturen nachhaltig strukturell und morphologisch verändert (Landesinterner Bericht 2004). Durch die intensive anthropogene Nutzung sind die meisten Abschnitte sowohl der Kieler Innenförde als auch der unteren Trave stark überprägt worden: Uferschutz, Werft- und Kaianlagen, Sportboot- bzw. Yachthäfen sind einige Elemente, die verdeutlichen, dass diese Gewässer schon lange keine natürliche Entwicklung mehr durchlaufen. Dabei sind die Auswirkungen der Nutzungen oft nur teilweise bekannt.

Ziel eines vom Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) finanzierten Projektes war es, das Potenzial für den guten bzw. den bestmöglichen ökologischen Zustand für diese Gewässer herauszuarbeiten. Dafür wurde zunächst eine Analyse und Bewertung der Umweltsituation der

Gewässer sowie eine Abschätzung der Wirkungen der die Gewässer umgebenden Nutzungen durchgeführt; aufbauend auf den Erfahrungen im Sinne eines IKZM-Ansatzes (Daschkeit & Sterr 2003) wurde im weiteren Verlauf der Studie die Frage der Integration resp. Abwägung konkurrierender Nutzungsansprüche behandelt.

Im Folgenden werden einige Ergebnisse exemplarisch am Beispiel der Kieler Förde betrachtet; hierzu wird auf die historische Entwicklung des Gewässers sowie der angrenzenden Gebiete fokussiert, um in qualitativer Form Aussagen zum Referenzzustand abzuleiten und im Ansatz der Frage nachzugehen, ob und inwieweit hydromorphologische Veränderungen auf die Qualität des Gewässers durchgeschlagen haben. Im Anschluss werden dann Aussagen in Bezug auf die morphologische Struktur sowie die ökologische Situation getroffen. In diesem Zusammenhang wird auf Nutzungsansprüche in Bezug auf die Gewässer hingewiesen, sowie auf derzeitige bzw. absehbare Nutzungskonflikte. Anschließend werden Aussagen zum guten bzw. maximalen ökologischen Potential der Gewässer getroffen sowie Vorschläge für diesbezügliche Maßnahmen angeführt (zum Kontext der Studie sowie zum methodischen Vorgehen im Detail vgl. Daschkeit et al. 2007).

## 2 Methodik und historische Entwicklung der Kieler Förde

Für das methodische Vorgehen sind zwei Punkte von Bedeutung: Zum einen die Ableitung von Aussagen zu Referenzzuständen von HMWBs, zum anderen die damit verbundene Ableitung von Aussagen zu HMWB-Entwicklungszielen. In Bezug auf die Referenzzustände der Gewässer wäre es prinzipiell hilfreich, wenn ein Gewässerzustand bekannt wäre, der in Analogie zur potenziellen natürlichen Vegetation einen Zustand beschreibt, wie er ohne anthropogenen Einfluss vorstellbar wäre; dieser (fiktive) Zustand würde sich auf die Hydromorphologie und auf die Gewässergüte beziehen. Die Beschreibung eines solchen fiktiven Zustandes liegt nicht vor, sodass man sich hilfsweise mit der Auswertung historischer Karten begnügen muss (siehe unten). Aber: Auch wenn dieser potenziell natürliche Zustand beschreibbar *wäre*, heißt das keinesfalls, dass dieser Zustand mit dem Entwicklungsziel für die Gewässer gleichzusetzen wäre. Entsprechend der Unterteilung in ein „gutes ökologisches Potenzial“ und ein „maximales ökologisches Potenzial“ gilt es, drei Aspekte differenziert zu betrachten:

1. Die Beschreibung der aktuellen ökologischen Situation der Gewässer (anhand chemisch-physikalischer Parameter sowie Fauna und Flora) in Verbindung mit veränderten hydromorphologischen Bedingungen (inkl. der Entwicklung, die zu der derzeitigen Situation geführt hat);
2. die Festlegung, was als gutes ökologisches Potenzial angesehen wird und
3. Hinweise, ob und wie ein maximales ökologisches Potenzial überhaupt erreichbar ist.

Hierbei ist zu bedenken, dass der Nachweis der Wirkung von hydromorphologischen Änderungen am Gewässer in Richtung einer Beeinflussung/Beeinträchtigung der Gewässergüte eigentlich nur dann methodisch sauber zu führen ist, wenn zeitlich gekoppelte Untersuchungen zur Hydromorphologie sowie zur Gewässergüte vorliegen – und das am besten auch noch für einen weit zurück reichenden Zeitraum; beides ist für die Kieler Förde nicht der Fall, sodass Aussagen hierzu entsprechende Unsicherheiten beinhalten.

Für die Ableitung von Entwicklungszielen (sowohl gutes als auch maximales ökologisches Potenzial) ist man eigentlich auf entsprechend valide Aussagen angewiesen, wie sie im vorherigen Absatz angesprochen wurden; ansonsten läuft die Ableitung von Aussagen zu Folgen von Maßnahmen Gefahr, spekulativ zu bleiben. Darüber hinaus ist das ökologische Potenzial unter der einschränkenden Randbedingung zu sehen, dass (i) die bestehenden Nutzungen in ihrem Kern nicht beeinträchtigt werden sollen und dass (ii) prinzipiell weit reichende Maßnahmen(vorschläge) in Richtung hydromorphologischer Änderungen theoretisch auch dazu führen könnten, dass ein HMWB-Gewässer seinen „Charakter“ als HMWB verliert.

Als Referenz für das ökologische Potenzial und als Zielzustand für die ökologische Entwicklung wurde die Orientierung der Kieler Förde am Naturzustand gewählt. Folgende Gründe waren dafür ausschlaggebend:

- Trotz der starken Verbauung der Förde sind noch Räume vorhanden, die eine naturnahe Entwicklung möglich erscheinen lassen.
- Die morphologischen Veränderungen der Kieler Förde sind in historisch relativ jüngerer Zeit entstanden (seit ca. 1870).
- Die Wasserqualität der Förde ist vergleichsweise gut und weiter verbesserungsfähig.
- Ein Teil der Substratveränderung der Förde (Entnahme von Hartsubstrat) ist zumindest ansatzweise reversibel.
- Ein Teil der Uferverbauung (Versiegelung) ist zumindest ansatzweise reversibel.
- Fischfauna und Makrofauna sind gegenüber einem natürlichen Zustand zwar verarmt, aber nicht grundlegend verändert.

Aussagen über Referenzzustände der Gewässer wurden über die Auswertung historischer Karten sowie Literaturangaben abgeleitet. Die Auswertung historischer Karten erfolgt GIS-gestützt und bezieht sich sowohl auf die Entwicklung der flächenhaften Ausdehnung des Gewässers an sich als auch auf die flächenhafte Veränderung der umgebenden Nutzungen. Abgesehen von der digitalen Erfassung der zumeist analog vorliegenden Karten ist es bei diesem Vorgehen von zentraler Bedeutung, die Güte der ableitbaren Aussagen einzuschätzen; generell gilt: Je älter die Karten, desto ungenauer werden die Angaben (ausführlich zu Kartenanalyse und den Ergebnissen: Hillmann 2007). Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für die Kieler Förde, für die insgesamt 4 Karten zugrunde gelegt werden konnten (siehe Abbildungen 1a bis 1d sowie Abbildung 2).

Anhand der Abbildung 2 ist die Entwicklung für die ausgewerteten Jahre insgesamt zu erkennen. Besonders auffällig ist: Die Fläche der Kieler Förde nimmt sukzessive ab, ebenso wie der Anteil der Grünflächen im Stadtgebiet; die bebaute Fläche sowie der Anteil der Werften hat hingegen im betrachteten Zeitraum deutlich zugenommen. Vor allem sticht die Entwicklung zwischen 1853 und Anfang des 20. Jhs. ins Auge (Kiel wird Kriegshafen), innerhalb dessen die größten hydromorphologischen Veränderungen stattgefunden haben.



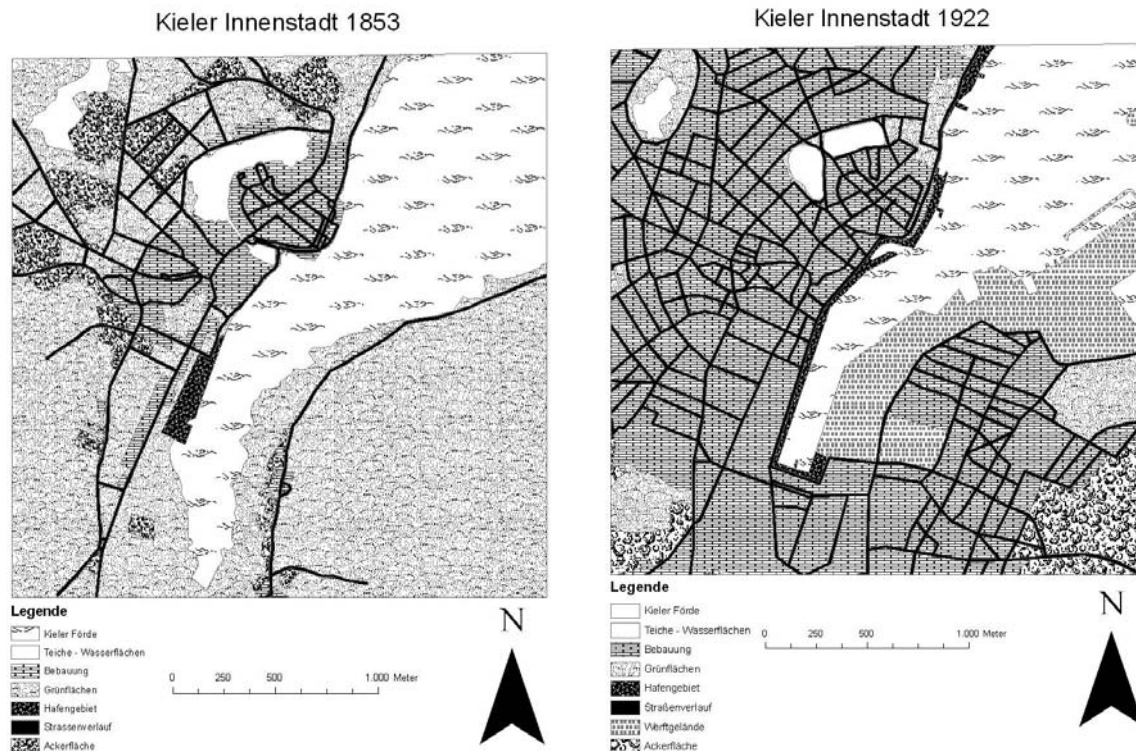


Abb. 1a und 1b: Historische Entwicklung der Inneren Kieler Förde (Ausschnitt) 1853 und 1922 (Quelle: Hillmann 2007)

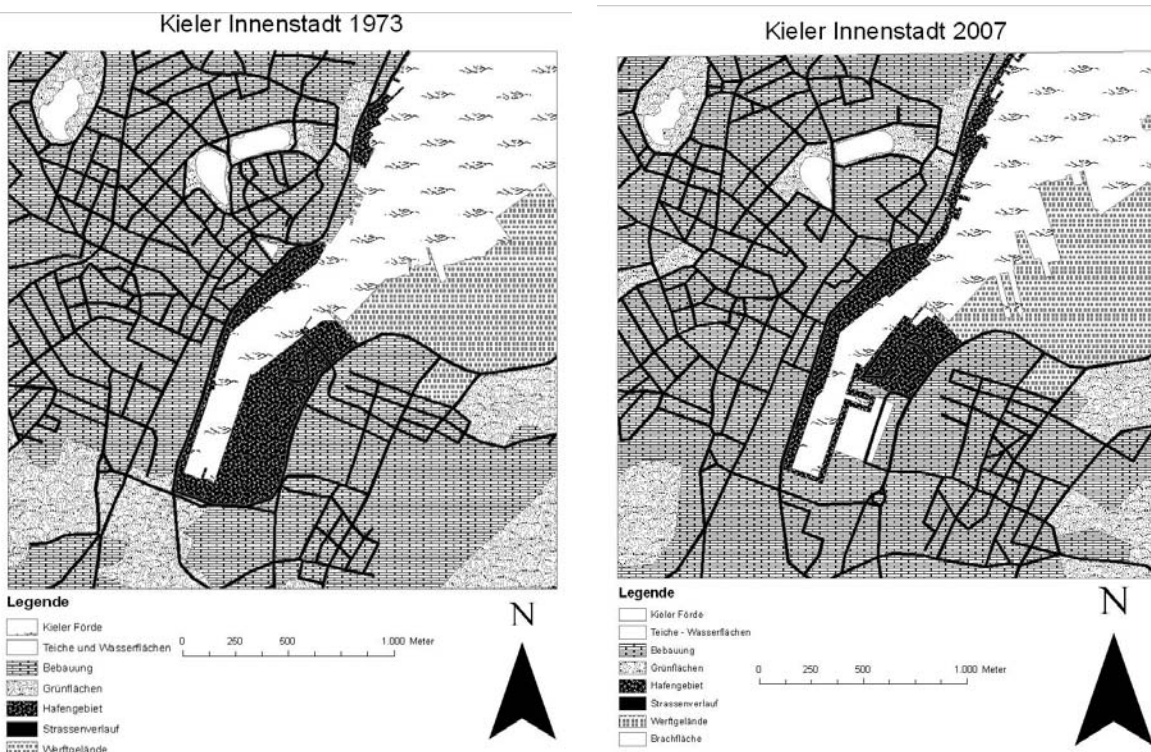


Abb. 1c und 1d: Historische Entwicklung der Inneren Kieler Förde (Ausschnitt) 1973 und 2007 (Quelle: Hillmann 2007)

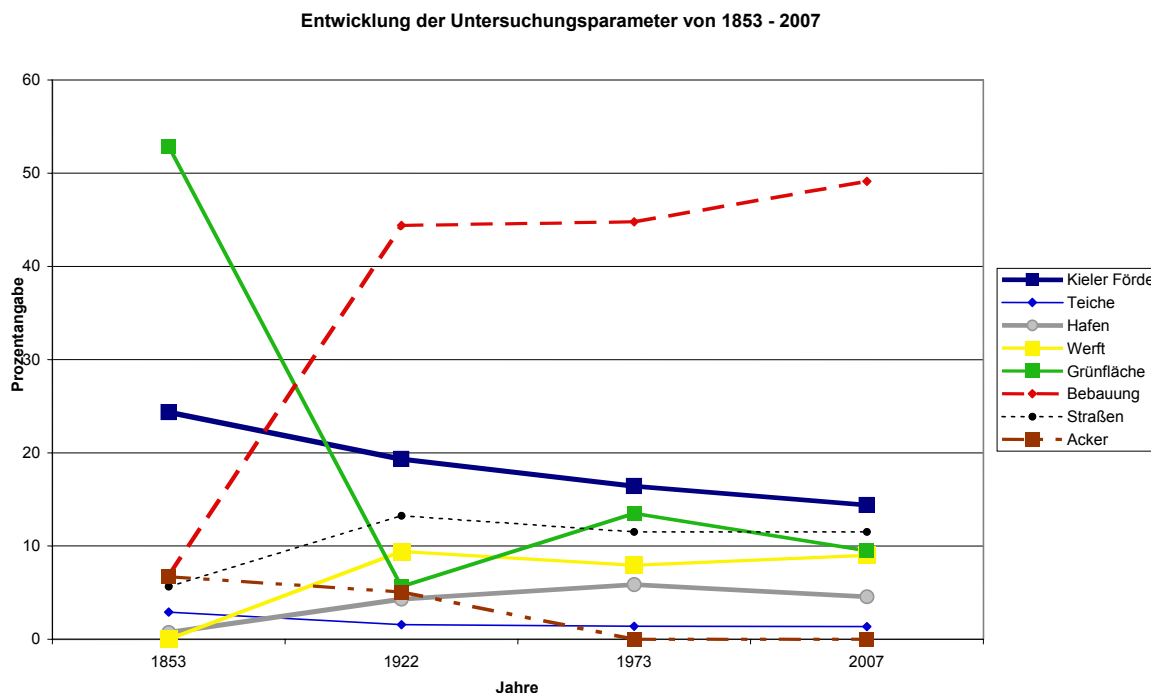


Abb. 2: Historische Entwicklung der Inneren Kieler Förde 1853 bis 2007 (Quelle: Hillmann 2007)

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Ufer- und ufernahe Bereich mittlerweile so gut wie komplett überbaut bzw. anthropogen stark überprägt ist. Entscheidend für diese Entwicklung ist, dass Kiel 1871 Reichskriegshafen wurde. Damit einhergehend wuchs die Bevölkerung (16.000 im Jahr 1855) der Stadt, verbunden mit einer entsprechenden Bebauung. Auf dem Ostufer wurden Werften gegründet, die sich bald von der Hörn bis über die Schwentine ausbreiteten. Die nahezu vollständige Bebauung der heutigen Förde im Kieler Stadtgebiet war bereits zu diesem Zeitpunkt erfolgt. Ferner wurden die heutigen Stadtteile Holtenau und Friedrichsort baulich erschlossen und in die Hafenplanung einbezogen. Eine Ausnahme bildet die Festung Friedrichsort, deren Vorläufer bereits in den Jahren 1631 bis 1637 als Festung „Christiansprieß“ erbaut wurde; die Festung wurde in den Folgejahren aufgelassen, aber nicht zurückgebaut. Eine weitere Ausnahme bildet der Bereich der Schwentinemündung. Dieses Gelände wurde bereits sehr früh besiedelt und das Kartenmaterial des 19. Jh. zeigt hier eine Werft. Ältere Karten zeigen diesen Abschnitt noch in unverbautem Zustand, erkennbar ist ein Hügel, der in seinem südlichen Bereich bis an die Schwentine reicht, sodass hier ein Kliff vorhanden gewesen sein könnte. Die westliche Seite des Hügel scheint in einer spitzen Landzunge zu enden und läuft, sich nach Norden hin verbreiternd, relativ flach aus. Dies könnte auf das Vorhandensein eines Strandes hindeuten. Weiter nördlich befindet sich bis heute ein Strandabschnitt.

### 3 Hydromorphologische und ökologische Situation – Ableitung von Maßnahmen

Um vor dem Hintergrund der historischen Entwicklung den derzeitigen ökologischen und hydromorphologischen Zustand der Kieler Förde analysieren und bewerten zu können, muss man die Situation der Gewässer an sich betrachten, sowie weitere mögliche Einflüsse, die von den umliegenden Gebieten auf die Gewässer einwirken können. Neben der schon dargestellten, zum Teil sehr starken hydromorphologischen Überprägung wurde eine Analyse bzw. Abschätzung der Einleitungen in die Förde (u. a. über Regenwasser, Abwasser, etc.) vorgenommen (hier nicht dargestellt; vgl. Daschkeit et al. 2007). Obwohl hier vielfach nur sehr grobe Abschätzungen

vorgenommen werden konnten, zeigte sich, dass die Wasserqualität der Förde relativ gut ist. Zurückgeführt wird dies auf eine funktionierende Wasserzirkulation mit der Außenförde bzw. mit der Kieler Bucht. Ebenfalls zeigte eine Analyse der Fauna und Flora, dass wesentliche Elemente vorhanden sind – dies allerdings zumeist auf Relikten von Hartsubstraten. Für die Ableitung von Aussagen zum guten bzw. maximalen ökologischen Potenzial und darauf basierender Maßnahmen sei zunächst hingewiesen auf Aussagen des zuständigen Ministeriums: „Für erheblich veränderte Gewässer ist das gute ökologische Potenzial zu erreichen. Das bedeutet, dass die anthropogenen hydromorphologischen Veränderungen an dem Wasserkörper, die die Bedingungen der WRRL für eine Einstufung als erheblich verändert erfüllen, hinsichtlich der Zielerreichung zu akzeptieren sind. D. h., sie können so lange erhalten bleiben, bis sich die Randbedingungen ändern, die zur Einstufung geführt haben. (...) Bei der Ermittlung der notwendigen Maßnahmen wird hier davon ausgegangen, dass ein Rückbau der bedeutenden hydromorphologischen anthropogenen Veränderungen dazu führt, dass der gute ökologische Zustand erreicht werden kann“ (www.wasser-sh.de des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Abruf 15. Juli 2007). Das bedeutet zweierlei: Einerseits besteht eigentlich nicht die Notwendigkeit von Maßnahmen, solange die Gewässerqualität augenscheinlich in Ordnung ist. Andererseits würde eine Rücknahme von anthropogenen hydromorphologischen Veränderungen evtl. dazu führen, dass das Gewässer ggf. gar nicht mehr als HMWB einzustufen ist. Der Bezug auf die morphologischen Veränderungen lässt eindeutig den Schluss zu, dass Maßnahmen zum Rückbau der Veränderungen „eigentlich“ notwendig sind, der Bezug auf den Einfluss morphologischer Veränderungen auf die Wasserqualität hingegen nicht.

Nach unserer Auffassung ist für die Diskussion der Erreichbarkeit eines guten bzw. gar maximalen ökologischen Potenzials aber nicht nur die aktuelle Situation ausschlaggebend, sondern auch die zu erwartende Situation, wenn absehbare Entwicklungen im Raum der Förde umgesetzt werden. Es ist dabei grundlegend, dass sich bestimmte Nutzungen mehr oder weniger ausschließen – Nutzungen durch Industrie, Häfen o.Ä. sind meist nicht kompatibel mit Nutzungen durch Tourismus, Naturschutz, Fischerei etc. Für die Kieler Förde ist bei einer Realisierung räumlich umfassenderer Bauvorhaben (Gemeinschaftskraftwerk, Yachthäfen) zumindest nicht auszuschließen, dass die oben erwähnte Zirkulation der Wassermassen zwischen Innen- und Außenförde beeinträchtigt werden könnte. Damit wäre dann die aktuell noch ausreichende Wasserqualität vermutlich nicht mehr zu gewährleisten, sodass dann ein direkter negativer Effekt der morphologischen Änderungen auf die Wasserqualität bedeutsame Konsequenzen auch für Fauna und Flora haben kann. Somit wäre das Ziel einer größtmöglichen Diversifizierung des endemischen Artenspektrums durch reproduktive, selbsterhaltende und selbstorganisierende Eigenkräfte kaum mehr erreichbar. Der Weg zu diesem Ziel besteht in der Reduktion von Strukturen und Prozessen, welche die Entfaltung des einheimischen biologischen Inventars stören.

Für die Ableitung von Maßnahmen mit dem Ziel der Erhaltung bzw. Erreichung des guten ökologischen Potenzials sind vor diesem Hintergrund zwei grundsätzliche Vorgehensweisen denkbar: Zum einen realistische Maßnahmen wie bspw. die bauliche Anpassungen von Spundwänden oder das weitere Einbringen von Hartsubstraten – diese an sich sicherlich sinnvollen Maßnahmen könnten aber auch in der Summe nicht verhindern, dass die Wasserqualität beeinträchtigt würde, wenn morphologische Veränderungen der Förde „in großem Stil“ stattfinden würden. Deswegen besteht zum anderen die alternative Vorgehensweise darin, langfristige, auch räumlich umfassende Nutzungskonzepte für den Raum der Kieler Förde (Wasserkörper, angrenzendes Land) zu entwickeln und in diesem Kontext das ökologische Potenzial zu erhalten bzw. zu erreichen. Die zuletzt genannte Vorgehensweise entspricht, nach unserer Meinung, dem notwendigen Prozess eines Integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) auch für die Kieler Förde.

Danksagung: Das Projekt hätte ohne die finanzielle Unterstützung des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein nicht durchgeführt werden können. Genauso bedeutend war

die Unterstützung durch J. Voß und H.-Chr. Reimers (LANU S-H) sowie einer Vielzahl von Personen bzw. Einrichtungen in den Untersuchungsgebieten.

## Literatur

- Daschkeit, A., K. Kirstein, H. Sterr, H. May & P. Krost (2007): Das ökologische Potenzial der Kieler Innenförde und der unteren Trave, zwei nach der Wasserrahmenrichtlinie als 'erheblich verändert' eingestufte Küstengewässer. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Mai 2007. Kiel.
- Daschkeit, A. & H. Sterr (2003): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) - Forschungen und Arbeitsperspektiven für die Geographie. In: Kellertat, D. (Hrsg.): Neue Ergebnisse der Küsten- und Meeresforschung. 21. Jahrestagung des AMK. Essener Geographische Arbeiten, 35, S. 159-167. Essen.
- Hillmann, B. (2007): Analyse von Fernerkundungsdaten für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie – am Beispiel der Kieler Förde und der unteren Trave. Diplomarbeit Geographisches Institut der CAU Kiel. Kiel.
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein (2004): Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Landesinterner Bericht zur Analyse der Belastungen auf die Gewässer der Flussgebietseinheit Schlei/Trave: Bestandsaufnahme der Gewässer und Einschätzung der Zielerreichung. Kiel.

## Adresse

PD Dr. Achim Daschkeit  
Umweltbundesamt  
Fachgebiet Klimaschutz  
Wörlitzer Platz 1  
D-06844 Dessau

[achim.daschkeit@uba.de](mailto:achim.daschkeit@uba.de)

Prof. Dr. Horst Sterr  
Universität Kiel  
Geographisches Institut  
Ludewig-Meyn-Str. 14  
D-24148 Kiel

[sterr@geographie.uni-kiel.de](mailto:sterr@geographie.uni-kiel.de)

Dipl.-Geogr. Klaus-Gerhard Kirstein  
Vaasastr. 6  
D-24109 Kiel

[kg-kirstein@gmx.net](mailto:kg-kirstein@gmx.net)

Dr. Peter Krost  
Coastal Research & Management CRM  
Tiessenkai 12  
D-24159 Kiel

[peter.krost@crm-online.de](mailto:peter.krost@crm-online.de)





## **Coastal Governance im Wandel: Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein**

Antje Bruns

GKSS Forschungszentrum Geesthacht  
Institut für Küstenforschung

### **Abstract**

This study examines the prospects for participatory governance in water management: The WFD makes important changes to the way we manage our water resources not only because management has to occur in river basins and no longer adheres to administrative boundaries. Another point is that legislation requires the active involvement of all interested parties in developing the best approach to achieving good ecological status of water bodies.

This analysis assumes that the WFD will lead to institutional change at a local, regional and state level. To investigate this theory a case study is carried out in the Eider Catchment which is located in Schleswig-Holstein (north western Germany). The analysis also explores opportunities and requirements for participatory governance in future water management.

### **1 Einleitung**

In der Umweltpolitik wird seit einiger Zeit vermehrt diskutiert, dass ein Wandel umweltpolitischer Steuerung erkennbar ist. Dies mache sich insbesondere durch eine Hinwendung zu kooperativen Steuerungsmodi und durch eine Öffnung hierarchischer Strukturen für neue Akteure bemerkbar. Grund dafür sei, dass die ‚alten‘ zumeist ordnungsrechtlichen Steuerungsansätze die Umweltprobleme nicht lösen können. Unter anderem weil sie unzureichend implementiert werden. Und dies liegt – so die Analysen – auch daran, dass eine Vielzahl an Stakeholdern existiert, deren Interessen bei der Entscheidungsfindung außer Acht gelassen wird. Da aber deren ‚Commitment‘ maßgeblich dazu beiträgt, ob Maßnahmen akzeptiert, unterstützt und schließlich auch implementiert werden, sollen sie vermehrt einbezogen werden.

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie, die im Jahr 2000 in Kraft trat, ist Ausdruck des kurz skizzierten Wandels der Umweltpolitik. Im Erwägungsgrund der Richtlinie heißt es: „Der Erfolg der vorliegenden Richtlinie hängt von einer engen Zusammenarbeit und kohärenten Maßnahmen auf gemeinschaftlicher, einzelstaatlicher und lokaler Ebene ab. Genauso wichtig sind jedoch Informationen, Konsultationen und Einbeziehung der Öffentlichkeit, einschließlich der Nutzer“ (Erwägungsgrund 13 der Präambel der WRRL). Damit werden insbesondere die Aspekte Koordination, Kooperation und Partizipation hervorgehoben. Zu vermuten ist, dass diese Anforderungen „weit reichende Veränderungen der bisherigen institutionellen Regelung des Gewässerschutzes in Deutschland verursachen wird“ (vgl. Moss 2003: 22). Eine Vielzahl von Berichten erschien über Einzelthemen der WRRL (wie die Umsetzung der WRRL in nationales Recht oder die Bestimmung von Referenzbedingungen für verschiedene Gewässertypen). Es setzen sich aber nur wenig Arbeiten mit den weiteren Anforderungen der WRRL bezüglich der Partizipation oder institutionellen Veränderungen auseinander. Auf diese Themen wird im vorliegenden Artikel bewusst die Aufmerksamkeit gelenkt: Es wird untersucht, wie die organisatorische Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie im Bundesland Schleswig-Holstein erfolgt, welche Akteure daran beteiligt sind und wie sie den Prozess und dessen erste Ergebnisse einschätzen. Als zweite Analyseebene steht

im Fokus, wie sich die WRRL auf die organisatorische und institutionelle Dimensionen der Wasserwirtschaft auswirkt.<sup>1</sup>

## 2 Die Wasserrahmenrichtlinie – ein neuer Managementansatz für Flussgebiete

Die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, (kurz: die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)) löste eine Vielzahl sektoraler Bestimmungen zum Gewässerschutz ab und harmonisierte diese. Operatives Ziel der Richtlinie ist, dass alle Gewässer bis zum Jahr 2015 einen guten ökologischen Zustand erreichen. Dafür sollen die ökologischen Funktionen der Gewässer verstärkt berücksichtigt werden. Um diese Ziele zu erreichen, etablierte die Richtlinie neue Instrumente und Ansätze des Gewässerschutzes und gilt somit als Beispiel innovativer Umweltpolitik. Auf zwei der neuen Managementansätze und -prinzipien wird im vorliegenden Artikel vertieft eingegangen.

- Ein zentraler Aspekt ist, dass die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Beteiligung von anderen Fach- und Querschnittspolitiken vermehrt gefordert ist. Dieses Anliegen hat verschiedene Funktionen: “The increasing demand by citizens and environmental organisations for cleaner rivers and lakes, groundwater and coastal beaches has been evident for considerable time”. Weiterhin wird erwartet, dass Partizipation ein geeignetes Instrument zur Zielerreichung ist: “In achieving these objectives, the roles of citizens and citizens' groups will be crucial”. Und drittens ist Partizipation ein eigenständiges Ziel der Richtlinie: “[...] The Commission presented a proposal for a Water Framework Directive with the following key aim [...] getting the citizen involved more closely” (<http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/overview.html>).
- Eine zweite wesentliche Neuerung der WRRL ist die neue Gebietskulisse für die Bewirtschaftung von Gewässern. Das Management der Gewässer orientiert sich nunmehr an Einzugsgebieten statt an administrativen Grenzen. Für die Bewirtschaftung der Gewässer ergibt sich dadurch die anspruchsvolle Aufgabe, dass neue räumliche Bezugsrahmen etabliert werden; natürlich bleiben aber die ‚traditionellen‘ Planungsräume, die sich an Landes-, Landkreis oder Gemeindegrenzen orientieren, bestehen. Somit ist zu erwarten, dass für den Bereich der Wasserwirtschaft die Passfähigkeit zwischen Naturraum und politischem Handlungsraum erhöht wird (‚spatial fit‘, vgl. Young 1999), dagegen aber für andere Bereiche der ‚mismatch‘ zunimmt. Denn Abstimmungen zwischen bspw. der Wasserwirtschaft und Raumordnung werden zweifellos aufwändiger, wenn beide Systeme in unterschiedlichen Handlungsräumen und -logiken agieren.

Aus den genannten Punkten ergeben sich hohe Anforderungen an das Management. Hinsichtlich der generellen Aufgabe, eine verstärkte Koordination der Beteiligten herbeizuführen, konnten 3 Ebenen der Koordination identifiziert werden: a) Das gesamte Flusseinzugsgebiet; b) Die Flussgebietseinheiten (intern) und c) die querschnittsorientierte Koordination der Wasserwirtschaftsverwaltungen insbesondere mit Raumordnung, Naturschutz und Landwirtschaft (dazu Fichter 2003). Aus Perspektive des Managements geht es aber nicht nur um eine reine Koordination, sondern auch um die Initiierung kooperativen Handelns, welches unter anderem durch den umfangreichen Beteiligungsprozess erreicht werden soll. Im Text der Richtlinie sind dazu allerdings keine detaillierten Aussagen enthalten; lediglich der CIS-Leitfaden zur Beteiligung der Öffentlichkeit enthält konkrete Empfehlungen (vgl. EU Working Group 2002). Aufgrund dieses empfehlenden Charakters entfalten die Aussagen im CIS-Leitfaden aber keine rechtliche Bindungswirkung. Und so ist es kaum verwunderlich, dass die Einbindung von Betroffenen und Interessierten in den meisten Bundesländern kaum über das notwendige Maß hinaus geht; lediglich

---

<sup>1</sup> Zwischen Organisation und Institution wird folgendermaßen in den Sozialwissenschaften unterschieden: Während sich die Organisation auf die Struktur eines Systems bezieht, wird mit dem Terminus Institution auf die ‚Regeln‘ (Spielregeln) abgezielt.

Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein fallen im bundesdeutschen Vergleich mit ihren Umsetzungsformen auf (vgl. Newig 2005).

Die geforderten Neuorientierungen im Management von Gewässern werden vielfältige Veränderungen im Verwaltungshandeln nach sich ziehen (müssen), soll die Richtlinie nicht bloßes Lippenbekenntnis bleiben. Entscheidend bei dieser Annahme ist aber, dass die Veränderung formeller Institutionen (Gesetze, Verordnungen, Politikmaßnahmen) nur gelingen kann, wenn dies mit einer Veränderung informeller Institutionen (Werte, Einstellungen, etablierte Verhaltensmuster) einhergeht. Inwieweit beide Dimensionen in Richtung Veränderung weisen, wird im Folgenden untersucht. So kann auch der Frage nachgegangen werden, ob sich im Zuge der Umsetzung der WRRL gesamte Governance-Regimes verändern werden.

### **3 Was ist Governance – Modebegriff oder nützliches Konzept?**

Der Begriff Governance ist derzeit in aller Munde: Ob es das European White Paper zu Governance, der neue Projektantrag oder eine regionalwissenschaftliche Analyse zu Entscheidungsprozessen ist, das Schlagwort Governance darf nicht fehlen. Doch ist es wirklich nur ein Schlagwort oder kann dieser Begriff als nützliches Konzept dienen und damit gar neue Erkenntnisse liefern?

Nähern wir uns dem Thema zunächst mit einer allgemeingültigen Definition zu Governance:

„Governance ist die Gesamtheit der zahlreichen Wege, auf denen Individuen sowie öffentliche und private Institutionen ihre gemeinsamen Angelegenheiten regeln. Es handelt sich um einen kontinuierlichen Prozess, durch den kontroverse oder unterschiedliche Interessen ausgeglichen werden und kooperatives Handeln initiiert werden kann. Der Begriff umfasst sowohl formelle Institutionen und mit Durchsetzungsmacht versehene Herrschaftssysteme als auch informelle Regelungen, die von Menschen und Institutionen vereinbart oder als im eigenen Interesse angesehen werden“ (Commission on Global Governance 1995).

Fürst (2001a) fasst die Definition zusammen und versteht darunter „die Prozesssteuerung für kollektives Handeln (...), bei dem Akteure/Organisationen so miteinander verbunden und im Handeln koordiniert werden, dass gemeinsam gehaltene oder gar entwickelte Ziele wirkungsvoll verfolgt werden können. Governance soll klären, wer was wann und wie tut, um (...) kollektives Handeln zu ermöglichen.“ (Fürst 2001a: 2).

In Anlehnung an die oben genannten Definitionen mag die folgende Abbildung verdeutlichen, welche Elemente von Governance für diese Untersuchung zentral sind:

1. Zum einen sind verschiedene Akteure dargestellt, die in verschiedenen Steuerungslogiken (oder auch Regelungssystemen) agieren. Gekennzeichnet ist dies durch die drei Netzwerke Politik & Verwaltung, Wirtschaft sowie Zivilgesellschaft.
2. Akteure dieser Netzwerke stehen neuerdings in vermehrtem Austausch miteinander, um die gemeinsamen Angelegenheiten zu regeln; dies tun sie in Form von Interaktionsprozessen (Kommunikation).
3. Die Interaktion verschiedener Akteure geschieht in einem Regelungssystem. Dieses System ergibt sich durch Politiken und Strategien aber ebenso durch Normen und Werte, die in einer Gesellschaft vorherrschen.

Alle genannten Elemente führen im Zusammenspiel zu einer bestimmten Governance. Diese Governance kann räumlich betrachtet werden (in diesem Fall könnte es z.B. ‚Regional Governance‘ sein) oder aber es findet wie im vorliegenden Beispiel eine funktionale Differenzierung statt.

Aus der oben vorgestellten Sichtweise ergeben sich drei Kernthemen für die vorliegende Arbeit: a) Welche Akteure sind in Entscheidungsprozesse einbezogen? b) Wie können die Interaktionsprozesse der Beteiligten beschrieben werden? Und schließlich c) Wie wurde der Rahmen für diesen langfristig angelegten Dialogprozess gestaltet?



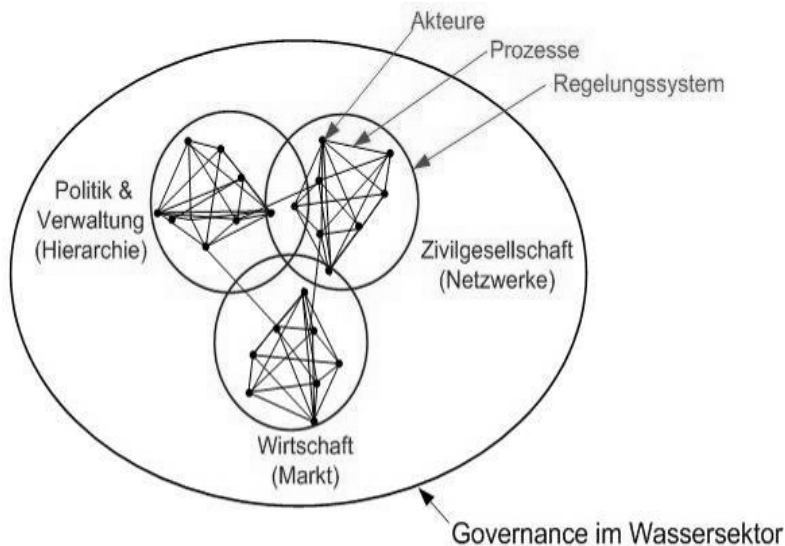


Abb. 1: Der Bezugsrahmen von Governance. Eigene Darstellung in Anlehnung an eine Präsentation von Scherer 2005.

Fragen, die die Implementationseffektivität von Politiken (in diesem Fall die WRRL) betreffen, werden in diesem Beitrag nicht diskutiert, obwohl sie zweifellos von hoher Relevanz sind.

#### 4 Governance-Formen im Eider-Einzugsgebiet

##### Der organisatorische Rahmen für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie

Nachdem die europäische WRRL in nationales Recht umgesetzt wurde, mussten anschließend die Bundesländer ihre Wasserhaushaltsgesetze bis zum Jahr 2003 ändern. Im Zuge dessen hatten sie sich auf einen Organisationsrahmen zu einigen und mussten benennen, welche Institutionen für welche Aufgaben zuständig sind.

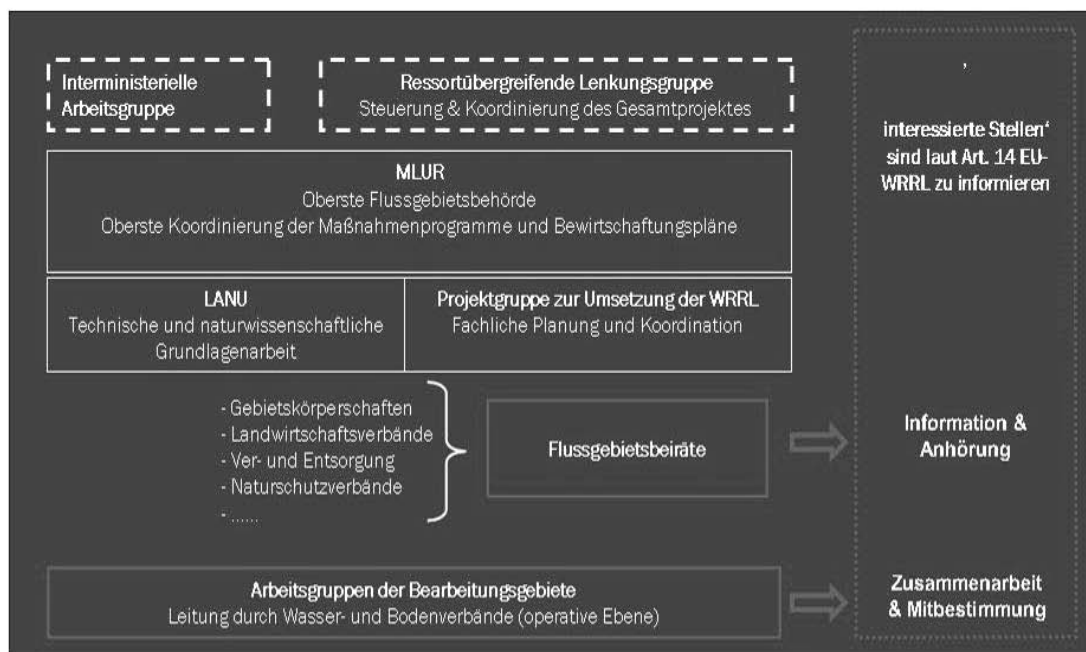
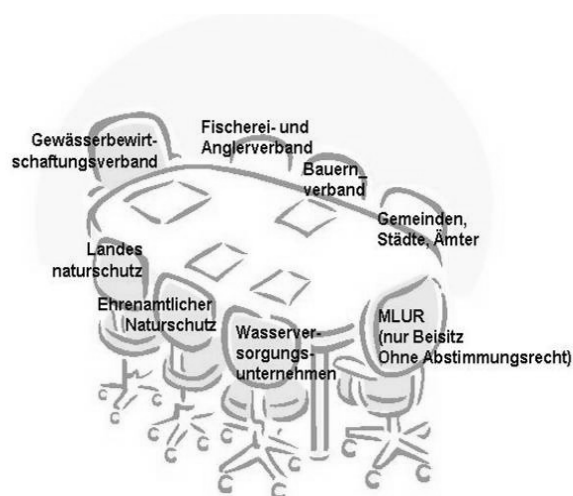


Abb. 2: Umsetzung der WRRL in Schleswig-Holstein: Zuständigkeiten und Gremien. Die mit dunklen Rahmen markierten Gremien wurden befragt und in die Auswertung einbezogen. Eigene Darstellung.

In Schleswig-Holstein übernimmt das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR) die federführende Rolle. Um die Umsetzung sowohl organisatorisch als auch inhaltlich zu gewährleisten, wurde eine Projektgruppe eingerichtet. Das Landesamt für Natur und Umwelt (LANU) steht dem MLUR beratend und durch die Aufbereitung von Daten zur Seite.

Die Erfordernisse zur Stakeholder-Beteiligung werden räumlich abgestuft umgesetzt. Auf Ebene der Flussgebiete (Eider, Schlei/Trave und Elbe) wurden Beiräte etabliert, die sich halbjährlich treffen. In diesen Treffen findet hauptsächlich ein Informationsaustausch statt. Hingegen wurden auf lokaler Ebene Arbeitsgruppen eingerichtet, in denen wesentliche Entscheidungen hinsichtlich der Umsetzung gemeinsam getroffen werden. Auch aus Sicht der Partizipationsforschung macht dieses differenzierte Vorgehen Sinn, da eine tatsächliche Mitbestimmung auf lokaler Ebene einfacher zu gewährleisten ist. Grund dafür ist einerseits, dass auf kleineren Ebenen weniger Akteure zu beteiligen sind – die Gruppengröße und Meinungsvielfalt sinkt also. Ebenso lässt sich aber das lokale Wissen der Beteiligten direkter einbinden, wenn der Betrachtungsraum nicht zu groß ist. Denn je größer der Raum



ist, desto generalisierter werden die Themen im Diskussionsprozess und umso weniger finden sich die Beteiligten wieder (vgl. Selle 2004 und Newig 2005).

Die Arbeitsgruppen (vgl. Abb. 3), die sich für die Umsetzung der WRRL bildeten, werden von den Gewässerbewirtschaftungsverbänden (bzw. Wasser- und Bodenverbänden) geleitet. Dadurch hat diese Akteursgruppe eine recht starke Stellung innerhalb des Prozesses, was auch in der Befragung bestätigt wurde.

Abb. 3: Die Arbeitsgruppen arbeiten auf lokaler Ebene am ‚Runden Tisch‘. Entscheidungen zwischen den verschiedenen Akteuren müssen im Konsens getroffen werden. Eigene Darstellung.

Neben dem MLUR wird den Gewässerbewirtschaftungsverbänden der höchste Einfluss auf den Prozess zugeschrieben.<sup>2</sup> Abgemildert wird diese Sonderstellung durch die Regel, dass Entscheidungen in den Arbeitsgruppen im Konsens getroffen werden müssen. Können sich die Akteure aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen nicht einigen, behält sich das MLUR vor, eine Entscheidung herbeizuführen. Damit sind die Arbeitsgruppen in der Situation, dass sie ‚im Schatten der Hierarchie‘ agieren. Das ‚Drohpotential‘ des Staates bleibt bei ihren Verhandlungen immer bestehen. Dies wird – in der Forschung zu kooperativen Verfahren – aber keineswegs als negativ betrachtet, da angenommen wird, dass Entscheidungen vor diesem Hintergrund eher getroffen werden und die Gefahr des Nicht-Entscheidens minimiert wird. Denn ein Hauptkritikpunkt gegenüber kooperativen Entscheidungsprozessen ist Folgender: “consensus seeking often shuns important issues, it tends to result in general and vague agreements, and is usually interest- or position-based” (Neumann 2000: 345). Diese Möglichkeit besteht auch bei den Entscheidungsprozessen, die mit der Umsetzung der WRRL in Zusammenhang stehen. Da aber im Text der Richtlinie klare Qualitätsziele zum Zustand der Gewässer getroffen werden, scheint die Gefahr geringer zu sein als in Verfahren, deren Ziele auch Gegenstand der Verhandlung sind.

<sup>2</sup> 95 % der Befragten des Flussgebietsbeirates (FGB) und 87 % der Mitglieder der Arbeitsgruppen (AG) finden, dass das MLUR einen hohen bis sehr hohen Einfluss auf den Umsetzungsprozess der WRRL haben. Gefolgt wird das Ministerium durch den Gewässerbewirtschaftungsverband (63 % FGB und 81 % AG), die ebenfalls einen hohen Einfluss haben.

## **Interaktion und Vernetzung der Akteure**

### *Vernetzung und Einbindung der Akteure*

Obwohl bereits eine Vielzahl verschiedener Akteursgruppen in den Prozess einbezogen wird, gibt es auch ganze Bereiche, die ungenügend eingebunden werden. An erster Stelle werden sowohl in den schriftlichen Befragungen als auch in den persönlichen Interviews die Landkreise genannt. Die Landkreise nahmen bis Mitte 2006 nicht direkt an der Umsetzung der WRRL teil, obwohl sie als untere Wasserbehörde (und damit als Genehmigungsbehörde) eine wichtige Funktion in der Wasserwirtschaft inne haben. Es war eine eigene – und politisch motivierte – Entscheidung, dass die Landkreise nicht mitarbeiten. Die Blockadehaltung der Landkreise ist historisch begründet, denn als in Schleswig-Holstein die Diskussionen begannen, wer die Arbeitsgruppen leiten soll, beanspruchten dies mehrere Institutionen. Unter anderem wollten die Landkreise bzw. der Landkreistag eine federführende Rolle übernehmen. Darüber kam es zu einigen politischen Machtkämpfen und schließlich zu der Anweisung vom Landkreistag bzw. den Landräten, dass ihre Mitarbeiter nicht – so wie ursprünglich geplant – an den Arbeitsgruppen teilnehmen dürfen. Für den gegenseitigen Informationsfluss hatte dies gravierende Folgen, weil wichtige Informationen nicht mehr direkt, sondern lediglich auf informellem Weg weitergereicht werden konnten. Ebenso wirkt sich aber das nicht-kooperative Verhalten der Landkreise auf Sektoren wie den Naturschutz oder die Regionalentwicklung (auf Kreisebene) aus, die ebenfalls nicht an der Diskussion aktueller Umsetzungsschritte teilnahmen. Mittlerweile nimmt zwar die Abteilung Wasserwirtschaft an den Sitzungen des Flussgebietsbeirates bzw. der Arbeitsgruppen teil, die Abteilung Regionalentwicklung sieht sich aber immer noch nicht von der WRRL betroffen. Gerade für die Regionalentwicklung (deren Abteilung auf regionaler Ebene angesiedelt ist) aber auch für die Regionalplanung bzw. Landesplanung (im Innenministerium Schleswig-Holsteins angesiedelt) kann attestiert werden, dass ihrerseits kein starker Bedarf gesehen wird bei der Umsetzung der WRRL mitzuwirken. Für die Raumplanung als querschnittsorientierte Planung ergeben sich aber vielfältige Schnittpunkte und führen damit langfristig vermutlich zu Abstimmungsproblemen, sollte weiterhin kaum ein Austausch stattfinden. Offensichtlich liegt hier ein tief greifendes Kommunikationsproblem zwischen Fach- und Querschnittsplanung vor. Erstaunlich ist hierbei, dass in diesem Fall die Querschnittsplanung (Raum- und Regionalplanung) ihre Betroffenheit verkennt.

### *Interaktion und Kontakte*

Die Akteure, die im Flussgebietsbeirat oder den Arbeitsgruppen involviert sind, bestätigen die Hypothese, dass durch diese Gremien die Kontakthäufigkeit zunimmt und dadurch mehr Informationen verteilt werden. Gleichwohl ist das ganze System stark auf das MLUR ausgerichtet: insbesondere die Informationsflüsse verlaufen häufig über das MLUR und weniger direkt zwischen den Akteuren.

### *Einschätzung des Umsetzungsprozesses*

Trotz diesen Einschränkungen fällt das Urteil der Akteure, wie sie den Umsetzungsprozess einschätzen recht positiv aus. So stimmt die Mehrzahl der Beschreibungen zu, dass der Umsetzungsprozess sachbezogen, innovativ und transparent ist. Zwar sei er auch kontrovers, weil man nicht immer einer Meinung sei, aber die Diskussionen verlaufen überwiegend konstruktiv und sachbezogen. Folgende Abbildung veranschaulicht die Einschätzung der Akteure.

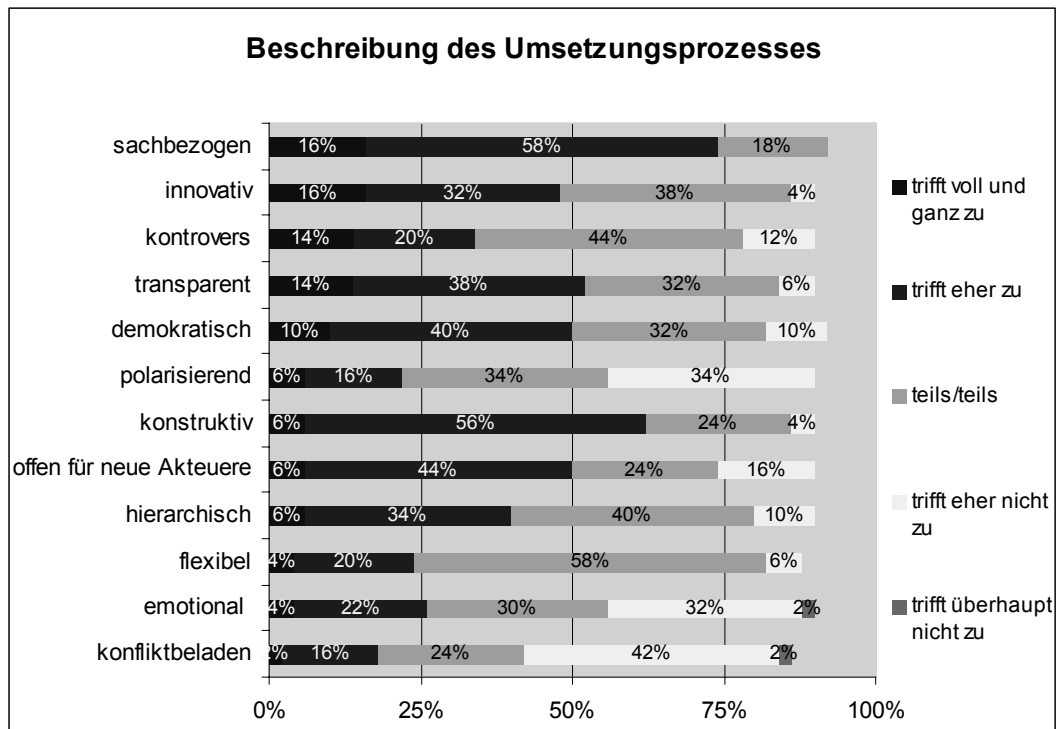


Abb. 4: Beschreibung des Umsetzungsprozesses der WRRL. Die Angaben basieren auf Befragungen, die im Jahr 2006 durchgeführt wurden. Befragt wurde der Flussgebietsbeirat Eider und die Arbeitsgruppen im Flussgebiet Eider. Eigene Darstellung.

### Bisherige Effekte des Umsetzungsprozesses

Wie eingangs bereits erwähnt, hängt der Erfolg der WRRL maßgeblich davon ab, ob die Akteure bereit sind, an der Umsetzung mitzuwirken. Das beinhaltet, dass sie das Organisationsmodell und die Verteilung der Zuständigkeiten, Aufgaben und Funktionen mit tragen sollten. Die Befragungen ergaben, dass offensichtlich keine grundlegenden Unstimmigkeiten hinsichtlich der Organisation und festgelegter Zuständigkeiten bestehen. Zwar ist den Akteuren bewusst, dass einige Gruppen einen höheren Einfluss als andere haben, diese Tatsache wird aber nicht als störendes Machtungleichgewicht empfunden. Auf die Frage an die Beteiligten, wie sich die WRRL seit Inkrafttreten auf die Wasserwirtschaft ausgewirkt hat, antworteten 58 %, dass sie sich positiv ausgewirkt hat. Unter anderem, weil damit „die Grundlage für eine zeitgemäße und verträgliche Bewirtschaftung der Gewässer gelegt“ wurde<sup>3</sup>.

Um einschätzen zu können, mit welchen Effekten und Ergebnissen bislang gerechnet werden kann, wird der Zeitplan der Umsetzung noch einmal in Erinnerung gerufen: Nach dem (1) Inkrafttreten der WRRL (im Jahr 2000) folgte die (2) Rechtliche Umsetzung (bis 12/2003). Als somit die Grundlagen geschaffen waren, begannen die (3) Bestandsaufnahme (bis 12/2004) und das Aufstellen von Überwachungsprogrammen (bis 12/2006). Parallel dazu wurden in Schleswig-Holstein einige vorgezogene Maßnahmen durchgeführt, die die ökologische Situation der Gewässer bereits vor der Erarbeitung der Bewirtschaftungspläne verbessern sollen. Diese Maßnahmen wurden zumeist von den Arbeitsgruppen vorgeschlagen und verliefen daher bislang ohne Konflikte.

Erst in den kommenden Jahren werden dann die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme erstellt; in ihnen werden Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässer festgelegt, damit die Ziele der WRRL erreicht werden können. Spätestens für diese Phase werden kontroverse Auseinandersetzungen

<sup>3</sup> So ein Kommentar im Fragebogen.

zwischen den beteiligten Akteuren erwartet<sup>4</sup>. Umso wichtiger scheint es, dass bis dahin der Dialogprozess so etabliert ist, dass möglichst keine Akteure von der so genannten ‚exit option‘ Gebrauch machen. Da der Informationsaustausch im Flussgebietsbeirat und die Zusammenarbeit in den Arbeitsgruppen auf Freiwilligkeit beruht, haben die Akteure immer die Möglichkeit, sich aus dem Beteiligungsprozess herauszuziehen. Zwar gehen sie dann das Risiko ein, dass das zuständige Ministerium entscheidet, aber ihnen bliebe die Möglichkeit, die Entscheidungsfindung auf anderen Wegen zu beeinflussen oder gar zu behindern.

Die Befragung zeigt, welche Effekte die Zusammenarbeit bislang hatte; die drei wichtigsten Punkte sind eine erweiterte Vertrauensbasis unter den Beteiligten, eine verbesserte Kommunikation und Information und ein gewachsenes Problemverständnis. Damit scheint zunächst eine profunde Basis für die kommenden Jahre gelegt zu sein. Ob es zu ernsthaften Konflikten über Maßnahmen kommt und wie die Konfliktbewältigung dann aussehen wird, bleibt abzuwarten.

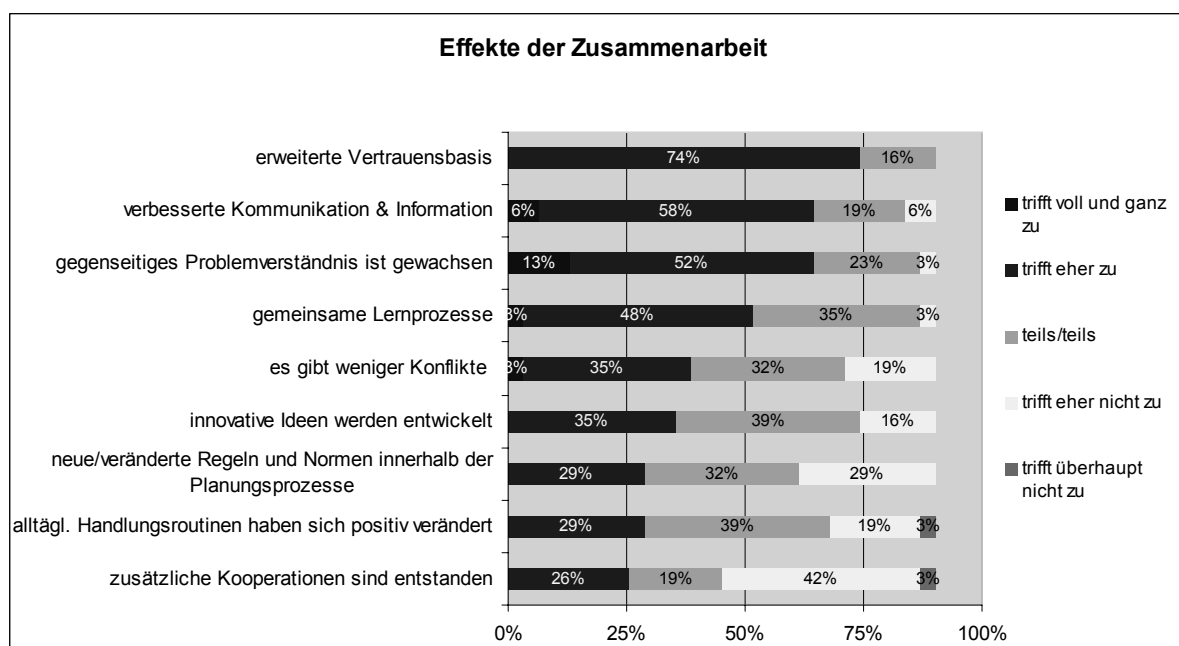


Abb. 5: Effekte der Zusammenarbeit im Rahmen des Umsetzungsprozesses der WRRL. Die Angaben basieren auf Befragungen, die im Jahr 2006 durchgeführt wurden.

Bei aller positiven Unterstützung, die der Umsetzungsprozess derzeit erfährt, gibt es dennoch konkrete Verbesserungswünsche hinsichtlich der Koordination von Tätigkeiten im Flussgebiet: Rund 1/3 der Befragten wünschen sich bessere und transparentere Abstimmungen. So bemängeln die Beteiligten beispielsweise, dass die einzelnen Arbeitsgruppen kaum Kontakt untereinander haben und somit übergreifende Fragen nicht diskutieren können. Ebenso mangle es zum Teil an der Transparenz, denn was tatsächlich an die EU gemeldet werde, wisse man nicht so genau.

## 5 Fazit

Die im Jahr 2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie stellt hohe Anforderungen an das Management von Flussgebieten. Neben dem anspruchsvollen Ziel, dass bis zum Jahr 2015 eine gute ökologische Qualität der Gewässer hergestellt werden soll, greift die Richtlinie auch in konkrete Managementfragen ein. So führt die neue Gebietskulisse dazu, dass Flussgebiete gesamt betrachtet

<sup>4</sup> Diese Einschätzung teilten mehrere Akteure in Interviews, die im Verlauf des Jahres 2006 geführt wurden.

werden müssen. Dieses erfordert einen stärkeren Austausch der Beteiligten. Ebenso soll die organisierte Öffentlichkeit vermehrt in Entscheidungsprozesse einbezogen werden.

Das für die Umsetzung der WRRL zuständige Ministerium hat für diese Aufgaben neue Organisationen bzw. Gremien etabliert. In diesen Gremien findet Öffentlichkeitsbeteiligung auf den verschiedenen Ebenen Information, Konsultation und Zusammenarbeit statt. Bislang sind die Beteiligten mit diesem Prozess zufrieden. Nichtsdestotrotz ist ihnen bewusst, dass konfliktäre Entscheidungen bevorstehen.

Bei den zumeist ehrenamtlichen Akteuren ist nicht nur das Wissen über ökosystemare Zusammenhänge, sondern auch das Verständnis für andere Sichtweisen gestiegen. Aber auch das MLUR hat aus dem Umsetzungsprozess gelernt: So sehe man durch diese umfassende Beteiligung lokaler Akteure endlich, welches Wissen dort vorhanden ist und nutze dieses auch<sup>5</sup>.

Somit scheint die von der EU erlassene Richtlinie auf subnationaler Ebene durchaus Veränderungen hervorzubringen. Nicht nur, dass die Organisationsstrukturen sich verändert haben und lokalen – politisch nicht legitimierten Akteuren – ein Mitspracherecht eingeräumt wird, sondern auch die Interaktions- und Kommunikationsprozesse scheinen sich zu verändern. So wird bspw. das Konsens-Prinzip bei den Verhandlungen (welches zu Beginn nicht von allen favorisiert wurde) mittlerweile als positiv empfunden.

Trotz dieser positiven Aspekte gibt es innerhalb des Umsetzungsprozesses noch genügend ‚Baustellen‘, die es zu bearbeiten gilt. So sollte bspw. die Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Querschnittsplanung intensiviert werden. Derzeit besteht leider doch noch ein eher sektorales Vorgehen, trotz ganzheitlichem Ansatz der Wasserrahmenrichtlinie.

In der Abbildung unten sind verschiedene Akteursgruppen dargestellt, die – in ihren eigenen Netzwerken organisiert – eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der WRRL spielen. Im Zentrum steht die Politik und Verwaltung (im Wesentlichen das MLUR), welche den höchsten Einfluss haben. Die Wasser- und Bodenverbände stehen ebenfalls im Zentrum des gesamten Wasser-Netzwerkes; sie überlappen sich zum Teil mit der Landwirtschaft, was sich aus der Mitgliederstruktur der Wasser- und Bodenverbände ergibt (sie bestehen zum großen Teil aus Landwirten). Aber auch der Naturschutz und die Selbstverwaltungskörperschaften sind vergleichsweise gut in den Umsetzungsprozess eingebunden. Hingegen sind Tourismus oder auch die Raumordnung als Querschnittsplanung bislang kaum eingebunden – daher die räumliche Distanz in dem Schema zur Governance im Wasser-Sektor.

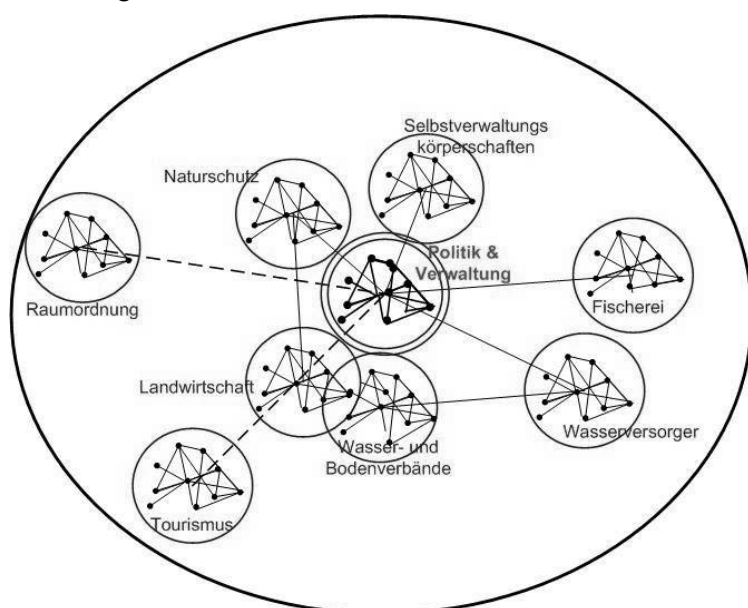


Abb. 6: Akteure und deren Netzwerke beim Umsetzungsprozess der WRRL in Schleswig-Holstein. Eigene Darstellung.

<sup>5</sup> Gespräch mit einem für die Umsetzung der WRRL Hauptverantwortlichen aus dem MLUR.

## Literatur

- Bruns, A. (2007): Die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) in Schleswig-Holstein. Kontext, Prozesse und Ergebnisse der Öffentlichkeitsbeteiligung in der Flussgebietseinheit Eider. CF- Arbeitsbericht. unveröffentlicht. Geesthacht, 70 p.
- EU Working Group Water Framework Directive (2002): Leitfaden zur Beteiligung der Öffentlichkeit in Bezug auf die Wasserrahmenrichtlinie. Brüssel, 84 p.
- Fichter, H. (2003): Vom Naturraum zum politischen Handlungsraum: Neue Governanceformen in veränderten Raumkontexten. In: Moss, T. (Hrsg.): Das Flussgebiet als Handlungsraum. Institutionenwandel durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie aus raumwissenschaftlicher Perspektive. Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung/IRS, Münster, pp. 177-209.
- Fürst, D. (2001): Regional Governance zwischen Wohlfahrtsstaat und neo-liberaler Marktwirtschaft. ohne Ort. 24.
- Moss, T. (2003): Induzierter Institutionenwandel, von oben' und die Anpassungsfähigkeit regionaler Institutionen: Zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland. In: Moss, T. (Hrsg.): Das Flussgebiet als Handlungsraum. Münster, pp. 127-176.
- Neumann, M. (2000): Communicate this! Does Consensus lead to Advocacy and Pluralism? Journal of Planning Education and Research 19, pp. 343-350.
- Newig, J. (2005): Die Öffentlichkeitsbeteiligung nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Hintergründe, Anforderungen und die Umsetzung in Deutschland. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 4, pp. 469-512.
- Scherer, R. (2005): Good Governance- Erfolgsfaktoren und Stolpersteine. Symposium Regional Governance. Wien. ([www.oear.at/OEAR\\_LuStextra\\_RegionalGovernance\\_Scherer\\_2005\\_321KB.pdf](http://www.oear.at/OEAR_LuStextra_RegionalGovernance_Scherer_2005_321KB.pdf)).
- Selle, K. (2004): Kommunikation in der Kritik? In: Müller, B., S. Löb & K. Zimmermann, (Hrsg.): Steuerung und Planung im Wandel. Festschrift für Dietrich Fürst. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp. 229-256.
- Young, O. (1999): Institutional Dimensions of Global Environmental Change. IHDP Report. No. 9. Science Plan. Bonn.

## Adresse

Dipl. Geogr. Antje Bruns  
GKSS-Forschungszentrum  
Institut für Küstenforschung  
Max-Planck-Str. 1  
D-21502 Geesthacht

[antje.bruns@gkss.de](mailto:antje.bruns@gkss.de)



## Vergangenheit und Zukunft des nordfriesischen Wattenmeeres

Kai Ahrendt

Büro für Umwelt und Küste, Kiel

### Abstract

Investigations in the frame of the KFKI-Project "Sedimentinventory Northfrisian Waddensea" show, that the predominant amount of sediment was imported to the waddensea (more or less from the north sea) and came not from internal rearrangement. There is enough sediment inside the system for a growing of the higher parts of the wadden sea following a rising sea level. This leads to steepening of the relief and to coarser sediment. In the non-dyked areas a coarsening from the lower to the upper region (first meter) can be identified. Only where coastal protection measures take place, like dams, reclamation ditches, groynes etc. fine sediment will accumulate. The "biological integrity" of the waddensea will move to a mixed sediment mudflat and sand flat biocenosis. Due to rising sea level additional (upper) areas will be influenced by higher energy input and only coarse sediment can settle down, independent from the availability of fine sediment.

### 1 Einleitung

Kenntnisse der Sedimentdynamik vor der deutschen Nordseeküste sind von grundlegender Bedeutung für Maßnahmen des Insel- und Küstenschutzes sowie für die Stabilität des Wattenmeeres. Die Veränderungen des Meeresbodens resultieren aus dem Zusammenspiel von Sedimentverfügbarkeit und Energiespektrum aus Strömung und Welle, d. h. es muss umlagerungsfähiges Lockersediment in ausreichender Menge und Zusammensetzung vorhanden sein, um unter entsprechenden hydrodynamischen Bedingungen morphologische Strukturen aufbauen bzw. erhalten zu können. Dieses Formeninventar wird von Umlagerungsprozessen auf unterschiedlichen Zeitskalen gesteuert.

Weit zuverlässiger als kleinräumig oder über kurze Zeitspannen erfasste Messdaten gestatten Langzeitbilanzen eine Einschätzung der Auswirkungen des vermuteten Treibhauseffekts, der wahrscheinlich eine Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges nach sich zieht, auf die Stabilität bzw. Anpassungsfähigkeit des Systems Küste. Zudem schafft der Gezeitenhub morphologische Großformen, die an gewisse Korngrößenspektren gebunden sind (Hayes 1979, Ehlers 1988). Sind diese Korngrößen nicht vorhanden, kann sich zwangsläufig kein neues Gleichgewicht einstellen. Dasselbe gilt für die Sedimentmengen in Bezug auf das Mitwachsen der Wattflächen bei einem beschleunigt steigendem mittleren Meeresspiegel.

Im Folgenden sollen die Fragestellungen

- wie viel Sediment wurde nacheiszeitlich in das Gebiet eingetragen,
- woher stammt dieses Material,
- wie ist die granulometrische Zusammensetzung und
- stehen genügend Sedimente für ein Mitwachsen des Wattenmeeres bei einem Meeresspiegelanstieg zur Verfügung?

diskutiert werden.

Das Untersuchungsgebiet reicht von der Geestkante im Osten bis zur Außenküste der nordfriesischen Inseln bzw. den Außensänden im Westen sowie von der deutsch-dänischen Grenze im Norden bis zu



den Nehrungshaken Katharinenherd-Garding-Tating-St. Peter Ording vor Eiderstedt im Süden (Abb. 1).

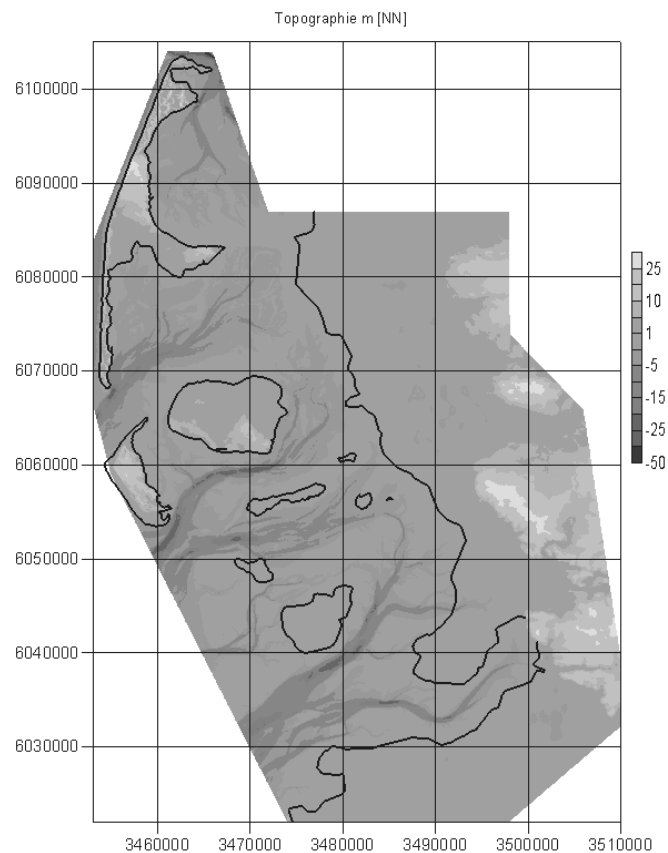


Abb. 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet

### Kurzer Abriss der holozänen Entwicklung

Die sedimentologisch-morphologische Ausgangslage für die natürliche Gliederung Nordfrieslands wurde in der Saale-Eiszeit geschaffen. So wurden im Westen die Moränenkerne von Sylt, Amrum und Föhr sowie relativ hochaufragende sandige Geestsedimente zwischen Amrum und dem Gebiet der heutigen Außensände bis nach Eiderstedt abgelagert. Die weiter westlich gelegenen Mergel- und Sandablagerungen sind heute überwiegend abgetragen. Im Osten bilden die Lecker-, Bredstedter und Husumer Geest die Beckengrenze. Zwischen diese eiszeitlichen Ablagerungen transgredierte vor ca. 128.000 bis 117.000 Jahren das Eem-Meer. In der nachfolgenden Weichseleiszeit, die ihre Geschiebemergelablagerungen weiter im Osten hinterließen, flossen die Schmelzwässer vor allem durch die Schleswiger Vorgeest und die Treene-Eiderniederung nach Westen ab. Sie benutzten teilweise die vorgefundene Eem-Bucht zur Entwässerung zur Nordsee und hinterließ Sanderflächen unterschiedlicher Mächtigkeit. Mit dem weiteren Abschmelzen des Eises stieg der Meeresspiegel rasch an, und die Nordsee stieß immer weiter nach Osten vor. Zu Beginn der Transgressionsphase entstand in der vermoorten Oberfläche der Basistorf. Danach wurden über der allmählich „ertrinkenden“ Pleistozänlandschaft mächtige holozäne Küstensedimente akkumuliert. Im Bereich der „nordfriesischen Rinne“ kann dieser Sedimentkörper Mächtigkeiten von einigen Zehner Metern (max. Endtiefe  $-23,8$  m NN) erreichen. Gegen die östlich gelegene Geestkante keilt dieser Sedimentkörper allmählich aus. Der Anstieg des Meeresspiegels erfolgte zunächst sehr rasch (bis zu 2 m/Jahrhundert). Ab 5.000 v. Chr. nahm die Anstiegsgeschwindigkeit jedoch merklich ab. Zeitweilig kam es zu see- und landwärtigem Verschieben der Küstenlinie. Dabei bildeten sich Torfe im Wechsel mit brackischen und lagunären Schluffen und Tonen. Saale-eiszeitliche Geestkerne westlich von Sylt, Amrum und

nordwestlich Eiderstedt sowie die daran anschließende Nehrungen (ab ca. 5.000 v. Chr. mit Verlangsamung des Meeresspiegelanstieges) schützten zeitweise den Bereich der heutigen Wattgebiete vor dem direkten Angriff des Meeres.

Im ersten Jahrtausend nach Chr. kam es immer öfter zu Überflutungen. Um 1000 n. Chr. begannen die Menschen, das Land teilweise zu bedeichen, zu entwässern und zu kultivieren. Diese Areale wurden dann in großen Teilen durch die verheerende Sturmflut von 1362 überflutet. Das Meer drang damals bis an den Geestrand vor und lagerte die junge Marsch über dem Torf ab. Dieser tief gelegene Bereich bot nun gute Voraussetzungen für die Salzwiesenbildung (König 1987), so dass in Teilbereichen eine sehr schnelle Wiederbedeichung erfolgen konnte.

Ein weiterer gravierender Einschnitt in das Landschaftsbild erfolgte durch die Sturmflut von 1634. Durch diese Sturmflut wurden erneut große Teile Nordfrieslands überflutet, die in der Folgezeit teilweise jedoch wieder eingedeicht werden konnten. Die großen Prielsysteme, die bei dieser Sturmflut entstanden, bestimmen heute noch das Bild des Wattenmeeres.

### **Verwendeter Datenbestand**

Die wichtigste digital verfügbare Datenbasis für die heutige Topographie bildete das Allgemeine Liegenschaftskataster (ALK) mit einer Auflösung von 10 m x 10 m und einer Höhengenaugigkeit von  $\pm 10$  cm sowie die ATKIS-Daten des Landes Schleswig-Holstein.

Für die Wattbereiche konnte auf das digitale Geländemodell des nordfriesischen Wattenmeeres des LANU mit einer Maschenweite von 50 m x 50 m zurückgegriffen werden. Das Geländemodell umfasst den gesamten nordfriesischen Wattenmeerraum und wurde auf der Grundlage der Höheninformationen folgender Kartenwerke erstellt (Spiegel 1997, S. 22):

- KFKI Küstenkarten 1:25000 von 1976/78
- dänische Wattkarten 1:10.000 von 1976
- deutschen Wattkarten 1:10.000 aus den siebziger Jahren

In dieses Geländemodell wurden aktuelle digitale Daten des ALR-Husum aus dem Raum Sylt/Amrum, Eiderstedt, Pellworm und Föhr aus den Jahren 1999 bis 2002 integriert.

Auskunft über die Mächtigkeit und den internen Aufbau des holozänen Akkumulationskeils lieferten 18.848 Bohrungen des LANU. Hinzu kommen die Daten des ALR und der Universität Kiel. Die größte Datendichte ist auf dem Festland sowie den Inseln und Halligen vorhanden. Im Mittel sind dies für eine TK 25 ca. 850 Bohrungen. Nur an der westlichen Begrenzung des Untersuchungsgebietes liegt die Dichte der Bohrungen darunter.

Die Kernbeschreibung erfolgte überwiegend durch anerkannte Wissenschaftler der „Forschungsstelle Westküste“ (aufgegangen im ALR) sowie des LANU. Sie bieten eine verlässliche Grundlage für die stratigraphische Einstufung. Pollenanalytische und mikropaläontologische Untersuchungen standen bei der zeitlichen Einstufung im Vordergrund. <sup>14</sup>C-Altersdatierungen wurden nur in Einzelfällen durchgeführt.

Zusammen mit den Bohrdaten bildeten thematische Karten einen weiteren Teil des Datenbestandes. Hierbei handelt es sich um Karten aus Veröffentlichungen, Berichten des ALR, zahlreiche Gutachten des LANU und Arbeitskarten des Instituts für Geowissenschaften, des geographischen Instituts und des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Universität Kiel. Der Gesamtdatenbestand beläuft sich auf über 20.000 Bohrungen.

### **Vorgehensweise**

Neben der Überführung der analogen in digitale Informationen spielte vor allem die Einpassung sämtlicher geologischer Daten in ein gemeinsames Koordinatensystem eine große Rolle. Da bis auf wenige Ausnahmen alle geologischen Daten im Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem vorlagen, wurden alle Informationen auf dieses Koordinatensystem bezogen.

Bevor die Daten digital erfasst werden konnten, waren z.T. umfangreiche Vorarbeiten notwendig, da möglichst alle Datensätze berücksichtigt werden sollten. So wurden als erstes die Unterlagen hinsichtlich ihrer Qualität überprüft und fehlende Angaben ergänzt. Als vollständig galten nur Datensätze, welche die für das Erstellen der Holozänbasisfläche notwendigen Informationen beinhalteten. Das waren:

- Gauß-Krüger Koordinatenangaben
- Angabe der Bohransatzhöhe auf NN bezogen oder auf NN umrechenbar
- petrographische Beschreibung
- stratigraphische Einstufung
- sowie die für die Ermittlung der Basisfläche notwendige Endtiefe

Grundlage für die Koordinatenermittlung bzw. die Visualisierung der Bohrlokation ist im ALR die TK 25 (1:25.000). Die Lagegenauigkeit der angegebenen Bohrlokation beträgt  $\pm 10$  m. Teilweise waren jedoch die original eingemessenen Koordinaten auf den Bohrprotokollen vorhanden.

Die Daten des LANU werden auf Mikrofilm vorgehalten, die Originale im Landesarchiv in Schleswig gelagert. Das LANU arbeitet auf zwei Maßstabsebenen. Für nicht eingemessene oder ungenaue Koordinaten dient die TK 25 als Grundlage. Für eingemessene Bohrungen bildet die DGK 5 die Basis, wobei sämtliche Bohrungen in diesen Karten vermerkt sind. Es wurden analoge Listen der Bohrungen aufgestellt, die für die weitere Bearbeitung näher ausgewertet wurden. Kriterien waren:

- Ausschluss von „Punktwolken“
- Entfernungstoleranz  $> 100$  m
- Bei Deichtrassen keine Bohrungen durch den Deichkörper, wenn andere zur Verfügung standen

Nach dieser Vorauswahl wurden die Bohrdaten auf ihre Aussagekraft hin bewertet. Bei „Punktwolken“ wurden die tiefsten Bohrungen ausgewählt und die anderen verworfen. Anschließend wurden die Daten überarbeitet und fehlende Informationen ergänzt. Fehlende Koordinaten wurden je nach Lagegenauigkeit der TK 25 ( $\pm 10$  m) oder DGK5 ( $\pm 1$  m) entnommen. Fehlende Ansatzhöhen wurden ebenfalls diesen Karten entnommen, soweit möglich aus der DGK5.

Qualitätsmerkmale waren die Angabe der Lage im Gelände sowie deren Ermittlung, die Angabe des Höhenansatzpunktes sowie dessen Ermittlung, das Erreichen der Holozänbasis, die Qualität und Auflösung der Schichtenbeschreibung sowie der Name des Bearbeiters.

Vielfach konnten Koordinaten und Ansatzhöhen auch den dazugehörigen Gutachten entnommen werden. Parallel wurden fehlende stratigraphische Einstufungen ergänzt, soweit dieses eindeutig möglich war. Ebenso wurde die petrographische Zusammensetzung der obersten drei Meter anhand der angegebenen Mächtigkeit (in Prozentangaben Sand, Anteil  $< 63 \mu\text{m}$  und Torf) bestimmt. Anschließend wurden die Daten mit dem Datenerfassungsprogramm GeoDin digital aufgenommen.

Nachdem die digitale Erfassung im ersten Schritt abgeschlossen war, wurden die Daten geplottet und ein handgezeichneter Isolinienplan erstellt. Parallel wurden digitale Karten mit dem Programm SURFER8 erstellt. Anhand des jetzt vorliegenden Datenmaterials war es möglich, die holozäne Basis in den Bohrungen zu bestimmen, die vorher nicht eindeutig waren. Die Holozänbasis wurde dort angenommen, wo in den Profilbeschreibungen eine Schichtgrenze vermerkt war und wo Nachbarbohrungen eine eindeutige Zuordnung aufwiesen. Die analogen Karten wurden anschließend digitalisiert und der Datenbasis für die digitale Erstellung der Karten hinzugefügt.

Als weiterer Schritt folgte die Variogrammanalyse als Grundlage für das Kriging-Verfahren. Über das Kriging-Verfahren wurde die Tiefenlage der Holozänbasis sowie die Verteilung der Sedimentzusammensetzung der obersten drei Meter ermittelt.

## 2 Auswertung

Nachdem sämtliche Bohrprotokolle soweit vorbereitet waren, dass alle notwendigen Stammdaten (i. e. Koordinaten, Ansatzhöhe, stratigraphische Einstufung) auf den Datenblättern eingetragen waren, konnte mit der digitalen Erfassung des fachspezifischen Programms GeoDin begonnen werden.

Für die Erstellung des digitalen Geländemodells wurden die oben angegebenen Grundlagen verwendet. Aus diesen Daten wurde über das Kriging-Verfahren ein 50 m x 50 m Raster generiert (Abb. 1), welches somit gröber ist, als die Ursprungsdaten. Verständlicherweise weiß das Variogramm daher eine optimale Form auf.

Die Datenbasis für die Ermittlung der Holozänbasis ist auf dem Festland und den Inseln am dichtesten. Größere Datenlücken liegen nördlich des Hindenburgdammes sowie im Bereich Sylt-Ost, Föhrer Schulter und Friedrich-Wilhelm-Lübcke Koog vor (Abb. 2). Aufgrund der unterschiedlichen Ziele der Bohrungen erreichen nicht alle die Holozänbasis. Für Bohrungen, die eindeutig die Holozänbasis nicht erreicht haben, wurde die Basis dort angenommen, wo sie in den nächstliegenden Bohrungen erreicht wurde bzw. es wurde anhand des vorgefundenen pleistozänen Reliefs eine nach geologischem Sachverstand plausible Tiefe angenommen. Für Bohrungen, die tief genug waren aber bei denen keine eindeutige Grenze aus den Bohrprotokollen abgelesen werden konnte, wurde die Grenze dort angenommen, wo ein Fazieswechsel, also eine Schichtgrenze, in einer plausiblen Tiefe ausgewiesen war.

Diese Tiefenangaben wurden als Punktcover geplottet und anschließend die Tiefenlinien per Hand eingezeichnet. Parallel wurde ein erstes Variogramm berechnet und auf dieser Basis die Tiefenlage der pleistozänen Oberfläche digital ermittelt. Ein Vergleich beider Darstellungen machte die offensichtliche Fehlinterpretation der digitalen Ermittlung der Holozänbasis deutlich. In diversen Iterationsschritten wurden Stützstellen gesetzt, bis die digital ermittelte Holozänbasis mit der analog ermittelten übereinstimmte.

Diese Daten stellen die Basis für die Ermittlung der Qualität der errechneten holozänen Basis dar. Für jeden dieser Werte wurde die Abweichung des rechnerisch ermittelten Wertes vom Originalwert bestimmt, die sogenannten „Residuals“. Hierbei ergab sich eine maximale Abweichung von 3,2 m allerdings bei einer mittleren Abweichung von nur  $\pm 0,2$  m. Die Abweichung von 3,2 m des errechneten Wertes vom vorgegeben liegt ganz am Rande des Untersuchungsgebietes im Listland.

Die heutige Geländeoberfläche konnte anhand der verfügbaren Daten erfolgreich konstruiert werden. Sie stellt das Ergebnis einer mehrere 1.000 Jahre andauernden Veränderung des Ausgangsreliefs dar. Für die Beurteilung von Sedimenteinträgen und Umlagerungen musste das pleistozäne Ausgangsrelief zum Zeitpunkt vor dem Eindringen des Nordseewassers rekonstruiert werden. Folgende Kriterien wurden für die Annahme einer nicht durch die Nordsee erodierten Geländeoberfläche getroffen:

- Bodenbildungshorizont; dieser häufig angetroffene Horizont stellt die postglaziale erste Bodenbildung durch Klimaerwärmung dar. Dieser Horizont wird von Geschiebeablagerungen oder fluviatilen Sedimenten unterlagert.
- Basistorf; diese Ablagerung ist durch Stauwasser in Küstennähe oder aber in Senken ebenso durch Stauwasser entstanden, bevor die Nordsee diese Bereiche mit marinen Sedimenten überdeckte.
- Stark humose Basissedimente; diese sind größtenteils mit Bodenbildungshorizonten vergesellschaftet. Größtenteils wird es sich hier um die Ansätze von Bodenbildungshorizonten handeln, die aber nicht als solche in der Kernansprache vermerkt sind.

Sämtliche Bohrungen wurden entsprechend den oben angetroffenen Schichten codiert und anschließend geplottet. Bohrungen, die die Holozänbasis nicht erreichen oder aber keinen der angesprochenen Horizonte aufweisen, wurden anhand benachbarter Bohrungen entsprechend in ihrem Höhenniveau einem plausiblen „Basis-Relief“ angeglichen. Einschnitte durch tiefe Priele in die pleistozäne Basisfläche traten nur selten auf und wurden durch Stützwerte, die sich an benachbarten Bohrungen orientierten, angeglichen. Das weitere Vorgehen entspricht dem der Ermittlung der

heutigen holozänen Basis. Aufgrund dieser Datenbasis wurde das Variogramm erzeugt und die pleistozäne Ausgangsbasis ermittelt. Anschließend wurden wiederum die Residuals errechnet. Die Standardabweichung beträgt wiederum ca. 0,2 m mit den gleichen Extremabweichungen von 3,2 m in den gleichen Bohrungen wie bei der Ermittlung der heutigen Holozänbasis.

Für Sedimentumlagerungen im Wattenmeer wurde ein Szenario angenommen, dass in naher Zukunft maximal die obersten drei Meter oberhalb –5 m NN einer Erosion unterliegen werden. Somit galt es, die sedimentologische Zusammensetzung zu ermitteln. Siebkurven standen für die Untersuchungen nicht zur Verfügung. In den Protokollen wird zwischen tonig/siltigen und sandigen Sedimenten unterschieden. Die vertikale Auflösung beträgt maximal einen Zentimeter. Vielfach wurde aber eindeutig nur in 5 bis 10 cm Einstufungen unterschieden. Die Schichtmächtigkeit beträgt vielfach über einen Meter. So wurde auch aus arbeitstechnischen Gründen die sedimentologische Zusammensetzung auf Meterschichten bezogen und in Prozenten angegeben. Neben Sand und Silt/Ton (<63 µm) wurde noch der organische Bestandteil ermittelt. Dieser wurde allerdings, da er keine Rolle spielte und eine digitale Ermittlung der Verteilung keinen Sinn machte, nicht weiter betrachtet. Im ersten Meter konnten somit die Schichtstärken direkt in Prozent angegeben werden. Der zweite und dritte Meter der Bohrprofile wurde ebenfalls auf die Gesamtverfügbarkeit an Sediment bezogen, da, wenn Material aus dem zweiten Meter freigesetzt werden würde, bereits der erste Meter erodiert worden ist. Somit beziehen sich die Prozentangaben immer auf die betrachtete Gesamtsäule des Sedimentes. Aufschüttungen wie z. B. Deiche oder Warften wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen, da es sich hierbei um lokal begrenzte Sedimentvorkommen handelt. Mit diesen Daten wurden die Variogramme errechnet und anschließend über das Kriging-Verfahren die sedimentologische Zusammensetzung ermittelt.

Die Standardabweichungen der Residuals liegen zwischen 3,2 % und 3,6 %.

### **3 Ergebnisse**

Die Höhenlage der heutigen pleistozänen Oberfläche ist in Abb. 3 dargestellt. Der erste Kontakt des steigenden Meeresspiegels mit der Region erfolgte über das Lister Tief vor mehr als 8.000 Jahren. Die Entwässerung des Hinterlandes nördlich einer Grenze Amrum-Föhr-Festland erfolgte über das Lister Tief in nord-westlicher Richtung. Südlich dieses Bereiches erfolgte die Transgression ca. 500 Jahre später. Die Entwässerung dieses Raumes erfolgte mehr oder minder direkt Richtung Westen. Die Einzugsgebiete der Lecker- und Soholmer Au und der Wiedau waren durch eine Wasserscheide getrennt.

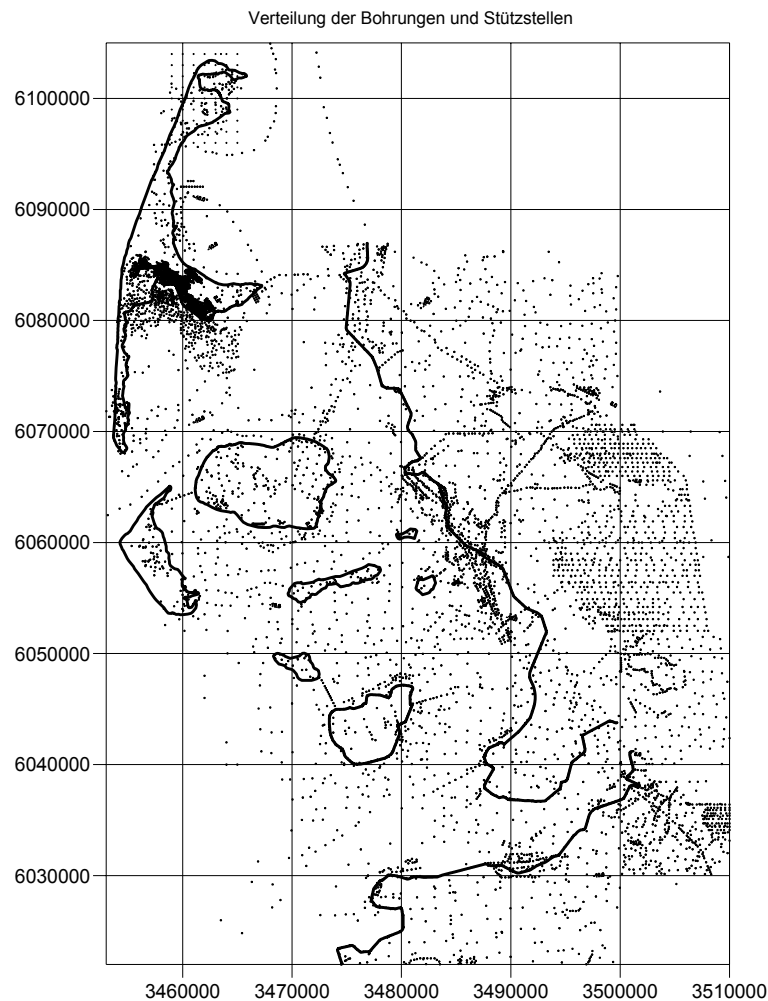


Abb. 2: Verteilung der Bohrungen und Stützstellen

Deutlich sind die Unterschiede zwischen dem nördlichen und dem zentralen bzw. südlichen Bereich von Nordfriesland zu erkennen. Herrschen im Norden die heute noch vorhandenen Geschiebemergelkomplexe von Sylt-Amrum-Föhr vor, so fehlen im südlich anschließenden Bereich entsprechende pleistozäne Hochlagen. Erst vor ca. 6.800 Jahren entwickelten sich mit der Überflutung der Föhrer Schulter die Voraussetzungen für das heutige Wattenmeer. Eine westliche Barriere zwischen Amrum und Eiderstedt kann bis zu diesem Zeitpunkt nicht nachgewiesen werden. Falls es eine solche gegeben haben sollte, wird diese erst durch die Entlastung dieses Bereiches auf Grund des nun nach Norden abfließenden Wasser entstanden sein können. Mit der Abnahme der Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstieges um ca. 6.500 v. h. konnte es anschließend zur Verlandung des Bereiches kommen.

Das Fassungsvermögen des betrachteten Bereiches (Abb. 4) zeigt einen nahezu ausgeglichenen Verlauf mit Ausnahme des Bereiches zwischen  $-9$  und  $-8$  m. Es scheint eine Art „Gleichgewichtsbedingung“, also eine Abhängigkeit von Fassungsvermögen zu Meeresspiegelanstieg, zu geben. Die nicht kontinuierliche Zunahme des Fassungsvermögens zwischen  $-9$  und  $-8$  m kann evtl. mit dem Bereich der Föhrer Schulter in Verbindung gebracht werden. Erst nach Überflutung dieses relativ widerstandsfähigen Bereiches gleicht sich das Fassungsvermögen der ursprünglichen Form wieder an.

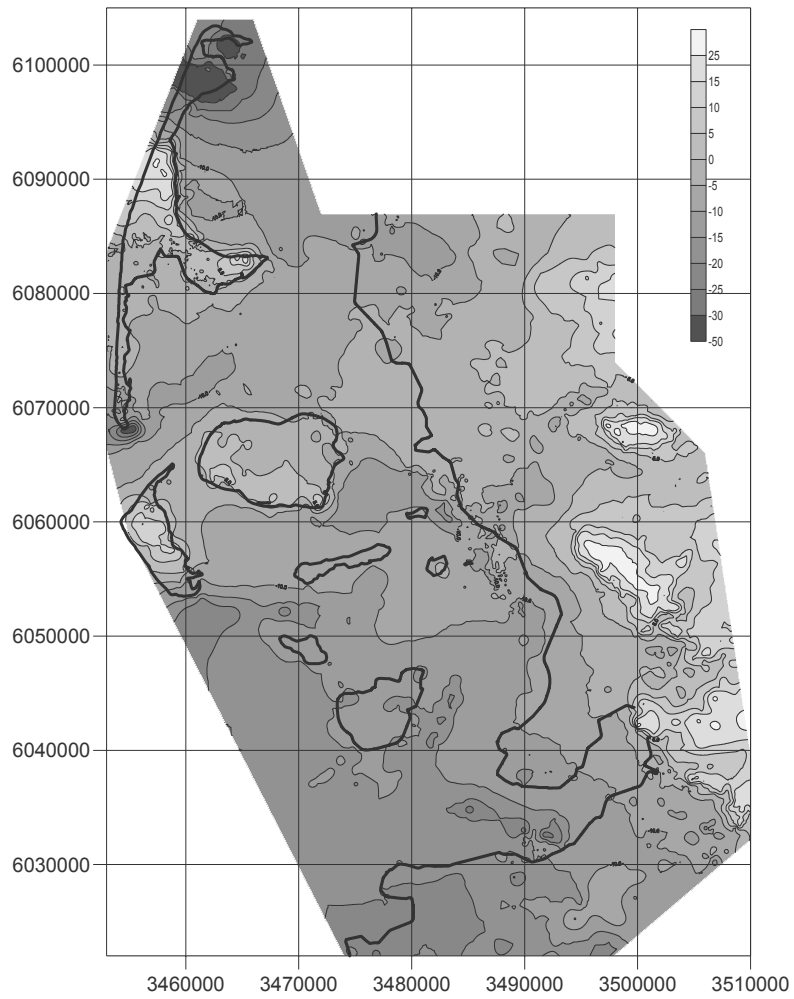


Abb. 3: Tiefenlage der heutigen Holozänbasis

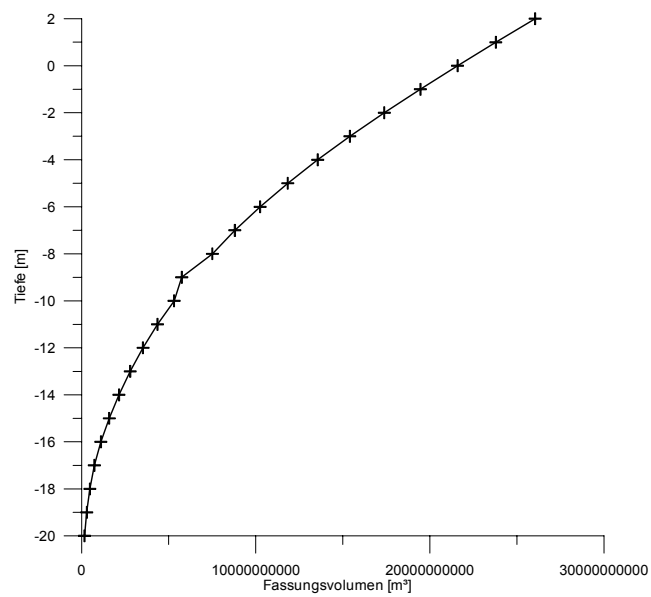


Abb. 4: Fassungsvermögen des Untersuchungsraumes

Für die Beurteilung der Sedimentbilanz wurde der Bereich nördlich des Hindenburgdammes aus der Betrachtung ausgenommen, da hier die Datenlage am unsichersten ist. Tabelle 1 gibt den Überblick über die vorhandenen Sedimentmengen wieder. Das heutige Volumen, also die reale Sedimentmenge, beträgt  $19,867 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Dem stehen  $1,828 \times 10^9 \text{ m}^3$  erodiertes Volumen, also die Differenz zwischen der Ausgangsbasis zu Beginn der Transgression und dem heutigen Volumen gegenüber. Dies entspricht nur 9,2 % des heute vorhandenen Volumens. Aus interner Umlagerung stammen somit maximal 9,2 %. Über 90,8 % des Sedimentvolumens müssen somit von außen eingetragen worden sein. Da keine größeren Flusszuflüsse vorhanden sind, muss dieses Material von der offenen Nordsee eingetragen worden sein (s.a. Hoselmann & Streif 1997). Bei einer Annahme, dass das nordfriesische Wattenmeer ehemals bis NN im Durchschnitt aufgelandet war, reduziert sich die interne Umlagerung auf 8,5 %.

Dem Sedimenthaushalt sind durch Eindeichung ca. 33,47 % des marinen Sedimentes entzogen. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Sedimente hinter den Festlandsdeichen, die einer Mobilisierung nicht zur Verfügung stehen, da davon ausgegangen wird, dass diese Bereiche auch mittelfristig dem direkten Meereseinfluss entzogen sein werden.

Tab. 1: Volumenbilanzen [ $\text{m}^3$ ]

Bezugshorizont	Volumen
Heutiges holozänes Volumen, bezogen auf aktuelle Oberfläche	$19,867 \times 10^9$
Holozänes Fassungsvermögen auf 0 m NN bezogen	$21,592 \times 10^9$
Holozänes Fassungsvermögen auf 1 m NN bezogen	$23,792 \times 10^9$
Holozänes Fassungsvermögen auf 2 m NN bezogen	$26,047 \times 10^9$
Erodiertes pleistozänes Volumen	$1,828 \times 10^9$
Erodiertes Volumen bezogen auf heutiges holozänes Volumen	9,2 %
Erodiertes Volumen bezogen auf NN Volumen	8,5 %
Eingedeichtes holozänes Volumen	$6,65 \times 10^9$
Eingedeichtes Volumen bezogen auf holozänes Volumen	33,47 %

Die sedimentologische Zusammensetzung des obersten Meters des Untersuchungsraumes ist in Abb. 5 beispielhaft dargestellt. Im obersten Meter herrschen in Geestnähe sowie in Eiderstedt die tonig-siltigen Sedimente vor. Westlich der heutigen Seedeichlinie werden die Sedimente relativ schnell gröber, mit Ausnahme der Bereiche um die Inseln und Halligen. Hier machen sich deutlich die ehemaligen Landgewinnungsmaßnahmen bemerkbar. Diese Tendenz setzt sich auch bis in zwei Meter Tiefe fort. Bei der Betrachtung der obersten drei Meter scheinen dann schon die älteren und etwas feineren Sedimente durch. So ist z. B. zwischen Föhr und Hindenburgdamm sowie Oland-Festland eine Verfeinerung dieser Bereiche festzustellen. Die oberen zwei Meter scheinen somit einem höheren Energieeinfluss ausgeliefert gewesen zu sein, als die unterlagernden. Dieses würde auch der oben angesprochenen Zunahme des Energieeintrages entsprechen, dass die oberen Sedimente aufgrund nachchristlicher Zunahme von Sturmflutereignissen entsprechend an Feinkorn verarmt sind.

Für die Ermittlung der Sedimente nach Qualität und Quantität wurde aufgrund des guten Datenbestandes das Einzugsgebiet der Norderaue gewählt. Die Kornzusammensetzung an der aktuellen Oberfläche wurde der geologischen Übersichtskarte CC1518 Flensburg bzw. der Bodenkarte CC1518 Flensburg entnommen. In der geologischen Karte sind 71 % als Sand ausgewiesen, wohingegen die Bodenkarte 84 % Sand ausweist. In der Ton/Silt Fraktion herrscht eine Übereinstimmung von 72 % und in der Sandfraktion von 83 %. Diese Unterschiede sind auf



unterschiedliche Aufnahmemethoden und unterschiedliche Zielrichtungen der Karten zurückzuführen. Außerdem spielt der Aufnahmezeitpunkt der Oberflächensedimente eine entscheidende Rolle. Für die Gesamtbetrachtung eines möglichen zukünftigen Trends in der sedimentologischen Entwicklung können diese Abweichungen als akzeptabel angesehen werden.

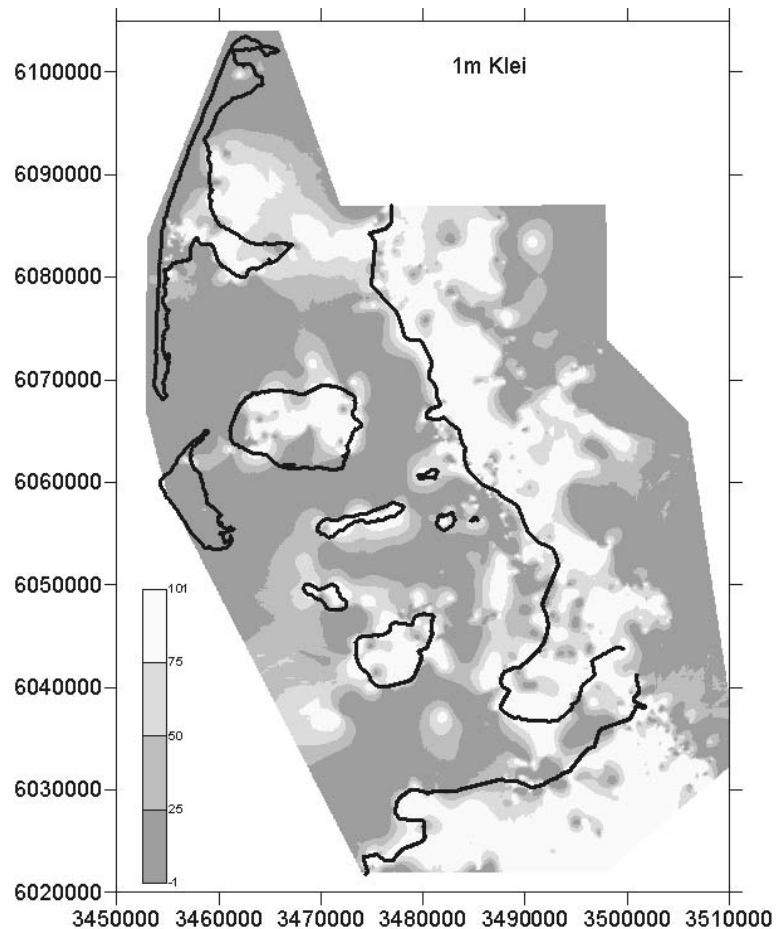


Abb. 5: Prozentualer Kleianteil im obersten Meter

In Tabelle 2 sind die sich aus der vorhergehenden Analyse ergebenden Sand- und Tonanteile in dem Gebiet nach den ersten drei Metern und in unterschiedlichen Höhenstufen zwischen  $-1$  m und  $-5$  m angegeben. Als Szenario wurde angenommen, dass in diesen Bereichen mittelfristig Erosion auftritt und es in den Bereichen zwischen  $-1$  m und  $+2$  m NN zu entsprechenden Sedimentationen kommen kann. In Tabelle 3 sind die unter Annahme von unterschiedlichen Anstiegsraten benötigten Sedimentmengen nach Qualität und Quantität angegeben. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt deutlich, dass für interne Umlagerung genügend Sediment zur Verfügung gestellt werden könnte.

#### 4 Diskussion

Wie aus den obigen Untersuchungen ersichtlich, kam das Material bisher überwiegend aus der Nordsee und nicht aus interner Umlagerung. Auch wenn die benötigten Mengen im Verhältnis zur möglichen Erosion der Prieleränder relativ gering sind, wird erwartet, dass besonders das Feinkorn nur noch in den Bereichen zur Ablagerung kommt, wo entsprechende Küstenschutzmaßnahmen, wie z.B. Lahnungen, Gruppen oder Verbindungsdämme durchgeführt werden. D.h., dass die „biologische Integrität“ des Wattenmeeres sich in Richtung Biozönosen des Misch- bis Sandwattes verschieben wird. Durch den steigenden Meeresspiegel werden Flächen, die heute noch als relativ stabil gelten, in

den Bereich der Erosion kommen. Unabhängig von der Sedimentverfügbarkeit können sich die obersten Bereiche des Wattenmeeres nur mit sandigem Material auffüllen. Dieser Prozess wird auch von Flemming & Bartholomä (2002) beschrieben. Der von Streif (1990) beschriebene „Bulldozereffekt“, d.h., das Herantransportieren von Sedimenten aus der Nordsee Richtung Wattenmeer setzt voraus, dass genügend Sedimente in entsprechenden Tiefen vorhanden sind. Früher kamen hier vor allem die eiszeitlichen Ablagerungen als Liefergebiete in Frage. Diese sind heute jedoch abgetragen. Die Kartierung von Figge (1998) weist nur einen geringmächtigen Sedimentschleier, bestehend aus Sanden, über einem dichter gelagerten Untergrund auf. Zurzeit scheint sich hier eine Art „Gleichgewicht“ zwischen Wassertiefe und hydrodynamischer Energie (i.e. Wellenenergie) vorhanden zu sein, so dass überwiegend ein küstenparalleler Sedimenttransport stattfindet. Da das heutige Gefälle aufgrund der künstlichen Fixierung der Ostgrenze des Wattenmeeres steiler ist (z.B. Verkürzung der Distanz zur ca. -10 m Tiefenlinie von 40 km auf 32 km auf Höhe des Beltringhardener Kooges) als das postglaziale bzw. vorchristliche (ca. 1.700 – 1.000 v. Chr.), kann seewärtiges Material kaum noch ins Wattenmeer eingetragen werden. Nennenswerte Materialmengen ständen nur in den Inselkernen von Amrum, Sylt und Föhr zur Verfügung. Gerade diese Kombination macht aber zum Beispiel durch Sandvorspülungen den Küstenschutz für die Geestkerninseln kalkulierbarer gegenüber den eher unkalkulierbaren Bereichen des Wattenmeeres.

Es wird erwartet, dass mittelfristig die eulitoralen Flächen abnehmen werden und sich die Sedimentzusammensetzung vergrößern wird. Dies hat entsprechende ökologische und küstenschutztechnische Auswirkungen. Konnte das Wattenmeer von 5.000 bis 1.000 v.h. anscheinend problemlos mitwachsen, so ist seitdem eine Erosionstendenz zu verzeichnen. Spätestens die Sturmflut von 1362 markiert diesen Wendepunkt in der Sedimentbilanz. Seit diesem Zeitpunkt sind zwar große Teile des Wattenmeeres aufgelandet und eingedeicht worden, der nichteingedeichte Bereich wird aber seitdem erodiert, wie die großen Prielläufe der heutigen Zeit zeigen. Ohne anthropogene Maßnahmen wird somit die Vergrößerung der Sedimente und die Erosion durch die großen Prielsysteme weitergehen. Auffällig ist auf den Karten der Sedimentverteilung, dass nur in Bereichen nördlich vom Hindenburgdamm und auf den hohen Wattrücken noch feineres Material anzutreffen ist. Dies würde bedeuten, dass Dämme vom Festland nach Föhr-Amrum und nach Pellworm sowie verstärkte Vorlandarbeiten hier kurzfristig die Feinkornsedimentation fördern könnten und damit zur Erhöhung der Biodiversität und zur Stabilisierung des Wattenmeeres beitragen können. Mittelfristig werden aber auch diese Maßnahmen der Erosion bei steigendem Meeresspiegel nicht entgegenwirken können.

Eine Alternative zu diesen Möglichkeiten stellt die kontrollierte Ausdehnung des Wattenmeeres nach Osten dar. Eine dem klimabedingten Meeresspiegelanstieg angepasste Landnutzung sollte dabei im Vordergrund stehen. Landwirtschaftliche Anpassung an semi-marine Bereiche bei gleichzeitigem Erhalt des Wattenmeeres durch neuen Flutraum würde nicht nur eine kulturhistorische Bereicherung des Bereiches darstellen, sondern auch neue und nachhaltigere Einkommensmöglichkeiten in der Region sowohl für die Landwirtschaft aber auch für den Tourismussektor sowie im weiteren Sinne durch Aquakultur auch der Fischereiwirtschaft schaffen.

Tab.2: Korngrößenanteile der obersten drei Meter

Sandanteil im oberster Meter	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	903102,31
Zwischen –3 m und –4 m:	973663,90
Zwischen –3 m und –2 m:	1771681,28
Zwischen –2 m und –1 m:	4115260,47
Sandanteil in den obersten zwei Metern	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	1904198,4
Zwischen –3 m und –4 m:	1934711,6
Zwischen –3 m und –2 m:	3485584,0
Zwischen –2 m und –1 m:	8700428,0
Sandanteil in den obersten drei Metern	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	2807210,4
Zwischen –3 m und –4 m:	2845269,0
Zwischen –3 m und –2 m:	5045182,26
Zwischen –2 m und –1 m:	12556484,7
Anteil <0,63mm im obersten Meter	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	83486,00
Zwischen –3 m und –4 m:	157869,10
Zwischen –3 m und –2 m:	311322,20
Zwischen –2 m und –1 m:	688960,60
Anteil <0,36mm in den obersten zwei Metern	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	206895,4
Zwischen –3 m und –4 m:	341388,4
Zwischen –3 m und –2 m:	663178,6
Zwischen –2 m und –1 m:	146179,8
Anteil <0,63mm in den obersten drei Metern	m <sup>3</sup>
Zwischen –4 m und –5 m:	331401,0
Zwischen –3 m und –4 m:	1509517,8
Zwischen –3 m und –2 m:	676055,4
Zwischen –2 m und –1 m:	2298100,5

Tab.3: Benötigte Sedimentmengen nach erwarteter Geländeerhöhung

Erhöhung des Bodenniveaus um:	Ton zwischen -1 m und +2 m NN	Sand zwischen -1 m und +2 m NN	Ton zwischen -1 m und 0 m NN	Sand zwischen -1 m und 0 m NN	Ton zwischen 0 m und 1 m NN	Sand zwischen 0 m und 1 m NN	Ton zwischen 1 m und 2 m NN	Sand zwischen 1 m und 2 m NN
0,25 m	637525	1827405	194452,5	1599195	367990	224227,5	75082,5	5927,5
0,5 m	1275050	3654810	388905	3198590	735980	448455	150165	11855
0,75 m	1912575	5482215	583357,5	4797885	1103970	672682,5	225247,5	17782,5
1,0 m	2550100	7309620	777810	6397180	1471960	896910	300330	23710

## Literatur

- Ehlers, J. (1988): The Morphodynamics of the Wadden Sea. 379 p., Balkema Verlag.
- Figge, K. (1998): Materialinventur an der deutschen Nordseeküste. - KFKI-Vorhaben FKZ 03 KIS 306, (unveröff.).
- Flemming, B. & A. Bartholomä (2002): Sedimentation und Erosion an der Nordseeküste. In : Lozan, J.L., E. Rachor, K. Reise, J. Sündermann & H. v. Westernhagen (eds.): Warnsignale aus Nordsee und Wattenmeer. S. 57-61.
- Hayes, M.O. (1979): Barrier Island Morphology as a Function of Tidal and Wave Regime. In: Leathermann (eds.): Barrier Islands.
- Hoselmann, C. & H. Streif (1997): Bilanzierung der holozänen Sedimentakkumulation im niedersächsischen Küstenraum. - Z. dt. geol. Ges. 148 (3-4), 431-445.
- König, D. (1987): Historisches über Wattenmeer-Salzwiesen. In: Kempf, N., J. Lamp & P. Prokosch (Hrsg.): WWF Tagungsbericht 1- Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur. Husumer Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum, S. 31-70.
- Spiegel, F. (1997): Die Tidebecken des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres: Morphologische Strukturen und Anpassungsbedarf bei weiter ansteigendem Meeresspiegel. - Ber. Forschung. u. Technologiez. Westküste, 14, Büsum.
- Streif, H. (1990): Das Ostfriesische Küstengebiet - Nordsee, Inseln, Watten und Marschen. Samml. Geol. Führer, 57.

## Adresse

Dr. Kai Ahrendt  
 Büro für Umwelt und Küste  
 Steinstr. 25  
 D-24118 Kiel

ahrendt@iczm.de





## Hydrodynamische Entwicklung der Tideelbe

Maja Fickert & Thomas Strotmann

Hamburg Port Authority – HPA

### Abstract

The river bed of the Elbe below Geesthacht underlies a dynamic hydromorphological change. Unquestioned besides the natural processes also the anthropogenic impacts as fairway construction and coastal protection have a stake. To ensure the competitiveness of the Port of Hamburg it is necessary to adapt its seawards access to the shipbuilding developments on occasion. The last deepening of the fairway of the lower and outer Elbe to the requirements of the world wide container traffic was carried out in 1999/2000. The adaptation of the port access generally causes a significant interference to nature, by which not only the flora and fauna changes but also the dynamics of the tidal wave in the estuary. The modified water depths and fairway widths may influence the tidal water levels, and with it the tidal amplitude, the periods of the high and low water levels (shortening of the flood and corresponding lengthening of the ebb durations) as well as the flood and ebb flow velocities. To analyse these changes the impact monitoring report of the last fairway deepening established an extensive monitoring programme. The results of the monitoring will be integrated in long term statistical analyses of the development of the tidal dynamics of the Elbe since the beginning of its intensified use. Marginally also the issue of the dredging amounts in the whole estuary is addressed.

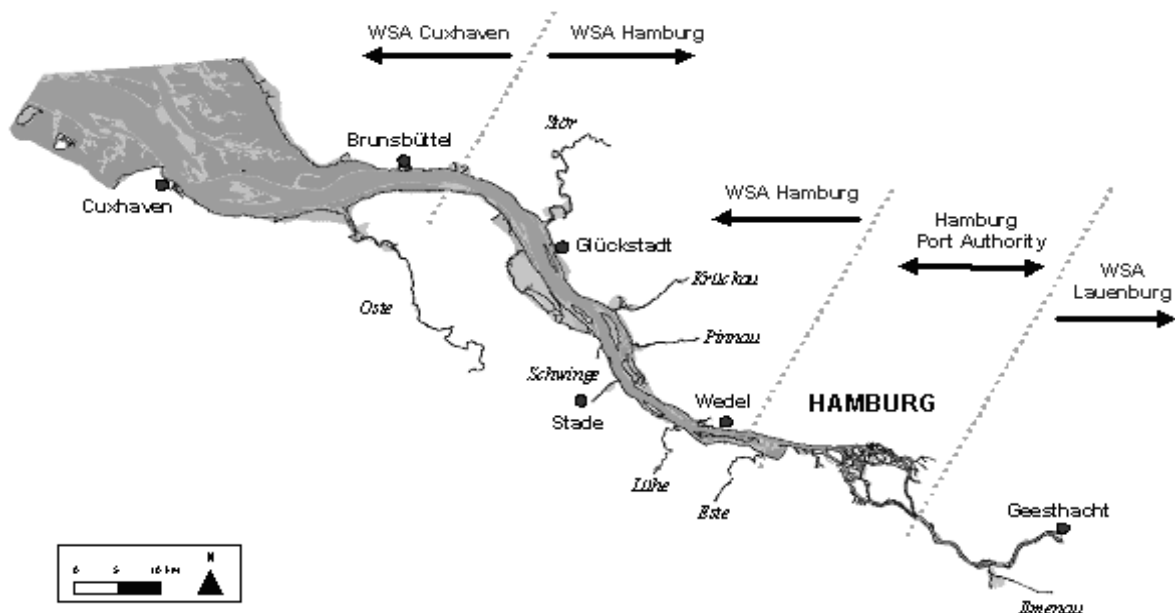


Abb. 1: Die Tideelbe vom Wehr in Geesthacht bis zur Nordsee

## 1 Einführung

### Die Tideelbe – ein Ästuar

Die tidebeeinflusste Elbe ist ein seit Jahrhunderten stark anthropogen verändertes Ästuar. Die grundsätzlichen Wirkmechanismen und Zusammenhänge in einem Ästuar werden im Folgenden anhand eines natürlichen, unveränderten Ästuars erläutert (siehe Abb. 2).

Von einem Randmeer dringt die Tidewelle in das Ästuar ein, bis ihre Energie (ausgedrückt durch den Tidehub) infolge Reibungsverlusten aufgezehrt wird. Die Position, an der kein Tidehub mehr registriert wird, ist die Tidegrenze. Im Ästuar kommt es zu einem Zusammentreffen von frischem Oberwasserabfluss und dem salzhaltigen Meereswasser, so dass sich eine Brackwasserzone ausbildet. Aus dem Umland erfolgen weitere Frischwasserzuflüsse. Typisch für Ästuarie ist auch die Ausbildung von Nebenarmsystemen bzw. Mehrkanalsystemen. In einem breiten Flusstal hat der Fluss idealerweise genügend Raum um frei zu mäandrieren, wodurch jeweils auch ein erheblicher Teil der einschwingenden Tideenergie aufgezehrt wird. Natürlicherweise besitzt ein Ästuar in der Mitte des Querschnitts einen tieferen Bereich und an den Seiten auslaufende Vorländer.

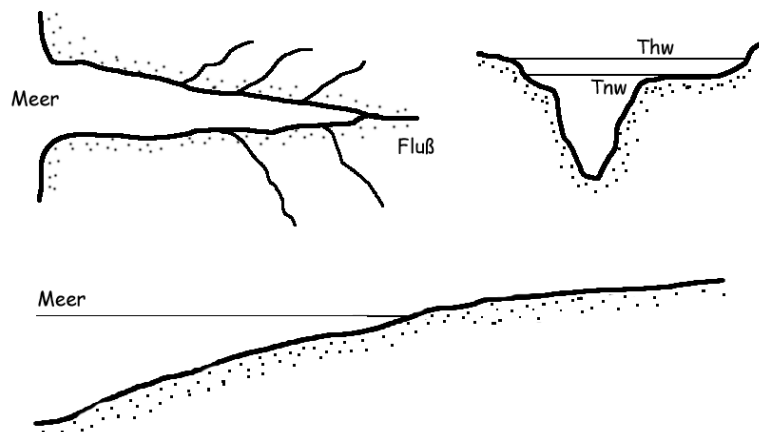


Abb. 2: Draufsicht, Querschnitt und Längsschnitt eines natürlichen Ästuars

Im Gegensatz zu einem natürlichen Ästuar, welches zur Tidegrenze gleichmäßig ansteigt, ist die Elbe mittlerweile stark anthropogen überprägt. Die Fahrrinne wurde bisher auf eine Tiefe von -16,70 mNN ausgebaut, wobei ein Sockel zwischen Wedel und Otterndorf in einer Höhe von -15,80 mNN belassen wurde. Im Raum Hamburg nimmt die Tiefe erst auf -11,40 mNN ab, in Höhe der Elbbrücken ist die Elbe dann nur noch ca. -6,40 mNN tief. An diesen beiden „Stufen“ wird die einlaufende Tidewelle teilreflektiert.

Des Weiteren wurde 1960 das Wehr Geesthacht in Betrieb genommen. Somit hat die Elbe hier außer im Sturmflutfall eine künstliche Tidegrenze. Im Sturmflutfall wird das Wehr gelegt und die Tide kann weiter vordringen. Mit der Errichtung des Wehres hat sich die Tidedynamik auch durch veränderte Reflexionsbedingungen gewandelt.

### Tidekurve

Die Tide der Elbe ist halbtägig, wobei eine Tide im Schnitt 12 Stunden 25 Minuten dauert. Die Fortschrittsgeschwindigkeit der Welle ist primär von der Wassertiefe abhängig. Bereits durch Reflexion in der Deutschen Bucht ist die in das Ästuar einlaufende Welle verformt. Die Flutdauer (DF) ist kürzer als die Ebbedauer (DE), die Welle steilt sich beim Einlaufen ins Ästuar aufgrund der schnelleren Fortschrittsgeschwindigkeit des Wellenberges im Vergleich zum Wellental weiter auf. Dargestellt sind in Abb. 3 neben den bekannten Parametern der Tidekurve wie Tideniedrig- (Tnw) und

Tidehochwasser (Thw) zusätzlich das Tidemittelwasser (Tmw), also der Schwerpunkt der Tidekurve. Zur Berechnung des Tidemittelwassers wird die gesamte Ganglinie der Tidekurve benötigt.

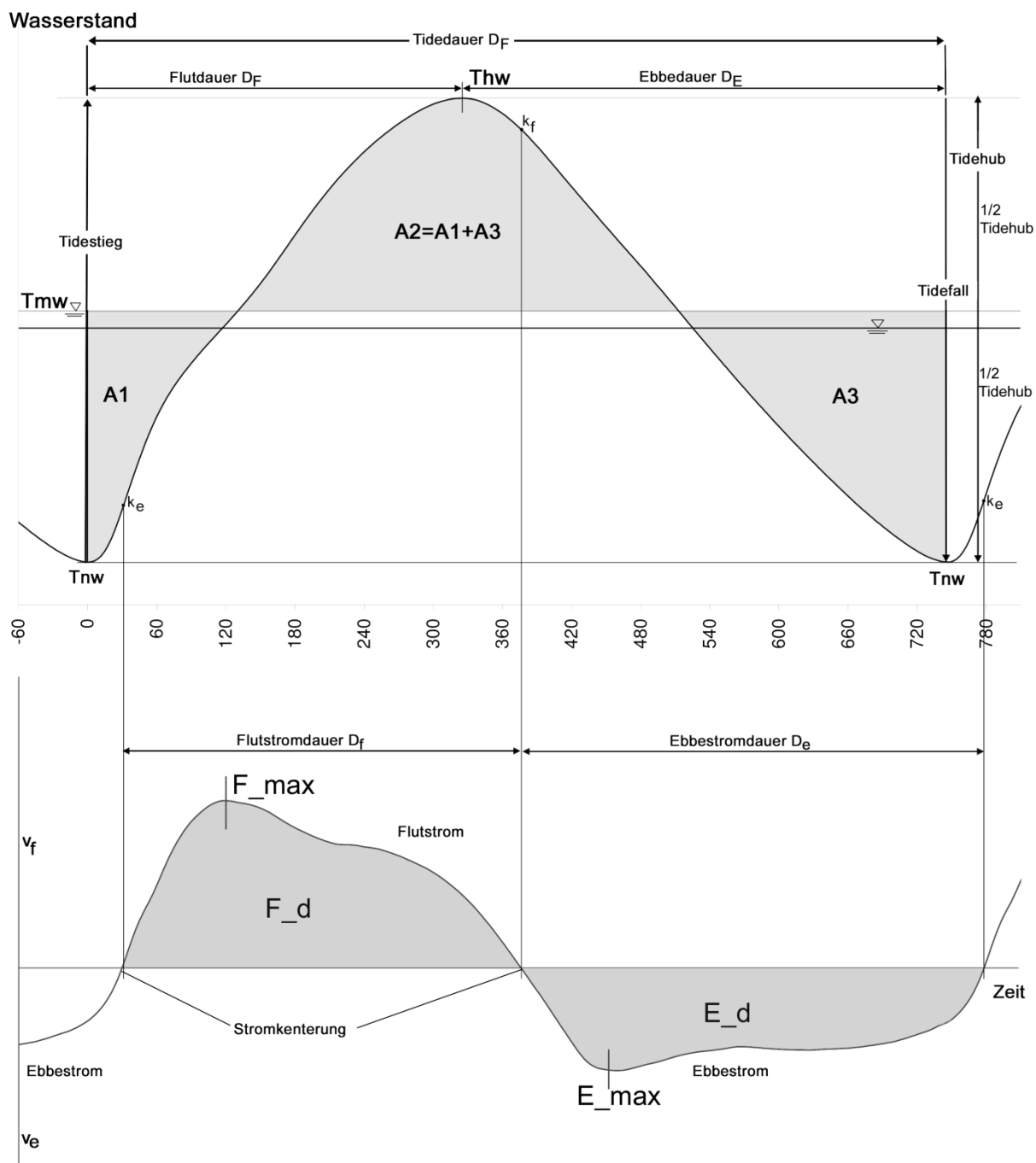


Abb. 3: Tidekurve mit Strömungsgeschwindigkeiten (über drei Monate gemittelte Werte des Pegels Lühort und Dauermessstation Hanskalbsand; nach Zanke 2002)

An der Lage der Kenterpunkte ( $k_e$  und  $k_f$ ) lässt sich die Reflexionseigenschaft des Ästuars ablesen. Liegen in freien Ozeanen die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in den Scheitelpunkten und die Kenterpunkte auf der Tidemittelwasserlinie, verschieben sich oberstrom die Kenterpunkte – wie hier eingezeichnet – Richtung Scheitelpunkte. Die Strömungsmaxima hingegen verschieben sich in Richtung des Tidemittelwassers. Der Flutstrom weist einen gut erkennbaren Peak auf ( $F_{max}$ ), der gegenüber dem maximalen Gradienten des Wasserstandes zeitversetzt auftritt.



## 2 Langzeitstatistische Untersuchungen

### Wasserstände Pegel Cuxhaven

Betrachtet man zunächst die Entwicklung der mittleren Scheitelwasserstände an einem küstennahen Pegel im Mündungsgebiet der Elbe, hier bei Cuxhaven, so lässt sich für diese Position über einen Zeitraum von 100 Jahren ein relativ gleichmäßiger Anstieg der aufgetragenen Wasserstandsparameter beobachten. Aufgetragen sind in der Abb. 4 das MThw und das MTnw. Der verhaltene Anstieg der mittleren Scheitelwasserstände spiegelt sich auch in der Entwicklung des mittleren Tidehalbwassers MT1/2w wieder.

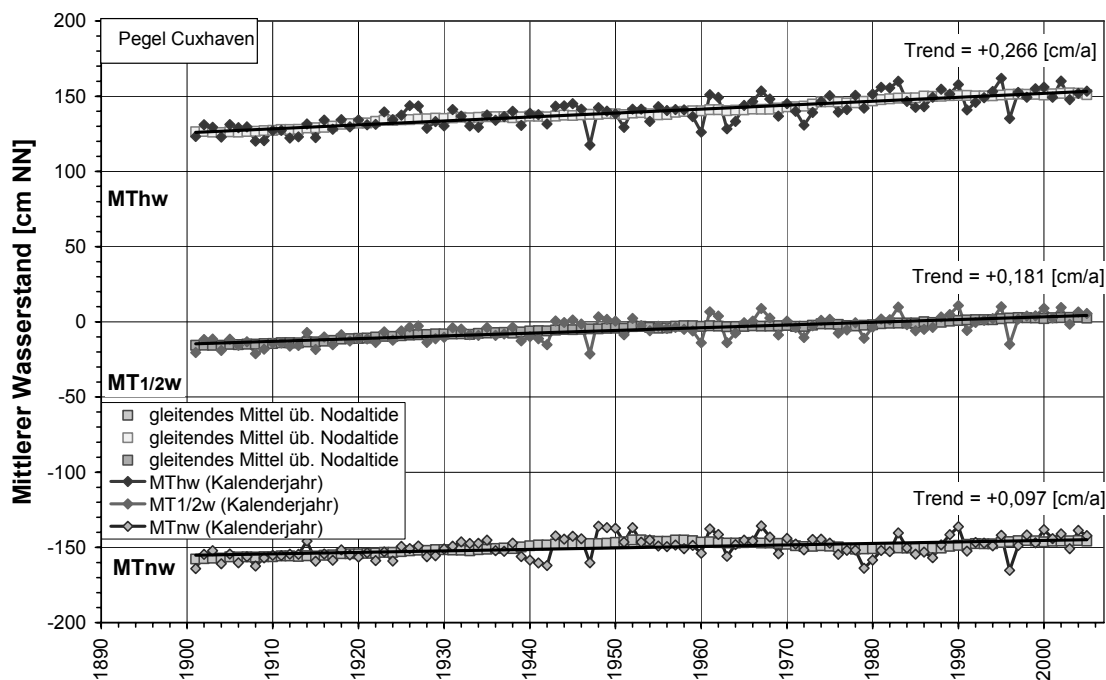


Abb. 4: Wasserstände am Pegel Cuxhaven von 1900-2006

Der Meeresspiegelanstieg und der gleichzeitig gestiegene Tidehub verursachen, dass die linearen Trends unterschiedliche Steigungen aufweisen, wobei der stärkere Anstieg des MThw mit 26,6 cm/Jh. gegenüber dem MTnw mit knapp 10 cm/Jh. schon sehr deutlich ausfällt. Im Mittel resultiert daraus ein Anstieg von rd. 18 cm/Jh. für das MT1/2w. Es kann davon ausgegangen werden, dass das MT1/2w dem über Flächenermittlung berechneten Tidemittelwasser folgt und dieser Anstieg tendenziell auch auf den mittleren Meeresspiegel übertragen werden kann, da bei Bemessungsfragen im Hochwasserschutz bekanntlich mit einem so genannten säkularen Meeresspiegelanstieg von 25-30 cm/Jh. gerechnet wird.

Diese Beobachtungen und Analysen decken sich tendenziell und von der Größenordnung her auch mit den Ergebnissen, die Jensen & Mudersbach, 2004 für die Jahressangreihe von 1843 bis 2001 für den Pegel Cuxhaven herausgefunden haben (MThw-Anstieg = 25,8 cm/Jh. MTnw-Anstieg = 16 cm/Jh.). Die Differenzen, insbesondere beim MTnw, sind in der unterschiedlich langen Datengrundlage begründet.

Die über die Periode einer Nodaltide (18,6 Jahre) gleitenden Mittelwerte (gleichwertig zur Anwendung eines Tiefpassfilters) weisen nur geringfügige Abweichungen vom linearen Trend auf. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass diese langfristige und stetige Entwicklung im

Wesentlichen durch den Anstieg des globalen Meeresspiegels verursacht wird. Diese eustatischen Veränderungen sind dabei von Veränderungen der Trennlinie Meer-Land zu unterscheiden, die durch tektonische Bewegungen aus geologischen Prozessen entstehen. Diese tektonischen Effekte sind in den Pegelaufzeichnungen enthalten.

Trotz der gegebenen natürlichen Variabilität im Jahresgang infolge meteorologischer Einflüsse (z. B. infolge außergewöhnlicher Wetterlagen wie in den extremen Eiswintern in 1946/47 und 1995/96) streuen die Jahresmittelwerte um die lineare Trendlinie nur gering. Es sind keine Indizien dafür zu erkennen, dass die Scheitelwasserstände am Pegel Cuxhaven auch nur gering beeinflusst werden durch die vielfältigen anthropogenen Eingriffe in das hydrologische System der Unter- und Außenelbe der vergangenen 100 Jahre. Vielmehr bewegen sich die Scheitelwasserstände in der Größenordnung der natürlichen Schwankungen.

### Wasserstände Pegel St. Pauli

Erwartungsgemäß weist die Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli über die vergangenen 136 Jahre betrachtet (Abb. 5) wesentlich größere Veränderungen als der Pegel Cuxhaven auf. Hier im Stromspaltungsgebiet spiegelt sich die Überlagerung der externen natürlichen Einflüsse wie die Entwicklung der Wasserstände in der Nordsee und die Variabilität des Oberwasserabflusses mit den anthropogenen Eingriffen unterschiedlichster Art in das natürliche Gleichgewichtssystem der Tideelbe unterhalb und oberhalb Hamburgs sowie im Hafen selbst besonders deutlich wider.

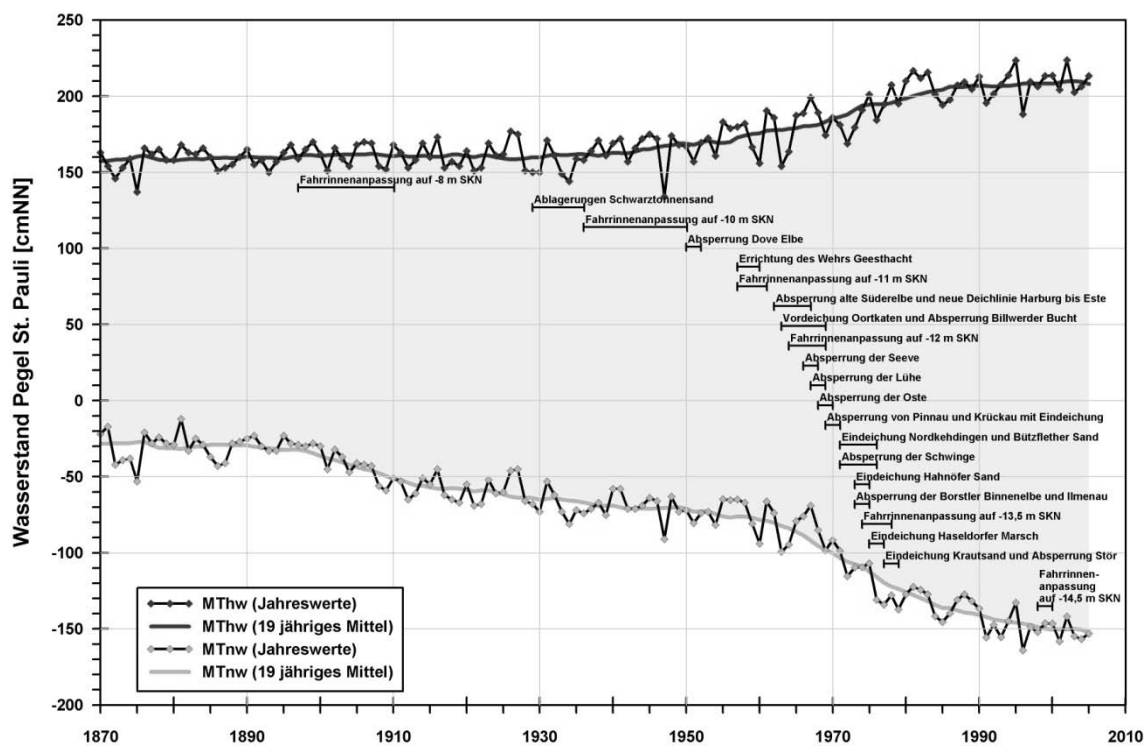


Abb. 5: Wasserstände am Pegel St. Pauli von 1870-2006

Betrachtet man zunächst die Entwicklung des MTnw, so ist bereits Anfang des vergangenen Jahrhunderts, korrespondierend zu den ersten größeren Vertiefungsbaggerungen zur Beseitigung der großen Barren zwischen Blankenese und Wedel, ein signifikantes Absinken des MTnw von rd. 20 cm zu registrieren.

Gingen die frühen Ausbaumaßnahmen zunächst noch einher mit der Anlage neuer Hafenbecken im Hamburger Hafen, die zu einer teilweisen Kompensation der Auswirkungen auf den Tidenhub führten,

so folgten zwei weitere Ausbaustufen nach dem 2. Weltkrieg bis auf -11 m SKN, die von einem kontinuierlichen Absinken des MTnw in der Größenordnung von 0,45 cm/a begleitet wurden.

Die Fahrrinnenanpassungen bis zur Anpassung auf -11 m SKN betrafen hauptsächlich den Bereich oberhalb Glückstadt (siehe Abb. 1). Am Ende dieser Periode steht schließlich die Errichtung einer Tidebarriere durch das 1960 in Betrieb genommene Wehr in Geesthacht.

Die Beurteilung der in den '60er und '70er Jahren folgenden Maßnahmen sind daher zwingend auch im Zusammenwirken mit dieser das Schwingungsverhalten der Gezeitenwelle im gesamten Ästuars nachhaltig verändernden Tidebarriere zu betrachten. Überlagert wird dieser nachhaltige Eingriff insbesondere auch durch die unzähligen Hochwasserschutzmaßnahmen nach der '62er-Sturmflutkatastrophe. Die damit verbundene drastische Verringerung von Fluträumen durch Eindeichung großer Marschenflächen und Abriegelung der Nebenflüsse durch Sperrwerke hat in Verbindung mit der aus heutiger Sicht zweifelhaften Entnahme von mehr als 30 Mio. m<sup>3</sup> Sand im Zuge des KN -13,5 m-Ausbaus für den Deich- und Straßenbau ohne Zweifel zu der kontinuierlichen Veränderung des Tideregimes der Elbe beigetragen.

Die Schaffung von Landflächen im Hamburger Hafen (ca. 190 ha) durch die seit Mitte der '80er Jahre wiederholt vorgenommene Verfüllung verschiedener Hafenbecken hat sicherlich zur weiteren Entwicklung der Wasserstände im Stromspaltungsgebiet beigetragen.

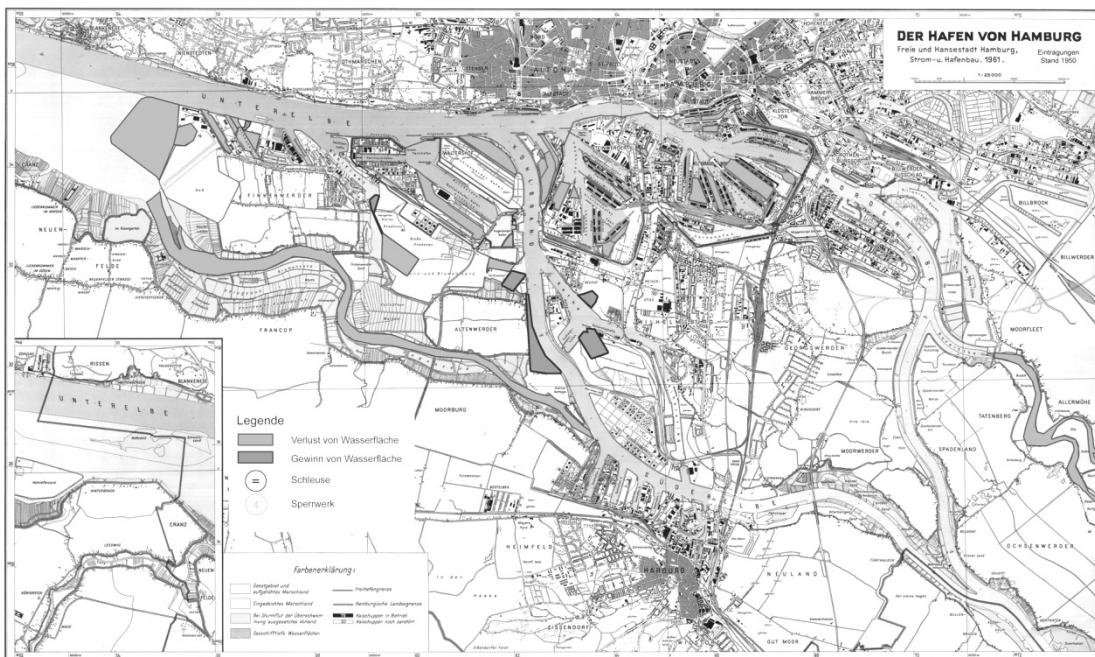


Abb. 6: Reduzierung des Tidepotentials in Hamburg (seit ca. 1950)

Die einzelnen Wirkungen der anthropogenen Eingriffe lassen sich aufgrund der Überlagerung mit dem durch die jeweils vorausgegangenen Maßnahmen initiierten morphologischen Nachlauf quantitativ nur schwer zuordnen. Es ist jedoch offensichtlich, dass ein vergleichbar signifikanter Anstieg des mittleren Hochwasserscheitels (MThw) wie er in den '60er und '70er Jahren registriert wurde, bei den vorangegangenen Ausbauten des Fahrwassers zwischen 1900 und 1950 und bei der Fahrrinnenanpassung 1999/2000, die mit der bereits angesprochenen Sockellösung ausgeführt wurde, nicht zu beobachten ist.

Insgesamt kann bei der Entwicklung des MThw am Pegel St. Pauli seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts eine Zunahme von rd. 50 cm verzeichnet werden, wovon gute 80 % auf den Anstieg in den '60er und '70er Jahren entfallen. In den '80er Jahren hat sich dieser Trend bzgl. des MThw

erfreulicherweise abgeschwächt und seit Anfang der '90er kann man für das mittlere Hochwasser wieder von relativ konstanten Verhältnissen ( $dh/dt = 0,1 \text{ cm/a}$ ) sprechen.

Auch für das MTnw hat sich der beschleunigte Abwärtstrend der '60er und '70er Jahre seit Mitte der '80er Jahre zusehends verlangsamt. Gleichwohl deutet der unvermittelt anhaltende Abwärtstrend des MTnw darauf hin, dass das Tideregime der Elbe den angestrebten dynamischen Gleichgewichtszustand vor dem Beginn der Fahrrinnenanpassung 1999/2000 noch nicht wieder erreicht hatte.

Betrachtet man die Veränderung der Wasserstände zunächst unabhängig von der Entwicklung der äußeren Einflussgrößen, so ist für den Pegel St. Pauli über das vergangene Jahrhundert hinweg ein Anstieg des mittleren Tidenhubs um 160 cm auf heute 360 cm zu verzeichnen

Nicht nur die Wasserstände veränderten sich in den vergangenen Jahrzehnten, sondern auch andere hydrologische Parameter. Im Rahmen dieses Beitrags wird im folgenden Kapitel auf die Änderungen der Tidedauern eingegangen.

### Langzeitstatistische Untersuchungen Tidedauern Cuxhaven/ St. Pauli

Für eine Einordnung der aktuellen Variabilität der mittleren Tidekurve ist eine langzeitstatistische Betrachtung der für die Form kennzeichnenden Kenngrößen Flut- und Ebbedauer sowie die Entwicklung der Tidelaufzeiten ein geeignetes Mittel. Die Analyse dieser Tidekenngrößen erlaubt in Verbindung mit den Wasserständen möglicherweise ergänzende Rückschlüsse auf die Ursachen eines sich fortgesetzt ändernden Tidegeschehens.

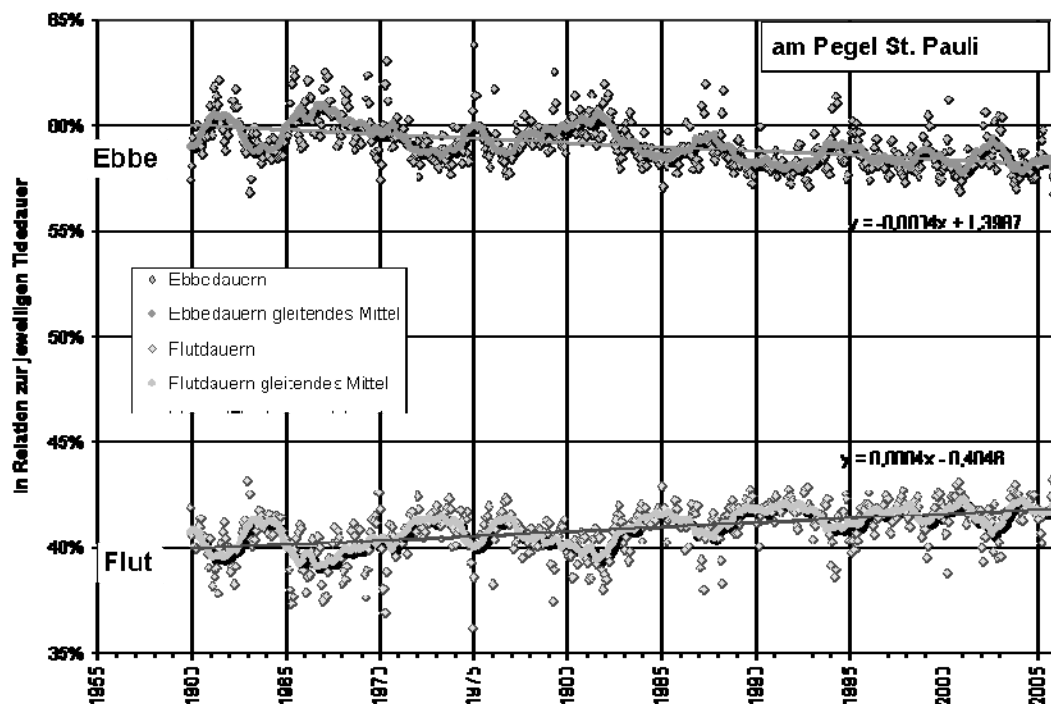


Abb. 7: Entwicklung der Tidedauern am Pegel St. Pauli seit 1960

Während das Verhältnis von Flut- zu Ebbedauer seit Beginn des berücksichtigten Zeitraumes von 1960-2005 am Pegel Helgoland mit 45,5 % zu 54,5 % der Tidedauer auf eine leichte Asymmetrie hinweist (hier nicht dargestellt), verkürzt sich die Dauer der Flutphase stromaufwärts immer weiter bis zu einem Verhältnis von 40 % zu 60 % am Pegel St. Pauli (vgl. Abb. 7). Dabei hat die Dauer der Flutphase im Revier in den letzten 45 Jahren zu Lasten der Ebbedauer spürbar zugenommen. So hat die Dauer einer mittleren Flutphase am Pegel St. Pauli von 298 auf 311 Min. um rd. 13 Min.

zugenommen, während die Dauer der Ebbephase in gleichem Maße von 447 auf 434 Minuten abgenommen hat. Ähnliche Verhältnisse in Bezug auf die Entwicklung der Dauer von Flut- und Ebbephasen werden auch an den anderen Pegeln im Revier beobachtet, während die Verhältnisse in Helgoland eher gleich geblieben sind.

Demgegenüber steht das Aufsteilen der Welle, d.h. dass der Anstieg des Wasserstandes an einem Pegel immer schneller geschieht. Dieses auf den ersten Blick widersprüchliche Phänomen lässt sich wie folgt erklären: Die Zunahme des Tidehubs am Pegel überwiegt im Gegensatz zu der längeren Flutphase, in anderen Worten: trotz der längeren Flutphase kommt es aufgrund des erhöhten Tidehubs zu einem Aufsteilen der Welle. Dieses kann vor allem in Bezug auf Sedimenttransportvorgänge im Elbeästuar von besonderer Bedeutung sein. Die Bundesanstalt für Wasserbau (2001) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass "durch eine Fahrrinnenvertiefung grundsätzlich der Flutast aufgesteilt und damit der Stromauf-Transport der Sedimente (Sedimenttransport und suspendierter Transport) verstärkt wird. Die Folge kann ein drastischer Anstieg der Unterhaltungsbaggermengen in der Fahrrinne aber auch im Hamburger Hafen (Senke) sein" (BAW/DH, 2001).

### **3 Baggermengen**

#### **Gesamtbaggermengen in der Tideelbe**

Die jährlichen Unterhaltungsbaggermengen liegen seit 1995 im Bereich der gesamten Tideelbe zwischen 17 und 19 Mio. m<sup>3</sup>. Den Baggermengen überlagert ist in der Abb. 8 das Jahresmittel des Oberwassers bei Neu-Darchau aufgetragen. Grundsätzlich besteht ein Zusammenhang zwischen Oberwasser und Baggermengen, der sich in den einzelnen Unterhaltungsabschnitten wie folgt darstellt: Im Bereich des WSA Cuxhaven fördert ein hoher mittlerer jährlicher Oberwasserabfluss im Zusammenwirken mit anderen Parametern die Bildung von Untiefen infolge Sedimentation. Durch den Spülstoß der Oberwasserwelle gelangen die Feststoffe von Oberstrom bis in den Mündungsbereich und erhöhen dort das Sedimentangebot. Ein niedriges jährliches Oberwasser verringert dagegen das Sedimentangebot im Mündungsbereich, da das Sediment von Oberstrom nur bis in den Bereich des WSA Hamburg gelangt. Deshalb fördert ein niedriger Oberwasserabfluss die Sedimentation im Bereich des WSA Hamburg und der Delegationsstrecke. Dazu kommen noch Einträge aus dem sedimentangereicherten Nordseewasser bei Flutstrom und die Verlagerung der Trübungszone nach Oberstrom bei niedrigen Abflüssen. Ein hohes Oberwasser verlagert die Trübungszone dagegen weiter in Richtung Mündung.

Für den Amtsbereich des WSA Cuxhaven kann keine Abnahme der Unterhaltungsbaggermengen bedingt durch den Fahrrinneausbau nachgewiesen werden. Im Vergleich zu den drei Jahren vor dem eigentlichen Ausbau 1999 haben sie hier sogar zugenommen, obwohl der Oberwasserabfluss ungefähr gleich groß gewesen ist. Es ist jedoch dabei zu beachten, dass die Baggermengen nicht nur vom Oberwasser abhängen, sondern auch von anderen Ereignissen, wie z. B. dem strengen Winter 1996 mit starkem Eisgang, währenddessen kaum Baggerungen durchgeführt werden konnten. Für den Amtsbereich des WSA Hamburg sind bei niedrigem Oberwasser die Unterhaltungsbaggermengen prinzipiell hoch, bei hohem Oberwasser dagegen klein. Unter Berücksichtigung des Oberwassereffektes sind die Baggermengen im Bereich des WSA Hamburg, verglichen mit den Mengen in den neunziger Jahren, etwas zurückgegangen. Die Mengen 2000 und 2001 waren bei niedrigem Oberwasserabfluss etwa so groß wie 1995 und 1996 bei höherem Oberwasserabfluss. Das extreme Hochwasser im Sommer 2002 im Bereich der Mittel- und Oberelbe bildet mit seinen Auswirkungen eine Ausnahmeerscheinung und kann daher für vergleichende Betrachtungen nicht herangezogen werden.

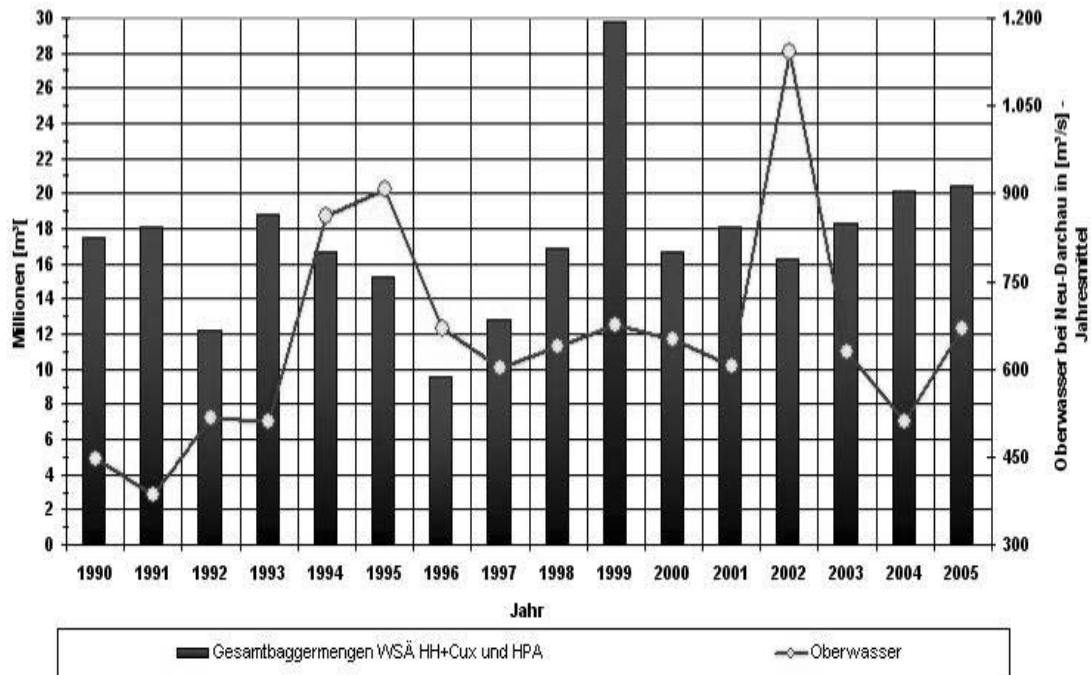


Abb. 8: Baggermengen im Bereich der gesamten Tideelbe - Baggermengen seit 1990 und Oberwasserabfluss

In Abb. 8 ist zu erkennen, dass die Unterhaltungsbaggermengen nach dem Fahrrinnenausbau im gesamten Untersuchungsraum weitgehend konstant geblieben sind. Im Elbabschnitt oberhalb von Hamburg fielen keine Unterhaltungsbaggerungen an, und innerhalb der Reviere der Ämter Cuxhaven, Hamburg und Hamburg Port Authority hat es Verschiebungen gegeben. Zusätzliche Mengen, die einen morphologischen Nachlauf erkennen ließen, sind aus den bis dato vorliegenden Daten nicht zu erkennen.

### Baggermengen auf Hamburger Delegationsgebiet

Die bereits angesprochene Verlagerung der Unterhaltungsschwerpunkte hat sich besonders für die Baggerei in der Delegationsstrecke negativ ausgewirkt. In Abb. 9 ist zu erkennen, dass es zu einem extremen Anstieg der Baggermengen im Bereich der Hamburger Delegationsstrecke gekommen ist. Der hohe Wert für das Jahr 2001 lässt sich durch die Baggerungen für die Liegeplätze vor dem neuen Containerterminal Altenwerder erklären.

In einem vom Senat beauftragten Gutachten (Burt 2006) kommt der Autor zu dem Schluss, dass verschiedene Ursachen für die Verlagerung der Baggerschwerpunkte eine Rolle spielen. Zu nennen sind hier unter anderem ein Unterwasserleitdamm bei Glückstadt, den mit bei Flutstrom einlaufenden Schiffen aufgewirbelten Sedimenten und großräumige Erosionen im Mündungsbereich (so z.B. die Verlagerung der Medemrinne). Hinzu kommt, dass während der Investitionsbaggerungen leicht erodierbares Material freigesetzt wurde.

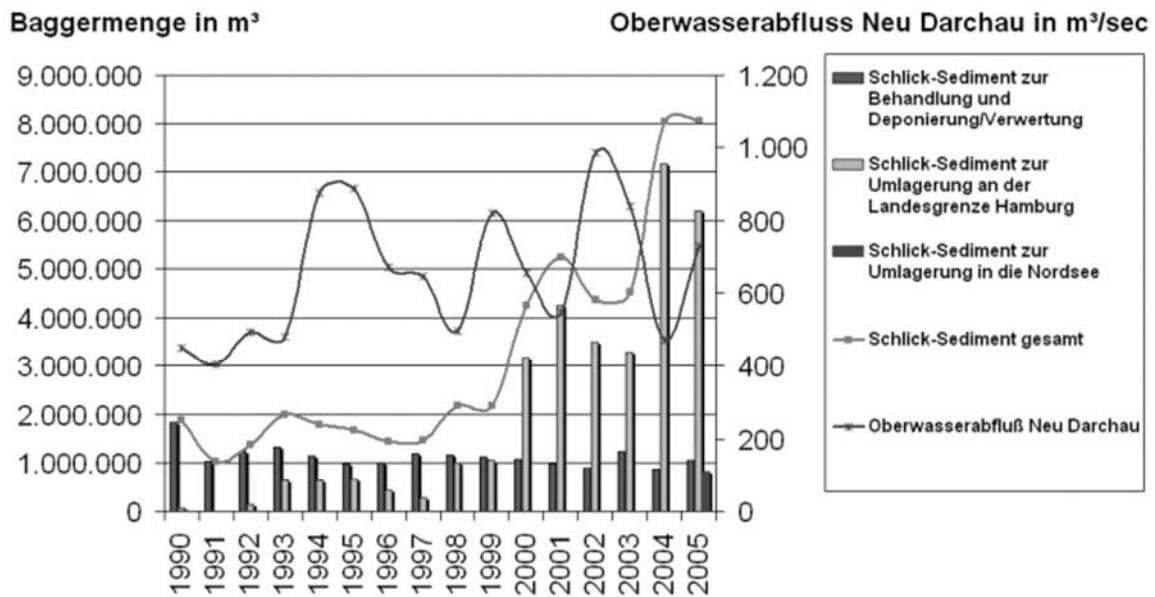


Abb. 9: Baggermengen im Bereich der Delegationsstrecke – Baggermengen seit 1990 und Oberwasserabfluss [Beweissicherungsbericht 2005]

Das umfangreiche Monitoring zum letzten Fahrrinnenausbau hat Daten erzeugt, die das Prozessverständnis für die Tideelbe vertieft und die bestehenden Modellvorstellungen erweitert haben. Darüber hinaus wurden jedoch auch viele Fragen aufgeworfen, deren Beantwortung in der Zukunft weitere Untersuchungen und Auswertungen benötigen.

## Literatur

- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Dienststelle Hamburg (2001): Potentialuntersuchung zur Außen- und Unterelbe. 1. Teilbericht: Prinzipielle Vorabschätzungen zu möglichen Auswirkungen einer weiteren Fahrrinnenvertiefung. Hamburg.
- Burt, N. (2006): Sediment Management Strategies in the Elbe Estuary. Hamburg.
- Gönnert, G. et al. (2004): Charakterisierung der Tidekurve. Die Küste 2004.
- Jensen, J. & C. Mudersbach (2004): Zeitliche Änderung in den Wasserstandszeiten an den Deutschen Küsten. Tagungsband Workshop Klimaänderung und Küstenschutz, TU Harburg.
- Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg (2006): Beweissicherungsbericht 2005.
- Zanke, U.C.E. (2002): Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer. Parey, Berlin.

## Adresse

Dipl.-Ing., M. Sc. Maja Fickert  
 Hamburg Port Authority  
 Neuer Wandrahm 4  
 D-20457 Hamburg

maja.fickert@hpa.hamburg.de



## **L e b e n s r a u m Tideelbe**

Caroline Freitag, Boris Hochfeld & Nino Ohle

Hamburg Port Authority – HPA

### **Abstract**

The Tidal River Elbe is of great economical and ecological importance for the metropolitan region Hamburg and large parts of Northern Germany.

It is therefore of utmost importance to enable a sustainable development of the Elbe estuary to safeguard navigation, conservation, tourism, fishing, farming and settlements all at the same time. Strategies and measures which make such a Win-Win situation possible are already defined within the urban planning model of the Freie- und Hansestadt Hamburg.

Furthermore the Hamburg Port Authority (HPA) in close cooperation with the Federal Administration for Waterways and Navigation (WSV) has published a first concept introducing three milestones for the sustainable development of the Tidal River Elbe. This concept is to be understood as an action plan for the next decades, which has to be continually reviewed and adapted.

### **1 Einführung**

#### **Funktionen der Tideelbe**

Die Tideelbe ist der durch die Gezeiten beeinflusste Teil der Elbe und reicht von der Mündung in Cuxhaven bis hin zum 120 km entfernten Wehr Geesthacht (Abb. 1).

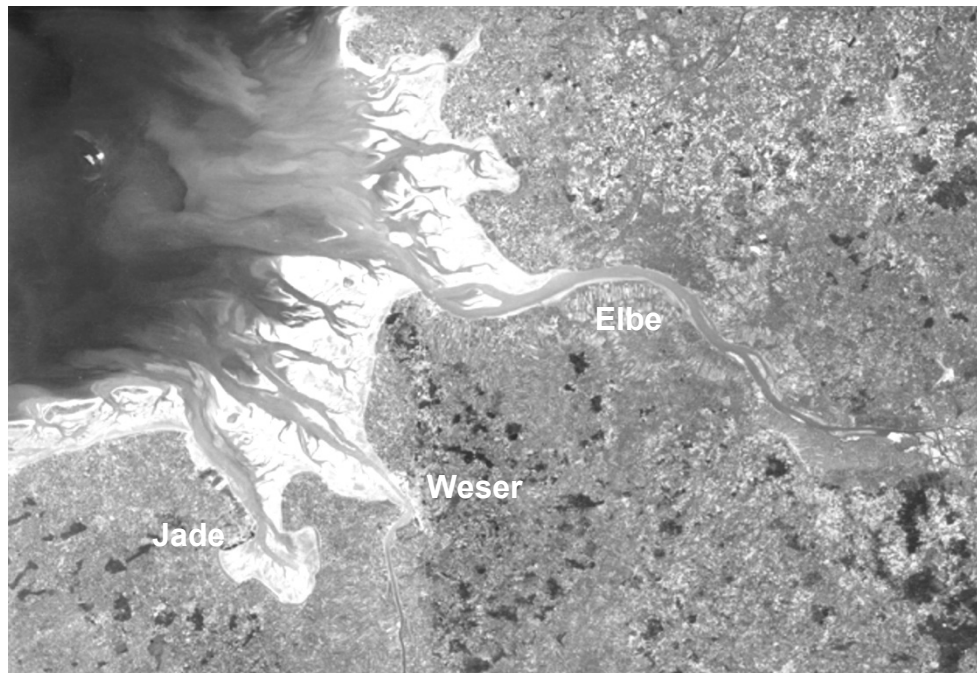


Abb. 1: Satellitenbild der Eider, Elbe, Weser und Jade (Quelle: Brockmann Consult GmbH © 2003)



Die Tideelbe ist die Lebensader der Metropolregion Hamburg, denn sie ermöglicht die seewärtige Zufahrt großer Containerschiffe bis in den Hamburger Hafen und stellt somit den größten Baustein des hamburgischen Wirtschaftsmotors dar. Der Hamburger Hafen ist derzeit der zweitgrößte Hafen in Europa und steht im internationalen Vergleich an achter Stelle. Hier werden jährlich knapp 9 Mio. TEU Container umgeschlagen, Tendenz steigend. Im Rahmen einer Unternehmensbefragung der Hamburger Hafenwirtschaft aus 2002 wurde ermittelt, dass über 145.000 Beschäftigte aus Hamburg und Umgebung direkt und indirekt vom Hamburger Hafen abhängig sind, das entspricht einer Quote von 16 Arbeitsplätzen pro 1.000 TEU.

Die Bedeutung der Tideelbe ist jedoch auch weit über Hamburgs Grenzen hinaus spürbar. Durch die zunehmende Verbesserung der Wasserqualität seit Anfang der 1990er Jahre ist die Anzahl der Fischarten und Individuen deutlich angestiegen. Von besonderer Bedeutung für den Erhalt der aquatischen Biodiversität sind Flachwasserzonen, welche sich als Laich- und Brutstätten vieler Fischarten eignen. Der Erhalt und die Schaffung solcher Habitats sind für eine nachhaltige Entwicklung unbedingt anzustreben. Weiterhin stellt die traditionelle Krabbenfischerei im Mündungsgebiet auch heute noch eine wichtige Lebensgrundlage für viele Fischer dar.

Neben der Fischerei zählt die Landwirtschaft in den tiefliegenden Marschen zu den stärksten Nutzungen in der Unterelberegion. Der Obstbau in der Elbmarsch genießt sogar internationales Ansehen. So werden sowohl neue Sorten gezüchtet als auch alte Sorten bewahrt. Für die z.T. hoch spezialisierte Landwirtschaft spielt die Be- und Entwässerung der bewirtschafteten Flächen eine zentrale Rolle.

Abgesehen von der wirtschaftlichen Bedeutung der Tideelbe bietet das Ästuar auch viele Freizeitmöglichkeiten für die dicht besiedelte Metropolregion Hamburg. So sind auf der Elbe bei schönem Wetter unzählige Segel- und Sportboote unterwegs. Entlang der Elbe machen gut ausgebaute Radwege die Tideelbe erlebbar. Weiterhin bilden die zahlreichen Vogelschutzgebiete ein wertvolles Rückzugsgebiet für seltene Brut- und Rastvögel. Im Bereich der Mündung lässt sich die Gezeitendynamik durch das Wattwandern hautnah erleben. Der Charme dieses besonderen Lebensraums ist bereits überregional bekannt und erfreut sich nun auch immer größerer Beliebtheit bei zahlreichen Touristen.

Große Teile des Elbeästuars sind zudem als Natura 2000 Gebiet zum Schutz von Flora und Fauna ausgewiesen. Tidebeeinflusste Flächen sind ökologisch sehr wertvolle Lebensräume mit einer hoch spezialisierten, einzigartigen Pflanzen- und Tierwelt, welche es zu erhalten gilt.

### **Morphologie und Hydrodynamik der Tideelbe**

Die morphologische Strukturvielfalt des Elbeästuars wird maßgeblich durch die tide-induzierten Strömungen geprägt und ist gekennzeichnet durch einen natürlichen, sehr intensiven Feststofftransport, verbunden mit einer ständigen Umformung der Gewässersohle. Charakteristische Merkmale sind Stromspaltungen, die Umlagerung und Neubildung von Sänden und Inseln sowie Bereiche mit verstärkter Sedimentation und Erosion.

Neuere Wissenschaftliche Erkenntnisse, aber auch die Beobachtungen der Menschen vor Ort deuten darauf hin, dass die hydromorphologische Entwicklung der Tideelbe in eine unerwünschte Richtung weist: Anthropogene Eingriffe haben neben den natürlichen hydrodynamischen Prozessen dazu geführt, dass die Flut mit zunehmender Energie in das Elbeästuar vordringt. Gleichzeitig hat die Fähigkeit des Ästuars, diese Energie durch eine stark verzweigte Struktur sukzessive abzubauen, immer weiter abgenommen.

Die natürliche Anpassung des Ästuars an den steigenden Meeresspiegel wurde seit der Besiedlung durch den Menschen mittels technischer Bauwerke wie Deiche und Sperrwerke mehr und mehr eingeschränkt. Natürlicherweise wäre die Marsch durch Sedimentation auf der gesamten Elbtalbreite mitgewachsen. Von 1955 bis heute wurden die Vordeichflächen und der Flutraum im Bereich der Tideelbe durch Küstenschutzmaßnahmen um weitere 206 km<sup>2</sup> verringert (vgl. Abb. 2). Darüber hinaus

standen nach der Errichtung der Sperrwerke auch die Deichvorländer der Nebenflüsse nicht mehr ungehindert als Überflutungsraum zur Verfügung. Dieses bedeutete auch den Verlust weiterer ökologisch wertvoller, tidebeeinflusster Vorland- und Flachwassergebiete. Somit kann sich das in der Elbe bewegte Sedimentinventar bei Spring- oder Kantenfluten nicht mehr wie früher auf diesen Flächen ablagern und wird solange in Schwebelage gehalten, bis es in strömungsberuhigte Bereiche gelangt, wo es sedimentieren kann.

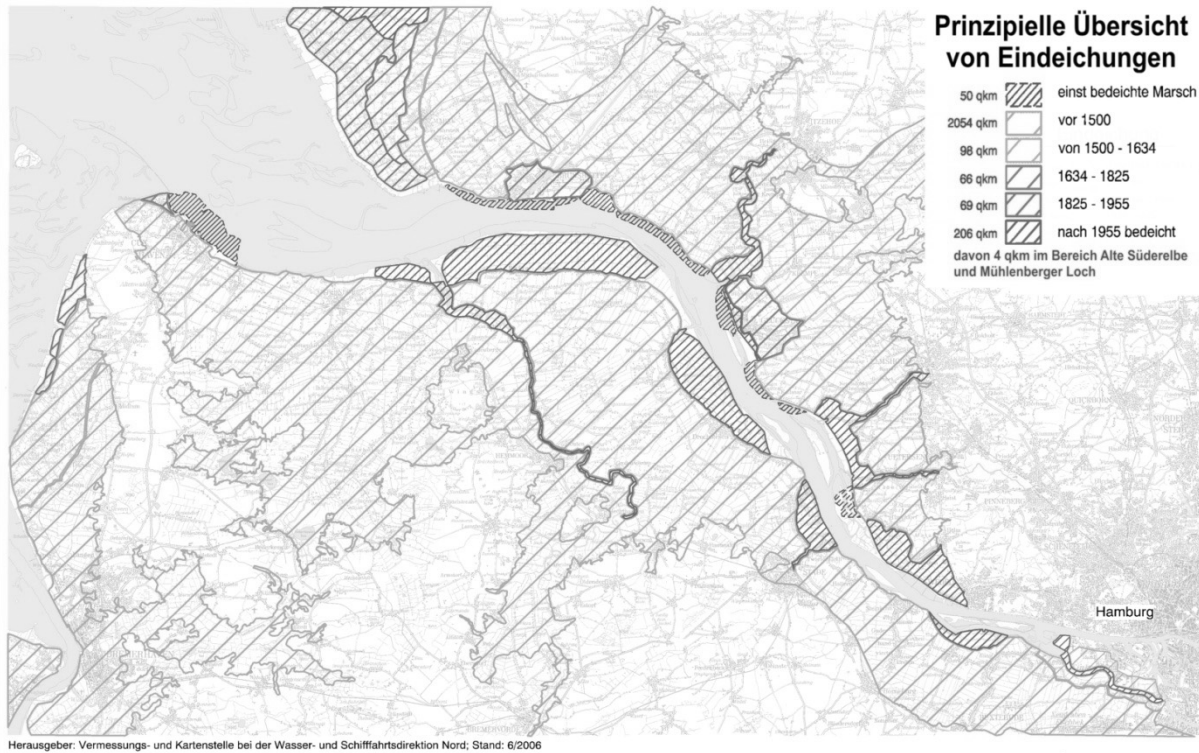


Abb. 2: Eindeichungen der letzten Jahrhunderte an der Elbe, die zu einer Beeinflussung der Hydrodynamik und Morphologie geführt haben

Im Bereich der Mündung hat es schon immer großräumige Umlagerungen gegeben, wodurch die Sände in ihrer Größe und Lage ständig variieren. In der Summe wurde aus diesem Bereich in den letzten Jahrzehnten jedoch mehr Material erodiert, so dass sich der Mündungstrichter derzeit zunehmend aufweitet. Volumenbilanzen aus Bathymetrien der Bundesanstalt für Wasserbau und der Beweissicherung aus diesem Bereich belegen, dass in den letzten 30 Jahren über 100 Mio. m<sup>3</sup> ausgetragen wurden (vgl. Abb. 3).

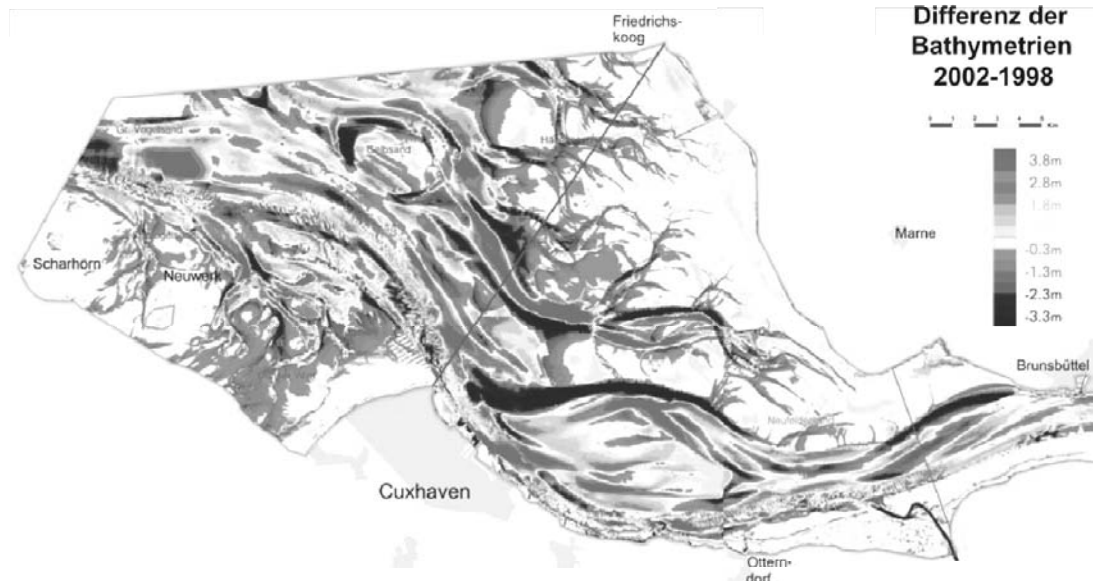
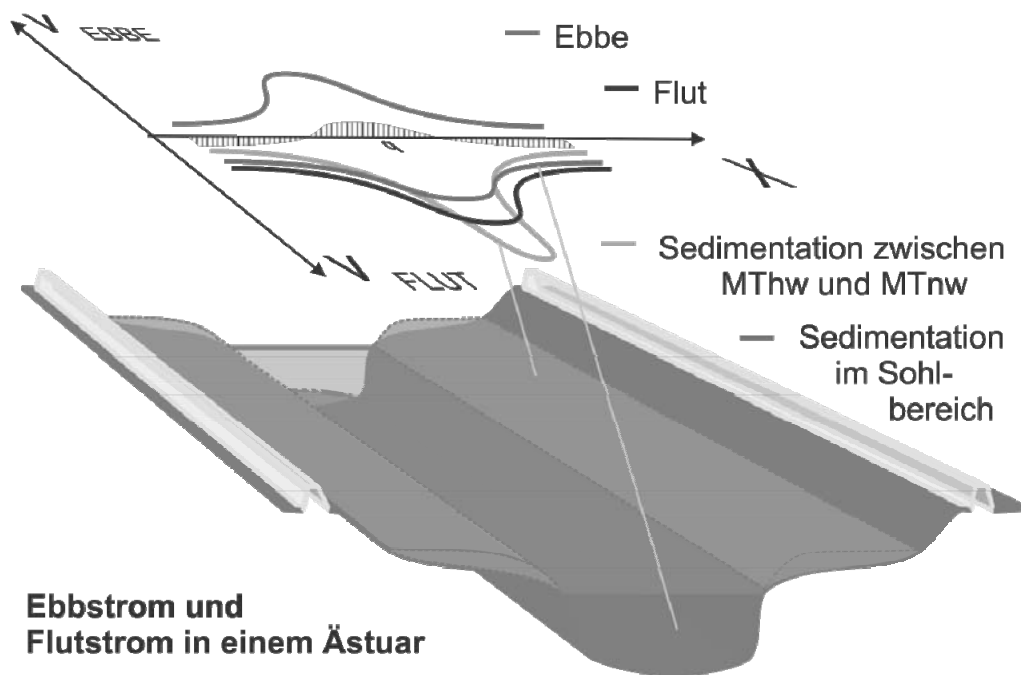


Abb. 3: Differenz der Bathymetrien im Bereich der Elbmündung 2002 - 1998

Die morphologischen Veränderungen werden auch stromauf Richtung Hamburg sichtbar. Die vorhandenen Nebenelben verlanden und nehmen nicht länger am normalen Tidegeschehen teil. Mit der Zeit wachsen diese Flächen auf, es entstehen ausgedehnte Röhrichbestände und schließlich grüne Wiesen, welche ökologisch oft weniger wertvoll sind als die verloren gegangenen Flachwasserbereiche. Der Elbstrom konzentriert sich somit mehr und mehr auf die unterhaltene Fahrrinne, das biologische und morphologische Inventar verarmt.

Dabei wurden viele dieser Systemveränderungen erst durch anthropogene Eingriffe hervorgerufen. So haben u.a. die bereits angesprochenen Vordeichungen, die vergangenen Fahrinnenvertiefungen, aber auch der Bau des Wehres in Geesthacht das System maßgeblich verändert. Die Energie der Tidewelle kann aufgrund verminderter Dämpfungseinflüsse immer weiter stromauf vordringen und wird in Hamburg beim Übergang vom seeschiffstiefen zum binnenschiffstiefen Wasser sowie letztlich am Wehr Geesthacht reflektiert. Dies führt infolge der Überlagerung von einlaufender und reflektierter Wellenkomponenten zu einer Verstärkung des Tidehubs in Hamburg. So läuft das Tidehochwasser in Hamburg heute höher auf als dies noch vor einigen Jahrzehnten der Fall war, während das Tideniedrigwasser seither stetig weiter abnimmt. Dieser negative Trend geht mit einer Verformung der Tidekurve einher, welche sich durch einen steil ansteigenden Flutast und einen flacher abfallenden Ebbast auszeichnet. Anschaulich bedeutet dies, dass die Flutströmung aufgrund des steileren Gradienten wesentlich schneller in Richtung Hamburg einläuft und aufgrund der damit einhergehenden größeren Transportkapazität mehr Sediment und größere Kornfraktionen mit sich führen kann. Material, welches sich früher natürlicherweise im Bereich der gesamten Marsch abgesetzt hätte, gelangt somit heute mit dem Flutstrom weiter stromauf. Gleichzeitig reicht der zwar länger andauernde, aber schwächere Ebbestrom nicht mehr aus, um Sedimente zurück zu transportieren. Hierdurch gelangen sie bis in den Hamburger Hafen und führen dort zur verstärkten Sedimentation. Dieser hier beschriebene flutstromdominante residuelle Stromauftransport von Sedimenten wird auch als „tidal pumping“ bezeichnet (siehe Abb. 4).



### Ebbstrom und Flutstrom in einem Ästuar

Abb. 4: Änderung der Flutstrom- und Ebbstromdominanz im Elbästuar

Die Unterhaltung der Wasserstraße Elbe obliegt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Lediglich der Hamburger Bereich ist aufgrund der historischen Entwicklung des Hafens hiervon ausgenommen und wird durch die Hamburg Port Authority unterhalten. Seit dem Ausbau der Wasserstraßen und der mehrfachen Anpassung an die Größe der neuen Containerschiffgenerationen sind Unterhaltungsbaggerungen in der Tideelbe notwendig geworden, um die Wassertiefen für die Schifffahrt sicherzustellen. Wie mit dem gebaggerten Sediment umgegangen wird ist abhängig von der Materialzusammensetzung und dessen Belastung.

Generell wird das Sediment im Strom umgelagert, solange die Grenzwerte der Regelwerke HABAB bzw. HABAK dies zulassen. In Hamburg erfolgt das Umlagern im Strom auf Basis des zwischen der Wirtschaftsbehörde und Umweltbehörde erarbeiteten „Handlungskonzept für die Umlagerung von Baggergut aus dem Hamburger Hafen in der Stromelbe“. Die in diesem Handlungskonzept definierten Rahmenbedingungen lassen Umlagerungen aus ökologischen Gründen allerdings nur im Winterhalbjahr zu. Das Umlagern von Sedimenten ist die wirtschaftlichste Methode, mit dem gebaggerten Material umzugehen und darüber hinaus verbleibt das Sediment so in dem dynamischen System, wo es wichtige ökologische Funktionen wahrnimmt.

Teile der Sedimente aus dem Hamburger Hafen sind jedoch zu belastet, um umgelagert zu werden, so dass sie aus dem System entnommen und aufwändig an Land behandelt werden müssen. Hierfür verfügt Hamburg über eine einzigartige Anlage zur Aufbereitung von belasteten Sedimenten, die so genannte METHA (Mechanische Trennung und Entwässerung von Hafensedimenten). Hier können jedes Jahr zwischen 1,2 und 1,4 Mio. m<sup>3</sup> Baggergut behandelt werden. Die sandigen und feinkörnigen Fraktionen werden getrennt und das belastete Material wird auf den Spülfeldern und Deponien in Hamburg untergebracht.

Der verstärkte Flutstrom durch die oben beschriebenen Effekte („tidal pumping“) und der damit einhergehende Stromauftransport von Sedimenten sowie Kreislaufbaggerungen innerhalb der Delegationsstrecke haben zu einem drastischen Anstieg der Baggermengen in den letzten Jahren geführt (siehe Abb. 5). So wurden bis zum Jahre 1999 innerhalb der Hamburger Delegationsstrecke stets etwa 2 Mio. m<sup>3</sup> Sediment gebaggert. Im Jahr 2005 betrug die Baggermenge bereits über 8 Mio. m<sup>3</sup>, so dass kurzfristig eine neue Lösung gefunden werden musste, um eine Tiefenbeschränkung für die Containerschifffahrt während des Sommerhalbjahres zu vermeiden.

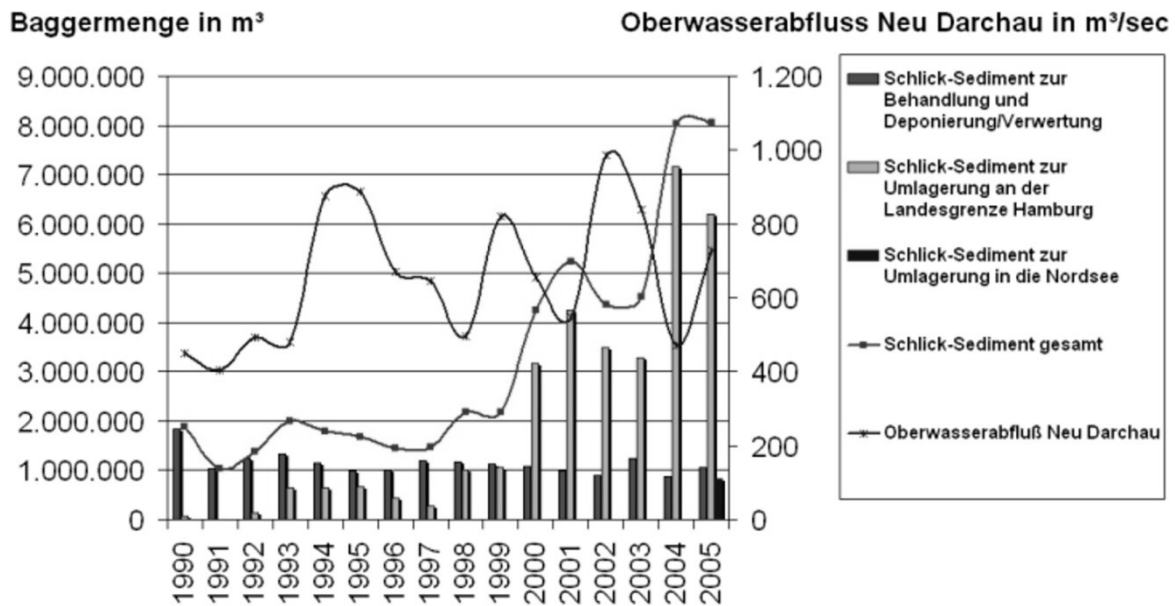


Abb. 5: Entwicklungen der Baggermengen in der hamburgischen Delegationsstrecke

Die sichtbar nachteiligen Folgen und hohen Kosten des heutigen Handelns erfordern zukünftig, auch im Hinblick auf die Befristung der kurzfristig im Einvernehmen mit dem Land Schleswig-Holstein gewählten Übergangslösung der Umlagerungen gering belasteter Sedimente aus der Stromelbe zur Tonne E3, ein auf der Grundlage des heutigen Prozessverständnisses aufbauendes koordiniertes Vorgehen, um neue Wege zur nachhaltigen Entwicklung der Tideelbe einzuschlagen. Daher wurde von der Hamburg Port Authority in Zusammenarbeit mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ein „Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg“ erstellt welches im Juni 2006 veröffentlicht wurde. Bei dem zukünftigen Konzept sollen sowohl die politischen Rahmenbedingungen, die vielfältigen Nutzungen und Interessen sowie die ökologischen Erfordernisse berücksichtigt werden.

## 2 Tideelbekonzept

Das Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe benennt drei wesentliche Eckpfeiler für eine zukünftige Strategie (siehe Abb. 6):

1. Dämpfung der einschwingenden Tideenergie durch strombauliche Maßnahmen insbesondere im Mündungstrichter,
2. Schaffung von Flutraum im Bereich zwischen Glückstadt und Geesthacht,
3. Optimierung des Sedimentmanagements unter Berücksichtigung des Gesamtsystems der Elbe.

Mit Hilfe dieser Eckpfeiler sollen das Tideelbesystem langfristig mit seinen Funktionen – auch der als bedeutende Wasserstraße - erhalten bleiben und die Anstrengungen zur Unterhaltung der Wassertiefen minimiert werden. Die ökologisch wertvollen Bereiche entlang der Elbe sollen zudem nachhaltig gesichert und die Attraktivität des Lebensraumes Tideelbe aufrechterhalten werden.

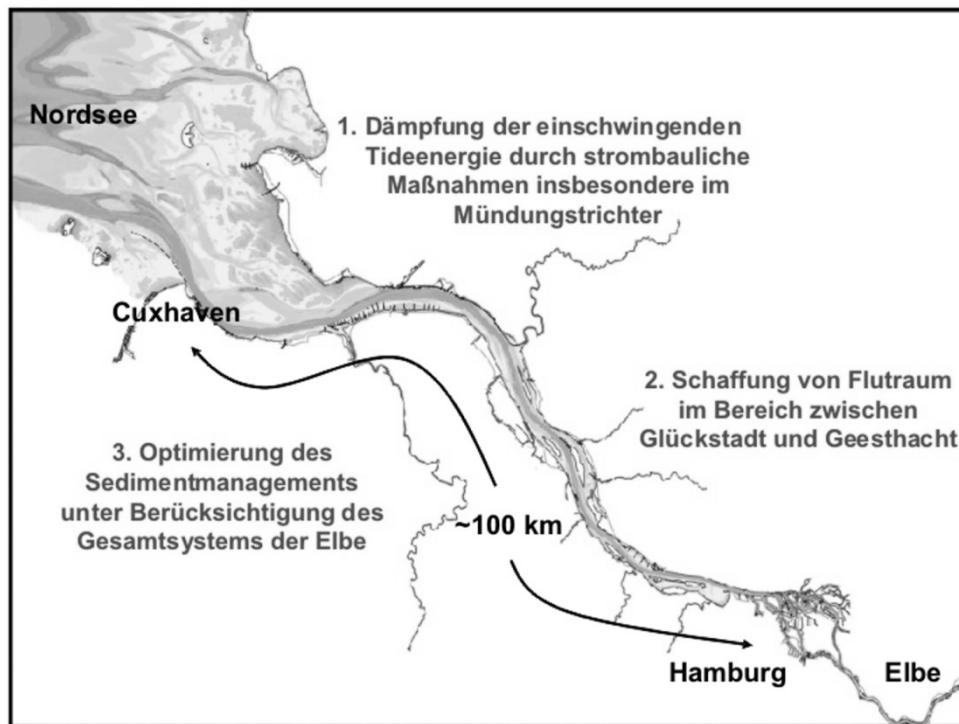


Abb. 6: Eckpfeiler des Tideelbekonzeptes

Wie die einzelnen Eckpfeiler hierzu beitragen könnten, soll nachfolgend näher erläutert werden.

### **Strombauliche Maßnahmen im Mündungstrichter**

Der Mündungstrichter der Tideelbe hat sich in den letzten Jahrzehnten zunehmend aufgeweitet. Pro Jahr werden dort drei bis vier Millionen Kubikmeter Watten und Sände abgetragen. Dies führt dazu, dass immer mehr Tideenergie in das Ästuar eindringen kann und immer mehr Sediment stromauf transportiert wird. Im Umkehrschluss ist davon auszugehen, dass dieser negative Trend durch zusätzliches Material an ausgewählten Standorten in der Elbmündung gebremst werden kann.

Aus diesem Grund wird zurzeit von der Hamburg Port Authority geprüft, ob Sandinseln in der Elbmündung als mögliche Strombaumaßnahme zur Dämpfung der Tideenergie wirksam wären. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wird die prinzipielle Eignung und technische Realisierbarkeit von Sandinseln als ein Baustein des Gesamtkonzepts untersucht. Um den erforderlichen Aufschluss über die Verteilung, Dichte und Stärke von Sand, Kies und Wattsedimenten im Bereich der Elbmündung zu erhalten, wurden im Oktober 2006 Bohrungen bis zu 65 Meter Tiefe unter der Gewässersohle ausgeführt. Mit den bereits in Archiven vorliegenden Daten von rund 800 älteren Bohrungen soll ein geologisches Modell von der Elbmündung bis hinaus zur Nordsee erstellt werden.

Sollten ausreichend tiefliegende Sände mit groben Körnungen vorhanden sein, könnte dieses Material zu Sandinseln ähnlich Scharhörn und Nigehörn aufgespült werden. Welchen Standort, welches Design und welche Wirkung diese Maßnahmen letztendlich haben, soll ebenfalls im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht werden.

Vielleicht lassen sich die Sandinseln auch mit subaquatischen Depots kombinieren. Dort wo sandiges Material entnommen wurde, könnte umlagerfähiges Baggergut aus der Elbe verbracht werden, welches heute südöstlich vor Helgoland an der Tonne E3 umgelagert wird. Somit ließe sich der Verlust an Material in der Elbmündung ausgleichen, wodurch wiederum das Tidegeschehen positiv beeinflusst würde, indem der Flutstrom beim Einströmen in den Mündungstrichter gebremst wird. Die

geplanten Sandinseln müssen nicht zwangsläufig aus der Wasseroberfläche herausragen. Denkbar sind auch größere Unterwasserablagerungsflächen oder Sandbänke, um die Tideenergie zu dämpfen.

### Schaffung von Flutraum

Im Bereich zwischen Glückstadt und Geesthacht können durch die Schaffung von Flutraum bzw. Tidevolumen (Flächen die bei normalen Tideverhältnissen nicht trocken fallen) eine Dämpfung des Tidehubes erreicht werden. Hierbei haben erste Modellrechnungen gezeigt, dass Maßnahmen im Bereich Hamburg effektiver sind als Maßnahmen weiter stromauf oder stromab, da auch der Tidehub in Hamburg maximal ist. Weiterhin gilt: Je größer das geschaffene Tidevolumen, desto größer die Wirkung. Zu den Maßnahmen können die Umgestaltung von aufgewachsenen ehemaligen Wattflächen oder Vorlandflächen in Flachwassergebiete zählen, welche am normalen Tidegeschehen teilnehmen und nicht trocken fallen. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Wiederanbindung von Nebeneelbesystemen oder der Räumung von verlandeten Hafenbecken (siehe Abb. 7).

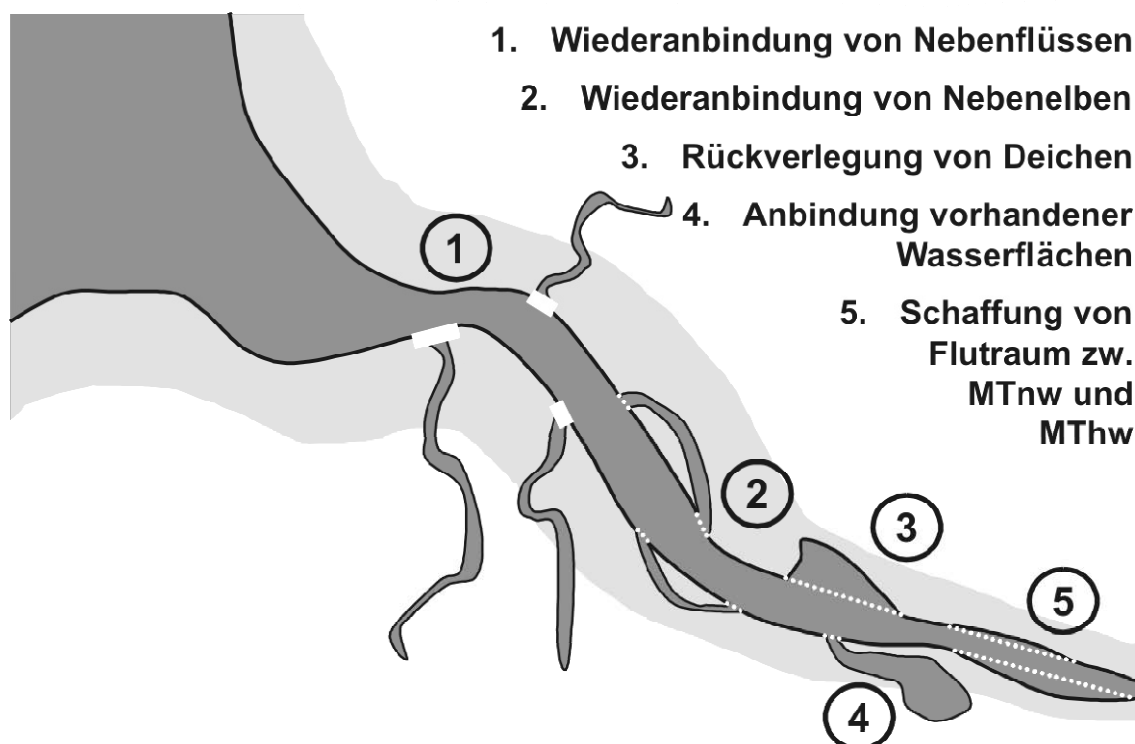


Abb. 7: Generelle Möglichkeit der Erhöhung des Tidepotentials entlang eines Ästuars mit Hilfe von Maßnahmen innerhalb des Systems

Aufgrund des hohen Siedlungsdruckes in der Metropolregion Hamburg stehen jedoch nur wenige Flächen zur Schaffung von Tidepotential zur Verfügung. Dennoch wurde ein erstes Konzept mit möglichen Szenarien in Hamburg erarbeitet und der Grundgedanke im Räumlichen Leitbild 2020 der Freien und Hansestadt Hamburg verankert. So werden im künftigen Raumnutzungsplan konkret einzelne Flächen zur Schaffung von Flachwasserbereichen ausgewiesen. Welche Maßnahmen tatsächlich wie und wann umgesetzt werden, muss in einem nächsten Schritt geprüft werden. Hierbei handelt es sich um ein langfristiges Konzept, welches nur sukzessive in den nächsten Jahrzehnten umgesetzt werden kann.

Erste hydrodynamische Berechnungen lassen vermuten, dass insbesondere die verschiedenen Szenarien zur Flutraumschaffung einen deutlichen Effekt auf die Wasserstände hätten und den Tidehub um bis zu 50 cm reduzieren könnten. Die Flutstromdominanz wird abgeschwächt und damit

wird weniger Sediment stromauf Richtung Hamburg transportiert. Hierdurch würden sich die Baggermengen innerhalb der Hamburger Delegationsstrecke reduzieren und die Vermischung von „sauberem“ Sediment aus der Untereibe mit belastetem Sediment von Oberstrom verringern lassen.

Weiterhin hat die Schaffung von Flutraum einen positiven Effekt auf den Hochwasserschutz an der Tideelbe. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und dem damit einhergehenden Meeresspiegelanstieg wird so ein zusätzlicher Puffer geschaffen, bevor die Deichlinie erhöht werden müsste.

Aus ökologischer Sicht sind diese Flachwassergebiete ebenfalls sehr wertvoll. Sie sind wichtige Brutstätten und Lebensraum für zahlreiche Fischarten. Zudem wird die Wasserqualität verbessert wodurch in den kritischen Sommermonaten der Sauerstoffgehalt in der Elbe erhöht werden könnte. Auch ein Teil der Schadstoffe wird zurückgehalten und gelangt somit nicht unkontrolliert in die Nordsee.

Nicht zuletzt können diese Gebiete als Erholungs- und Freizeitgebiete genutzt werden. Durch eine attraktive Gestaltung der Gebiete können sowohl Angler, Radfahrer, Wassersportler und Vogelbeobachter auf Ihre Kosten kommen.

### **Optimiertes Sedimentmanagementkonzept**

Veränderte Sedimentationsbedingungen erfordern auch ein verändertes Sedimentmanagementkonzept in der Tideelbe. Die Umlagerung von Sediment an der Landesgrenze bei Wedel ist aufgrund der zuvor beschriebenen Veränderungen als alleiniges Handlungskonzept keine dauerhaft sinnvolle Lösung mehr.

Ein zukünftiges ganzheitliches Sedimentmanagement beinhaltet Elemente der Qualität und der Quantität. Die Sedimentqualität ist in erster Linie durch die Sanierung von Schadstoffquellen zu verbessern. Sedimenttransportprozesse und damit die Quantität können gezielt durch Strombaumaßnahmen beeinflusst werden. Weiterhin wird auch in Zukunft das Umlagern eine große Rolle spielen. Dies gilt es so zu optimieren und zu betreiben, dass sowohl der Kostenaufwand als auch der ökologische Eingriff minimiert werden, ohne dass die Schifffahrt beeinträchtigt wird. Auch wenn erhebliche Anstrengungen unternommen werden Schadstoffe in der Elbe zu reduzieren, wird ein Verzicht auf die Entnahme und Festlegung von höher belasteten Sedimenten zumindest in den nächsten 15 - 20 Jahren noch nicht möglich sein. Daher bildet dieses Vorgehen in den kommenden Jahren ebenfalls ein nicht verzichtbares Element des Sedimentmanagements. Das zukünftige Sedimentmanagement lässt sich daher in folgende wesentliche Punkte gliedern:

- Verbesserung der Sedimentqualität durch Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstoffeintrages von Oberstrom in Zusammenarbeit mit den Elbanrainern und der Tschechischen Republik um den Eintrag in die Nordsee zu entlasten. Somit kann langfristig auch auf weitere Schlickhügel verzichtet werden.
- Gezielte Steuerung der Sedimenttransportprozesse durch Strombau, z.B. durch die Schaffung zusätzlicher Reflexionsstellen, die Veränderung des Fließquerschnittes, um Sedimentation zu verhindern oder gezielt zu fördern in Bereichen wo die Schifffahrt nicht behindert wird und Baggerungen von Sediment nicht störend sind (Sedimentfallen).
- Steuerung und Regelung von Sedimenttransportprozessen durch Umlagerung: Die Umlagerung im Strom ist heutzutage eine durchaus gängige und auch ökologisch sinnvolle Methode. Es hat sich bewährt, das Material im System zu belassen, solange die Kreisläufe nicht zu einer ungleichmäßigen und ungewollten Anreicherung führen und die Sedimentqualität hierdurch nicht verschlechtert wird. Ein zukünftiges Sedimentmanagement sollte ein zuständigkeitsübergreifendes Handlungskonzept sein, welches in Abhängigkeit von der Tidephase (Ausnutzung des Ebbstroms), dem Oberwasserabfluss, dem Sauerstoffgehalt und der Sedimentzusammensetzung betrieben wird. Die Umlagerungen zur Tonne E3 vor Helgoland haben 2006 bereits zu einem Rückgang der



Baggermengen im Hamburger Hafen geführt. Der Kreislauf konnte durch die veränderte Umlagerstrategie sichtbar reduziert werden.

- Entnahme und Festlegung von Sediment: Voraussichtlich bis 2025 ist die Entnahme und Festlegung von Sediment aufgrund der Sedimentbelastung noch ein fester Bestandteil des Sedimentmanagementkonzeptes. Die Deponien an Land in Hamburg verfügen bis zu diesem Zeitpunkt noch über ausreichend Kapazitäten, um auch etwaige Rückstände im Hamburger Hafen aufzunehmen.

Aufgrund der komplexen Systemzusammenhänge besteht jedoch noch erheblicher Untersuchungsbedarf, um ein optimales Sedimentmanagement betreiben zu können. Wichtig ist, dass ein zukünftiges Umlagerungskonzept praktikabel bleibt und die Unterhaltung der Wassertiefen nicht eingeschränkt wird.

Um die derzeitigen Sedimenttransportprozesse bilanzieren zu können, sind weitere Naturmessungen erforderlich sowie auch die Weiterentwicklung der Abbildung dieser Prozesse im numerischen Modell. Weiterhin könnte sich ein so genanntes Baggerdaten-GIS, welches Sediment-, Bagger- und Umlagerdaten mit hydrographischen Entwicklungen überlagert, als praktikables Werkzeug des Sedimentmanagements erweisen.

### 3 Ausblick

Um den Lebensraum Tideelbe mit seinen vielfältigen Funktionen als Lebensader der Metropolregion Hamburg zu erhalten, wird ein langfristiges Gesamtkonzept für die Tideelbe erforderlich. Dies ist sicherlich eine anspruchsvoll angelegte Aufgabe für die nächsten Jahrzehnte und die Zielsetzungen können nur erreicht werden, wenn alle Interessen berücksichtigt werden. Die angestrebten Ziele und Praktiken sind in zukünftigen Managementplänen zu verankern.

Durch neuere wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden ist die Möglichkeit gegeben, ein zielgerichtetes, effektives Umlenken zu planen. Mögliche Maßnahmen können mit Hilfe von hydronumerischen Modellen in ihren Wirkungen besser bewertet und optimiert werden. Diese Optimierung, unter Einbeziehung der unterschiedlichen Belange an der Tideelbe, wird möglich, da wesentliche Zielsetzungen zur Erhaltung und Entwicklung der Natur sowie des Hochwasserschutzes mit der aus hydro- und morphodynamischer Sicht anzustrebenden Entwicklung der Tideelbe übereinstimmen. Auch die Umsetzung europäischer Rahmenrichtlinien kann hierdurch grundsätzlich im Einklang mit wirtschaftlichen Interessen erfolgen.

Im Vordergrund steht, dass die Verringerung des Unterhaltungsaufwands und die Isolierung von Schadstoffen sowohl der Ökologie als auch der Ökonomie zugute kommen. Das sich weiter entwickelnde Systemverständnis muss in einem kontinuierlichen Prozess umgesetzt werden, um auch den sozialen Interessenslagen gerecht zu werden und die Metropolregion nachhaltig zu entwickeln.

Derzeit erarbeitet die Hamburg Port Authority gemeinsam mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ein integriertes Sedimentmanagementkonzept, dessen erster Entwurf im Herbst 2007 erwartet wird. Dieses Konzept muss dann an die jeweiligen Veränderungen im System und die neu gewonnenen Erkenntnisse sukzessive angepasst werden.

Weiterhin soll die Entwicklung verschiedener Maßnahmen zur Schaffung von Flutraum in Hamburg vorangetrieben werden. Eine bereits bestehende Projektgruppe „Strombau- und Sedimentmanagement“ (HPA & WSV) führte hierzu erste Untersuchungen durch.

Im April 2007 hat die Hamburg Port Authority eine Projektgruppe „Tideelbe“ gegründet, die die Umsetzung des Tideelbekonzeptes in den nächsten Jahr(zehnt)en vorantreiben soll. Hier sind alle Fachbereiche vertreten, um die Prozesse zu beschleunigen.

Zusätzlich soll nun im offenen Dialog das hier vorgestellte Konzept mit allen Interessensvertretern und Beteiligten ergänzt und optimiert werden, um alle Ziele im Win-Win-Prinzip zu erreichen und den wertvollen Lebensraum Tideelbe nachhaltig zu erhalten.

## Literatur

- ARGE Elbe (2004): Fangdatenauszug 2000 bis 2004 zu Meerneunauge, Flussneunauge, Nordseeschnäpel, Finte und Rapfen.
- Bakker, W.T. (1999): Effect Resonance on Morphology of Tidal Channels. In: Edge, B.L. (ed.): Coastal engineering 1998. Conference proceedings, pp. 3252-3264. Copenhagen: ASCE.
- Balzano, A. (1995): On Residual Transport in Shallow Tidal Basins. In: Edge, B.L. (ed.): Coastal engineering 1994. Conference proceedings, pp. 2928-2942. Kobe: ASCE.
- Bergemann, M. (1995): Die Lage der oberen Brackwassergrenze im Elbeästuar. Deutsche gewässerkundliche Mitteilungen -DGM 39, Koblenz: BfG.
- Bergemann, M., G. Blöcker, H. Harms, M. Kerner, R. Meyer-Nehls, W. Petersen & F. Schroeder (1996): Der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. In KFKI, Die Küste 58, Heide i. Holst: Boyens & Co.
- Dücker, H.P., H.-H. Witte, H. Glindemann & K. Thode (2006): Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg. Hamburg: HPA.
- Eichweber, G. & D. Lange (1998): Tidal Subharmonics and Sediment Dynamics in the Elbe Estuary. In: Holz, K.P.: Proceedings of the 3rd International Conference on Hydro-Science and -Engineering. Cottbus: Brandenburg University of Technology.
- Eichweber, G. (2004): Sediment Dynamics in the Elbe Estuary and the Improvement of Maintenance. Dredging in a sensitive environment: World Dredging Congress XVII. Hamburg: CEDA.
- Rolinski, S. & G. Eichweber (2000): Deformations of the Tidal Wave in the Elbe Estuary and their Effect on Suspended Particulate Matter Dynamics. Physics and Chemistry of the Earth Part B 25(4), 355-358.
- Weilbeer, H. (2003): Zur dreidimensionalen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Ästuaren. In: BAW, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 86. Karlsruhe: BAW.

## Adresse

Dipl.-Ing. Caroline Freitag  
Hamburg Port Authority  
Neuer Wandrahm 4  
D-20457 Hamburg

[caroline.freitag@hpa.hamburg.de](mailto:caroline.freitag@hpa.hamburg.de)





## Morphologische Veränderungen von Wattflächen am Beispiel des Neufelder Sandes in der Elbmündung

Thorsten Albers & Nicole von Lieberman

TU Hamburg-Harburg, Institut für Wasserbau, Hamburg

### Abstract

The areas of the wadden sea at the German North Sea coast are affected by intense morphodynamics. Especially in the estuaries a change of sedimentation and erosion occurs on different time scales.

The Institute of River and Coastal Engineering at the Hamburg University of Technology (TUHH) runs extensive measurements to collect data in the area "Neufelder Watt" at the mouth of the Elbe estuary. Since July 2006 water levels, flow velocities and flow directions have been recorded continuously. Also the concentration of suspended sediments has been measured and recorded in high resolution within a cross section of the tidal creek "Neufelder Rinne". Furthermore, waves have been recorded and measured at various locations. In frequent intervals the bathymetry is determined by a multi-beam echo sounder attached to the research vessel, provided by the institute. On shorter time scales relocations of the Neufelder Rinne can be observed. To assess these changes in the context of the development of the whole area under investigation, the sediment balances over the last decades were analysed.

A goal of the research project is to improve the understanding of morphodynamic processes on tidal flats and to point out relations between tidal currents, wind and wave induced currents and the sediment transport. The results flow into the creation of a module to model the sediment transport in shallow water areas of the wadden sea and therefore contribute to an improved sediment management of estuaries.

### 1 Einleitung

Die Nordsee ist als Nebenmeer des Atlantischen Ozeans dem Einfluss der Tide ausgesetzt. Daher unterliegt die Deutsche Nordseeküste ständigen Veränderungen und ist durch große Wattflächen, langgestreckte Priel- und Rinnensysteme, Riffeln und Dünen, groß- und kleinräumige Sedimentumlagerungen sowie einen Tidehub von rund 2 bis 4 Metern gekennzeichnet. Die bedeutendsten Wasserstraßen sind die Ästuarsysteme von Elbe, Weser, Jade und Ems. Trotz einzelner, das Fahrwasser stabilisierender Maßnahmen unterliegen diese Ästuarie noch starken morphodynamischen Veränderungen, die besonders im tidebeeinflussten Elbdelta die für die Unterhaltung der Wasserstraßen und der Häfen Verantwortlichen vor immer wiederkehrende Probleme stellen. Insbesondere die Migration der mäanderförmigen Fahrrinne mit dem Medemgrund als bedeutendste Untiefe erfordert ständig beachtliche Unterhaltungs- und Stabilisierungsmaßnahmen. Neben diesen aktuellen Problemstellungen sind in der Zukunft weitere Belastungen zu erwarten, die bislang in ihrer Wirkung auf die Morphodynamik nur schwer abschätzbar sind, wie z.B. der Meeresspiegelanstieg sowie die Intensivierung von Sturmfluten als Folge der prognostizierten Klimaänderung und eine erneute Vertiefung des Fahrwassers (von Lieberman & Albers 2005).

Zur Wahrung der Zukunftschancen für den Standort Deutschland ist die freie Zufahrt der Seeschifffahrt zu den internationalen Seehäfen an der Deutschen Küste zu garantieren. Aufgrund der Entwicklung in der Containerschifffahrt hat diese gesellschaftliche Vorgabe mindestens den Erhalt der

bestehenden Fahrwasser in den Ästuaren zur Folge. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Schifffahrtswege wird für die Tideelbe als Lebensader der Region verstanden. Dieses schließt an der Tideelbe neben der allgemeinen großen Bedeutung für ihren maritimen und touristischen Wert insbesondere den Standort eines der größten Seehäfen der Welt mit ein (HPA & WSDN 2006).

Um die sich daraus ableitenden Risiken sicher abschätzen und einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Nutzungsansprüchen und der naturräumlichen Bedeutung der betroffenen Küstenzonen finden zu können, ist ein umfassendes Prozessverständnis erforderlich. Aufgrund ihrer hohen Sensitivität gegenüber hydro- und morphodynamischen Veränderungen rücken dabei Wattgebiete – insbesondere im Mündungsgebiet von Tideflüssen – in das Zentrum wissenschaftlicher Aktivitäten.

Das „Naturmessprogramm zur Analyse morphodynamischer Veränderungen im Neufelder Watt“, das seitens der Hamburg Port Authority (HPA) mit dem Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) initiiert und durch die HPA finanziert wird, setzt hier an und soll auf der Basis umfassender Felduntersuchungen im Neufelder Watt in der Elbmündung das Prozessverständnis auf Wattflächen verbessern und eine sichere theoretische Grundlage für die mathematische mehrdimensionale Modellierung morphodynamischer Prozesse bereitstellen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Felduntersuchungen finden im Neufelder Watt mit dem Neufelder Sand statt (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet liegt im Mündungsgebiet der Elbe und steht in hydro- und morphodynamisch enger Wechselwirkung mit dem Elbestrom. Eine Prozessanalyse dieses Gebietes wird neben den allgemeinen Fragestellungen der Morphodynamik von Wattflächen auch wichtige, auf diesen Naturraum bezogene Erkenntnisse über die kurz- und mittelfristigen Umlagerungsprozesse liefern. Sie sollen einen ergänzenden Beitrag zu den zurzeit in der Untersuchung befindlichen Auswirkungen von Strombaumaßnahmen und neuer Methoden zum Sedimentmanagement im Tideflusssystem der Elbe liefern.

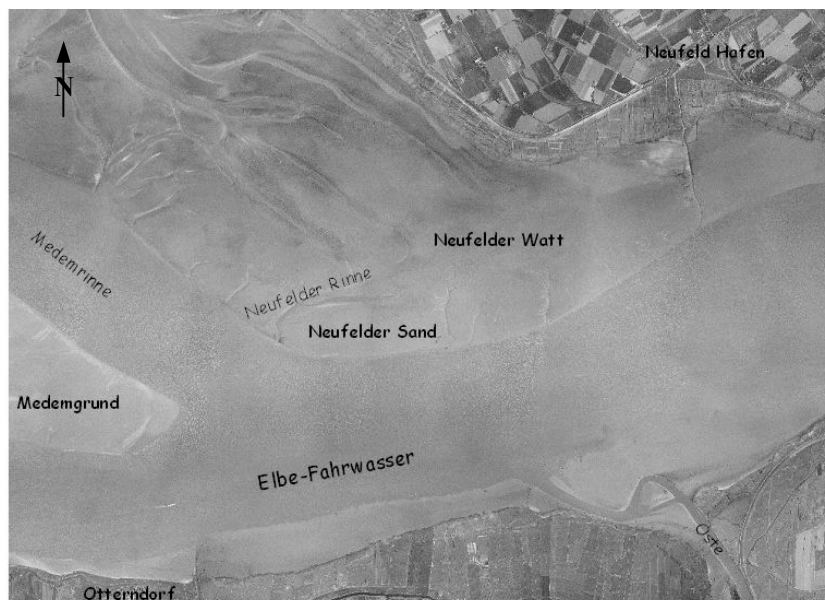


Abb. 1: Luftaufnahme des Untersuchungsgebietes in der Elbmündung (Quelle: ALR Husum 2005)

Der Neufelder Sand entstand in der Zeit nach 1926, als sich südlich des Neufelder Watts zunächst eine Barre bildete, die die Anfänge des Neufelder Sandes bedeutete. Der Ebbstrom verlief entlang des Nordufers der Elbe bis Neufelderkoog und orientierte sich dann am südlichen Rand des Neufelder

Watts und des Medemsandes. Während die Erosion der Neufelder Rinne voranschritt und diese sich immer tiefer in das Neufelder Watt grub, schritt auch die Entstehung des Neufelder Sandes weiter fort (Thumm 2003).

Bis etwa um das Jahr 1960 herum ist der Neufelder Sand zu einer Wattfläche angewachsen. In den Folgejahren wurde an seiner Südflanke durch den Bau des Leitdamms „Hermannshof“ in die Entwicklung dieses Wattgebietes eingegriffen. Der Leitdamm lenkte den Ebbstrom von der Neufelder Rinne hin zur Fahrrinne, was eine zunehmende Sedimentation der Rinne nach sich zog. In der Folge des Baus stabilisierte sich zudem die Wattkante im unmittelbaren Umfeld des Leitdamms, während die großräumigen Strukturen des Neufelder Sandes starken Veränderungen unterworfen waren. Der Neufelder Sand wurde durch den Leitdamm vor den Angriffen des Ebbstromes und damit vor einem Durchstechen geschützt. Heute ist die Neufelder Rinne nur noch ein Priel mit einer tiefsten Stelle bei etwa – 2 m NN. Dennoch ist die Neufelder Rinne für den Gesamtkomplex des Neufelder Watts von großer Bedeutung, da sie eindeutig der dominierende Priel in diesem Gebiet ist und somit wesentlich für die Be- und Entwässerung des Wattkomplexes verantwortlich ist.

### 3 Langfristige Entwicklung

Zur Untersuchung der morphologischen Veränderungen in der Elbmündung in großen Raum- und Zeitskalen liegen einige aktuelle sowie historische Wattgrundkarten und topographische Karten vor. Aus ihnen wurde zunächst ein rein visueller Vergleich der vorliegenden Karten erstellt, um etwa Verlagerungen von Rinnen und die Entstehung von Sänden zu erkennen. Durch Subtraktion der Höhendaten von Punkten gleicher räumlicher Lage wurden exemplarisch Höhendifferenzbilder erstellt, aus denen Erosions- oder Sedimentationstendenzen über den jeweiligen Vergleichszeitraum ersichtlich werden. Gerade bei Vorliegen vieler Karten geht der Überblick schnell verloren. Um alle vorliegenden Karten zu berücksichtigen und die Veränderungen zu quantifizieren, wurden die Höhenänderungen weiter analysiert. Es empfiehlt sich dabei, jeweils nur begrenzte Flächen zu betrachten, die morphologisch zu einer Einheit gehören (z.B. hohes Watt, Randwatt, Brandungswatt, Rinnensysteme). Des Weiteren ist zu beachten, dass nicht alle Aufnahmen das gesamte Gebiet der Elbmündung abdecken.

Die erstellten Höhendifferenzendarstellungen visualisieren das Ergebnis aller natürlichen Höhenänderungen, die während des Vergleichsraumes im betrachteten Gebiet aufgetreten sind. Zusätzliche können statistische Auswertungen der Höhendifferenzmodelle erstellt werden. Anhand einer Auswertung der Höhendifferenzen lassen sich zwei Kennwerte für die morphologische Aktivität des Gebietes ermitteln: Die mittlere Höhenänderung als Differenzwert (Bilanzhöhe) und die mittlere Höhenänderung als Absolutwert (Umsatzhöhe) von Sedimentation und Erosion aller Zellen. Da allerdings die zwischenzeitlich abgelaufenen Umlagerungen nicht erfasst werden, liegt der tatsächliche Materialumsatz vermutlich deutlich über dem der Kartenauswertung. Das Ausmaß dieser Abweichungen nimmt mit der Länge des Vergleichszeitraumes zu.

Die Arbeiten im Rahmen des MORAN-Projektes (Siefert 1987) haben gezeigt, dass die Umsatzhöhe  $h_u$  über den Vergleichszeitraum  $a$  als Sättigungsfunktion

$$h_u = h_{ua} \left( 1 - e^{-a/a_0} \right) \quad \text{Gl.1}$$

bestimmt werden kann. Hierbei gibt  $a$  als einzige Variable einen Betrachtungszeitraum (den Zeitraum zwischen zwei topographischen Aufnahmen) an, nicht aber die fortlaufende Zeit. Die asymptotische Umsatzhöhe  $h_{ua}$  ist ein (theoretisch erst für sehr große  $a$  erreichbarer) mittlerer Höchstwert für  $h_u$ ;  $a_0$  steht für den Zeitraum, in dem  $h_{ua}$  bei gleichmäßiger, linearer Veränderung der Topographie erreicht werden würde. Die Steigung im Ursprung beträgt  $h_{ua}/a_0$  und entspricht somit der Umsatzrate.

Für die Quadrate im Wattkomplex Neufelder Sand wurde versucht, eine Sättigungskurve zu berechnen. Für ein Quadrat liegen beispielsweise 18 topographische Aufnahmen aus den Jahren 1954

bis 2004 vor. Es sind somit insgesamt 152 Kartenvergleiche mit einem Vergleichszeitraum von  $a = 1$  Jahr (z.B. 1983/1984),  $a = 2$  Jahre (z.B. 1977/1979) bis zu  $a = 50$  Jahre (1954/2004) möglich. Es können also 152 Umsatzwerte, die jedes Mal den Mittelwert aus den Daten der Gesamtfläche des Quadrates darstellen, zur Auswertung herangezogen werden. Die 152 Umsatzwerte werden in einem Diagramm gegen den Vergleichszeitraum  $a$  aufgetragen. Durch die so entstandene Punktwolke wird versucht, die Funktion  $h_u = f(a)$  zu berechnen. Es ist festzustellen, dass kein asymptotischer Grenzwert erreicht wird und es somit auch nicht möglich ist, eine Funktion der oben beschriebenen Art zu bestimmen.

Es lässt sich nur dann eine Sättigungsfunktion errechnen, wenn die Bilanzhöhe  $h_b$  bei Zunahme des Vergleichszeitraumes  $a$  gegen Null geht oder sich auf ein bestimmtes Niveau einpendelt. Wenn  $h_b$  auch bei zunehmendem  $a$  im Verhältnis zu  $h_u$  wächst, deutet dies auf eine säkulare Hebung während des Vergleichszeitraumes hin (Hofstede 1991). Bei der Darstellung der Bilanzhöhen über die Vergleichszeiträume (Abb. 2) zeigt sich, dass lediglich bei fünf der 152 Kartenvergleiche für das gewählte Quadrat im Untersuchungsgebiet Neufelder Sand über alle Zellen gemittelt Erosion auftrat. In allen übrigen Fällen fand Sedimentation statt: Der Neufelder Sand wuchs im untersuchten Bereich über den Betrachtungszeitraum stetig in die Höhe und die Neufelder Rinne verlandete kontinuierlich. Dabei ergeben sich die größten Bilanzhöhen natürlich bei den größten Vergleichszeiträumen. Um nähere Informationen über die morphologische Änderungsrate des Gebietes zu erhalten, wurden die Bilanzhöhen gleichverteilt über die Dauer des zugehörigen Vergleichszeitraumes berechnet (Abb. 3) und dann wiederum gegenüber dem Vergleichszeitraum aufgetragen. Je größer dabei der Vergleichszeitraum, desto mehr pendelt sich die Änderung der Bilanzhöhe bei 0,14 m pro Jahr ein. Das bedeutet, dass langfristig ein Anwachs der untersuchten Fläche im Neufelder Sand um 0,14 m pro Jahr stattfindet. Diese Änderungsrate hat zurzeit nur eine schwach abnehmende Tendenz. Über kurze Vergleichszeiträume können auf der Untersuchungsfläche jedoch auch wesentlich größere oder kleinere (bzw. negative) Änderungsraten auftreten. Aus dieser Art der Darstellung können ebenfalls Vergleichszeiträume erkannt werden, in denen extreme Umlagerungen stattfanden (z.B. 1984/1983, 1979/1977).

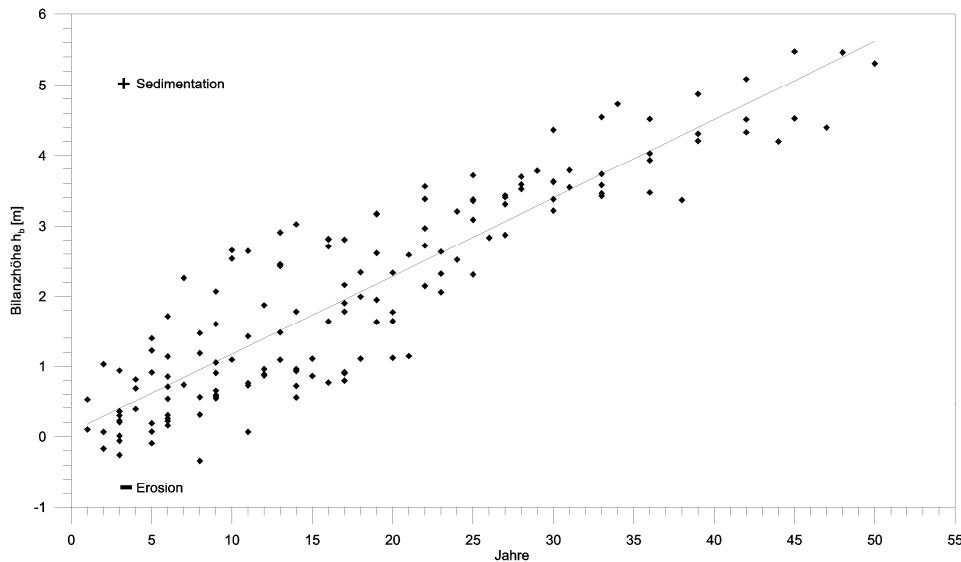


Abb. 2: Bilanzhöhen über die Vergleichszeiträume

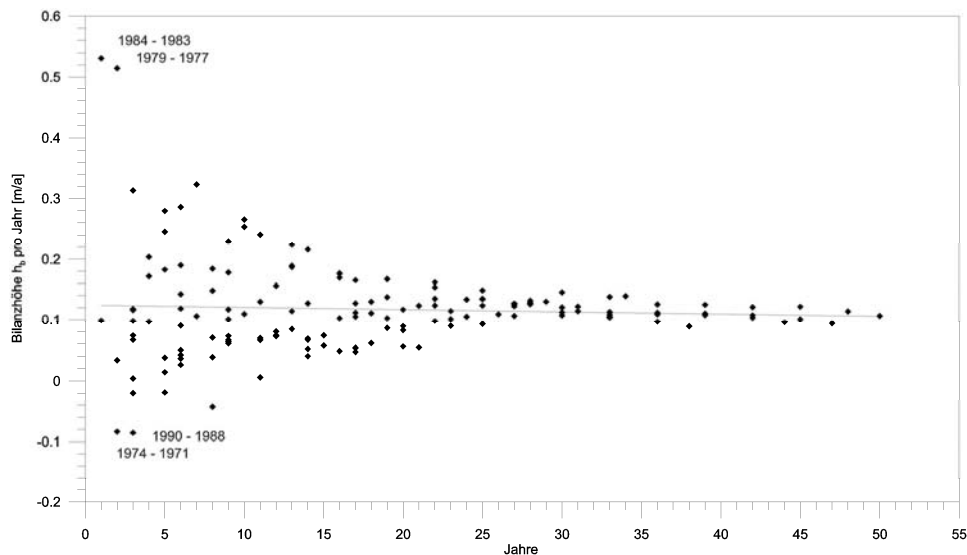


Abb. 3: Bilanzraten über die Vergleichszeiträume

#### 4 Messprogramm

In der Neufelder Rinne wurde ein Querschnitt ausgewählt, in dem Messgeräte installiert wurden. Die Position des Querschnittes im Neufelder Watt ist der Abb. 4 zu entnehmen. Der mittlere Tidenhub im Untersuchungsgebiet liegt bei etwa 3 m. Auf Höhe des Messquerschnittes beträgt die Breite der Neufelder Rinne ca. 100 m und die tiefste Stelle liegt bei  $-2$  m NN. Dies führt zu Wasserständen von 0,50 m bei mittlerem Tideniedrigwasser bis zu 3,50 m bei mittlerem Tidehochwasser an der tiefsten Stelle. Die umliegenden Wattflächen und die Messgeräte an den Prielrändern fallen während längerer Phasen trocken. In der Prielmitte sowie an beiden Rändern wurden kontinuierlich und hochauflösend jeweils Strömungsparameter, Konzentrationen suspendierter Sedimente und Seegangparameter aufgezeichnet. Dabei kamen drei Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), fünf Drucksonden sowie drei Optical Backscatter Sensor (OBS) zum Einsatz. Über den Einsatz dieser stationären Messgeräte hinaus erfolgten in regelmäßigen Abständen von drei bis vier Wochen sowie nach Extremereignissen Vermessungen der Bathymetrie mit Hilfe eines Fächerecholotes (MBES). Des Weiteren wurden Bodenproben entnommen, die die Basis für eine Sedimentdatenbank des Untersuchungsgebietes bilden.

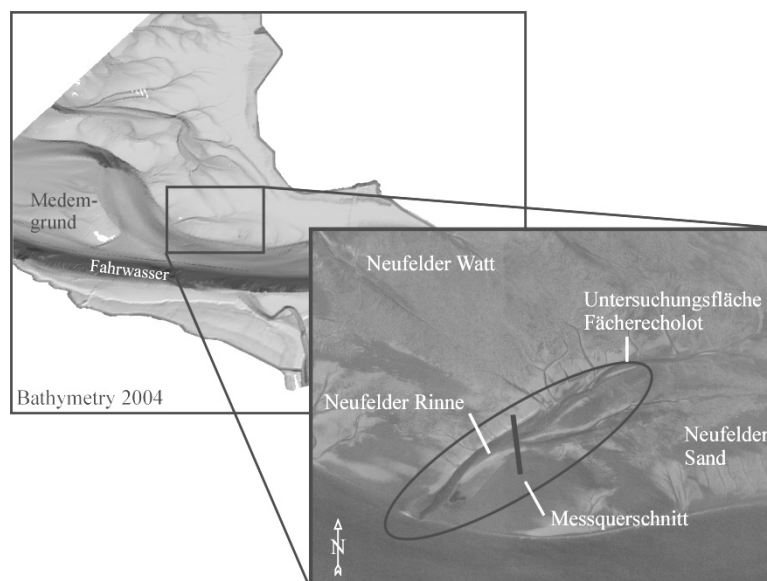


Abb. 4: Lage des Messquerschnittes und der Untersuchungsfläche des Fächerecholotes



Die Anordnung der Messgeräte in einer Messposition ist in Abb. 5 dargestellt. Von Juni 2006 bis Dezember 2006 wurden sämtliche oben genannten Parameter parallel an den drei Messpositionen aufgezeichnet. Zur Messung der Strömungsrichtung und –geschwindigkeit wurden ADCP-Geräte des Typs Workhorse Sentinel der Firma RDI verwendet. Die Konzentrationen suspendierter Sedimente wurden durch ein indirektes Messverfahren mit Hilfe Trübungsmessgeräten der Firma ARGUS Environmental Instruments bestimmt. Bei dem innovativen Messgerät Argus Surface Meter sind 100 optische Backscatter Sensoren in einem Stahlrohr montiert und messen so den Sedimentgehalt in der Wassersäule einen Meter über der Sohle. Zuvor wurde das Gerät anhand von in dem Untersuchungsgebiet entnommenen Sedimentproben kalibriert. Der Seegang wurde mit Hilfe von fünf Drucksonden aufgezeichnet. Die Fächerecholotvermessungen erfolgten mit dem Forschungsboot des Instituts für Wasserbau der TUHH.

Im Mai 2007 wurden die Messungen wieder aufgenommen. In der gegenwärtigen Phase des Projektes wird der Schwerpunkt der Felduntersuchung auf den südlichen Rand des Neufelder Watts gelegt. Es wurde wiederum darauf geachtet, die Messgeräte so nah wie möglich zueinander zu platzieren, ohne dass diese sich gegenseitig beeinflussen. Nach jeder Wartung der Geräte werden deren Positionen in Lage und Höhe exakt mit Hilfe eines Differential GPS eingemessen.

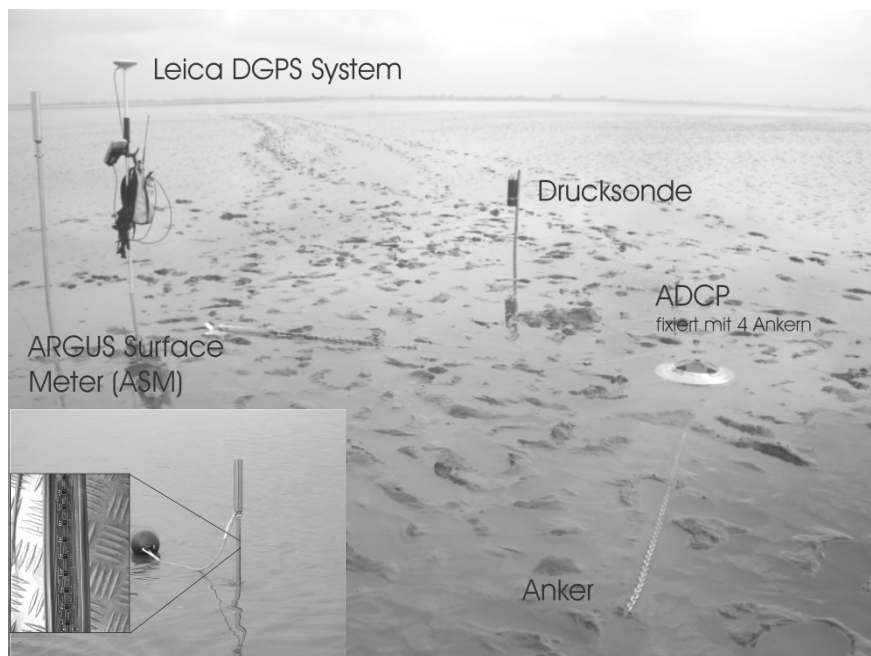


Abb. 5: Messposition mit Drucksonde, ADCP, ASM. DGPS zur Einmessung der Geräte. Bild im Bild: ARGUS Surface Meter (ASM) mit optischen Backscatter Sensoren.

## 5 Kurzfristige Entwicklung

Wegen der geringen Wassertiefen und der hohen Sedimentkonzentrationen im Untersuchungsgebiet besitzt eine umfassende Bereinigung der aufgezeichneten Fächerecholotdaten große Bedeutung. Nach dem Postprocessing konnte aus dem jeweiligen Datensatz ein digitales Geländemodell des untersuchten Bereiches erstellt werden. Auffällig ist ein Ebbdelta an der Mündung der Neufelder Rinne. Anhand der gekennzeichneten Quer- und Längsprofile (Abb. 7) zu verschiedenen Betrachtungszeitpunkten kann die vertikale und horizontale Verschiebung der Prielachse verdeutlicht werden.

Abb. 8 zeigt einen Querschnitt an der Mündung der Neufelder Rinne. Es ist eine ostwärts gerichtete horizontale Verschiebung festzustellen. Gleichzeitig nehmen die Sohlhöhen in diesem Bereich zu. In Abb. 9 ist ein Längsschnitt des untersuchten Bereichs der Neufelder Rinne dargestellt. Die großen

Änderungen an der Prielmündung resultieren aus der Horizontalverschiebung der Prielachse in diesem Gebiet. Im Verlauf der Neufelder Rinne nehmen die Änderungen der Bathymetrie ab. Etwa in der Mitte des Prielverlaufs kann eine Vertiefung der Sohle nach dem 28. Juni 2006 festgestellt werden. Im hinteren Part der Rinne sind die Veränderungen marginal. Ein unmittelbarer Einfluss der schweren Sturmflut, die am 1. November 2006 stattfand, auf die Bathymetrie ist nicht auszumachen.

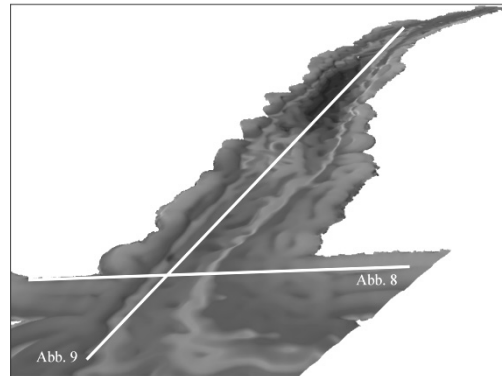


Abb. 7: Ergebnis der Fächerecholotvermessung vom 28. Juni 2006 und Position des Längs- und Querschnittes in der Neufelder Rinne

Die horizontale Verschiebung der Mündung der Neufelder Rinne ist von untergeordneter Bedeutung für die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Position von Prielen sich im Verlaufe weniger Tidezyklen um einige Dezimeter verändern kann, diese Verschiebungen allerdings reversibel sind (Ehlers 1988).

Ein Vergleich der digitalen Geländemodelle verschiedener Untersuchungszeitpunkte erfolgt durch die Bildung von Höhendifferenzenmodellen. Aus allen Fächerecholotvermessungen wird ersichtlich, dass bis auf kleinere räumlich begrenzte Verlagerungen und der Verschiebung der Mündung die Neufelder Rinne im untersuchten Zeitraum lagestabil war. Nach der Auswertung der zweiten Projektphase, die im Februar 2007 begann, wird eine Aussage möglich sein, ob die zwischen Juni und November 2006 erhaltenen Resultate das Ergebnis saisonaler Effekte oder die Teile einer kontinuierlichen langfristigen Entwicklung sind.

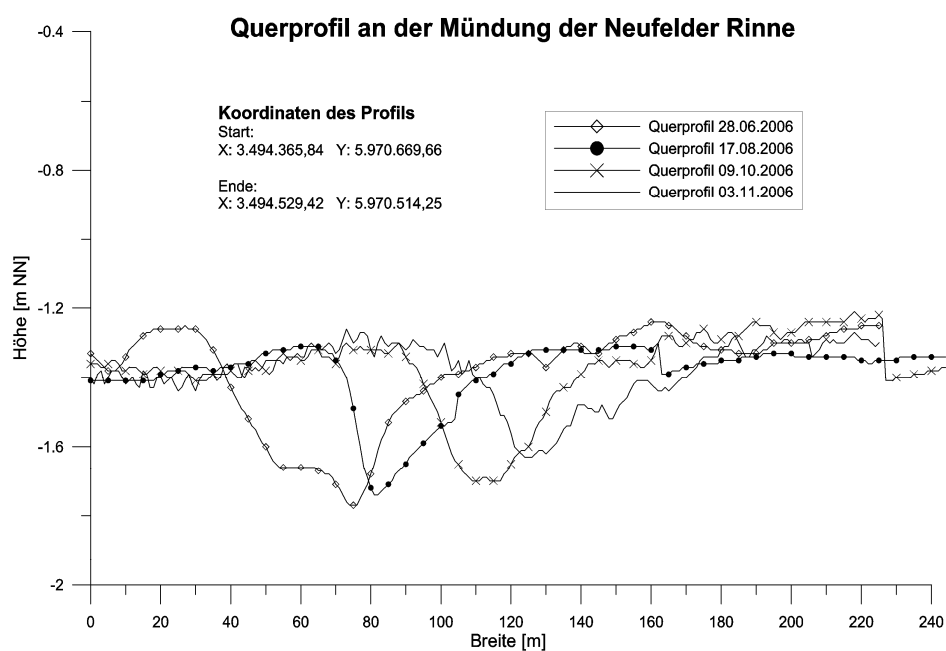


Abb. 8: Querprofil der Mündung der Neufelder Rinne zu verschiedenen Zeitpunkten

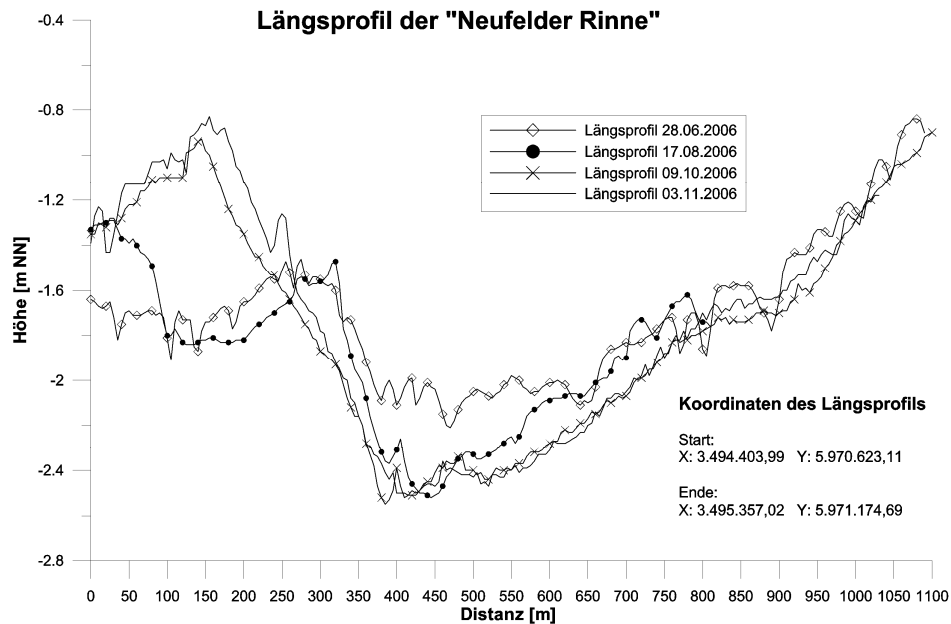


Abb. 9: Längsprofil der Mündung der Neufelder Rinne zu verschiedenen Zeitpunkten

## 6 Auswertung der Messdaten

In Abb. 10(a) sind die gemessenen Größen in der Prielmitte vom 4. Juli 2006 aufgetragen und stehen exemplarisch für den überwiegenden Teil der Messungen in den Sommermonaten ohne nennenswerte Trift- oder seegangsinduzierte Strömung. Dargestellt sind die Windgeschwindigkeit und Windrichtung, der Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und –richtung sowie die Konzentration suspendierter Sedimente. Die letzten drei Parameter sind tiefengemittelt dargestellt.

Die Maxima in den Strömungsgeschwindigkeiten während der Flut- und der Ebbephase sind deutlich zu erkennen. Der Verlauf der Tide ist deutlich den aufgetragenen Strömungsrichtungen zu entnehmen. Die Tideströmung folgt dabei exakt dem Verlauf der Neufelder Rinne. Erkennbar ist die kürzere Dauer der Flutphase. Das Signal der Sedimentkonzentrationen ist im Allgemeinen stärkeren Schwankungen unterworfen als die Strömungsmessungen. Es sind Maxima auszumachen, die zeitversetzt den Maxima der Strömungsgeschwindigkeit folgen. Während des Verlaufes des dargestellten Zeitraumes sind die Konzentrationen der suspendierten Sedimente höher als zu anderen Messzeitpunkten. Dies trat wiederholt während Phasen niedrigerer Wasserstände auf.

Abb. 10(b) zeigt die gemessenen Werte während der Sturmflut von 1. November 2006. Der maximale Wasserstand liegt bei 3 m über dem Mittlerem Tidehochwasser. Die Peaks der Strömungsgeschwindigkeit sind deutlich verbreitert. Die Strömungsrichtung folgt nicht mehr dem Verlauf der Neufelder Rinne. Die Sedimentkonzentration liegt auf einem normalen Niveau und deutlich unter dem in Abb. 10(a) dargestellten.

Aus den aufgezeichneten und ausgewerteten Sedimentkonzentrationen und den Strömungsparametern wurde der residuelle Transport berechnet, indem die transportierten Sedimentmengen während der Flut- und Ebbephase bilanziert wurden. Der Transport während der Ebbephase überwog, wobei die Menge des transportierten Materials von Tide zu Tide stark variieren konnte. Insgesamt waren Phasen mit höherem bzw. niedrigerem Transport ausgeglichen. Das aus der Neufelder Rinne ausgetragene Material lagert sich zum Teil an der Mündung ab und bildet dort das bereits oben erwähnte Ebbdelta.

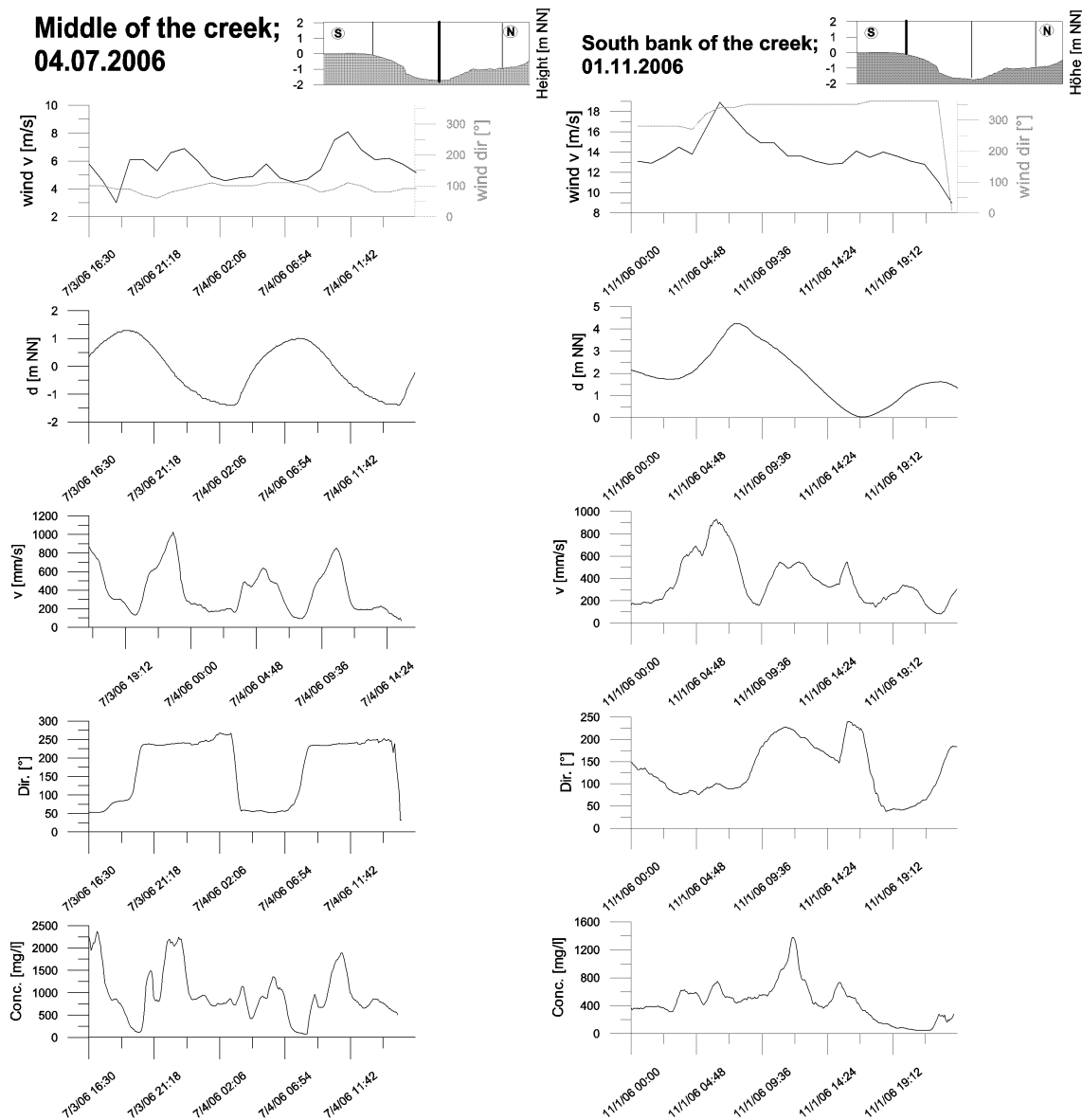


Abb. 10: Messdaten vom 4. Juli 2006 (a) und vom 1. November 2006 (b)

Im Rahmen des Forschungsprojektes PROMORPH, das in den Jahren 2000 bis 2002 von verschiedenen Instituten durchgeführt wurde, wurden Felduntersuchungen in den Tiderinnen der zentralen Dithmarscher Bucht an der Westküste Schleswig-Holsteins durchgeführt. Die Messungen decken einen großen Bereich von Tidebedingungen ab, wobei die Breiten der untersuchten Tiderinnen bis zu zehn Mal größer waren als die der Neufelder Rinne. Die Wassertiefen betragen bis 18 m (Poerbandono & Mayerle 2005). Obwohl die Untersuchungsgebiete unterschiedliche hydrologische und morphodynamische Charakteristika aufweisen, kann ein Vergleich der Resultate der beiden Projekte genutzt werden, um die Ergebnisse aus dem Neufelder Watt zu bewerten.

## 7 Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der bis dato ausgeführten Felduntersuchungen im Neufelder Watt können bestimmte Schlussfolgerungen über die morphodynamischen Prozesse in Flachwassergebieten des Wattenmeeres gezogen werden. Dabei wurden sowohl die Daten der stationären Messgeräte als auch die Ergebnisse der Fächerecholotvermessungen analysiert und bewertet. Die Resultate werden bei der Erstellung

eines numerischen Modells des Untersuchungsgebietes berücksichtigt und können helfen, das Prozessverständnis der Hydro- und Morphodynamik auf Wattflächen zu verbessern.

Morphologische Tendenzen und Verlagerungen der Neufelder Rinne wurden mit Hilfe von Fächerecholotvermessungen aufgezeichnet. Dabei konnten im Untersuchungszeitraum keine signifikanten Zeichen von Instabilität festgestellt werden. An der Mündung der Neufelder Rinne fand eine horizontale Verschiebung der Prielachse statt, welche allerdings von untergeordneter Bedeutung für die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes ist. Innerhalb der Neufelder Rinne wurden Sedimentverlagerungen beobachtet, insgesamt war die Situation allerdings ausgeglichen. Unmittelbar nach der Sturmflut vom 1. November 2006 wurde keine nennenswerte Veränderung der Bathymetrie festgestellt.

Die Auswertung der Strömungsdaten zeigte die immense Bedeutung der Neufelder Rinne für die Be- und Entwässerung des Untersuchungsgebietes. Die Tidenströmung folgte dem Verlauf der Rinne auf der gesamten untersuchten Breite des Messquerschnittes. Selbst bei Wasserständen, die deutlich über der bathymetrischen Höhe der Prielufer lagen, folgte die Strömung dem Verlauf der Rinnenachse. Während einer normalen Tide folgte dem Maximum der Strömungsgeschwindigkeit zeitversetzt ein Maximum der Konzentration suspendierter Sedimente.

Eine Abschätzung des residuellen Transports zeigte, dass die Menge der transportierten Sedimente während der Ebbphase überwog. Das bewegte Material akkumuliert an der Mündung der Neufelder Rinne und bildet dort ein Ebbdelta.

Der Sedimenttransport im Untersuchungsgebiet war während des Messzeitraumes hauptsächlich durch die Tidenströmung geprägt. Wind- oder welleninduzierte Strömungen beeinflussten den Sedimenttransport nur während extremer Wetterbedingungen. Im Falle einer Sturmflut jedoch sind die Wassertiefen so groß, dass die seegangsinduzierten Strömungen keine erodierende Wirkung auf den Wattboden im untersuchten Gebiet haben.

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

Angesichts der großen Bedeutung, die der freie Zugang des Hamburger Hafens zum Meer für die wirtschaftliche Entwicklung des Nordens Deutschlands besitzt, dieser aber auch durch Fehleinschätzungen in der morphodynamischen Entwicklung des Elbeästuars zu unwirtschaftlichen Unterhaltungsmaßnahmen führen kann, muss die Wissensgrundlage über morphodynamische Prozessabläufe und Wirkungszusammenhänge dringend verbessert werden. Insbesondere gilt dies für die Flachwasserbereiche des Wattenmeeres.

Das Projekt „Naturmessprogramm und Modellbildung zur Analyse morphodynamischer Veränderungen im Neufelder Watt“ soll auf diesem Gebiet einen Beitrag leisten, indem auf der Grundlage umfangreicher Felduntersuchungen auf einem Teilraum des norddeutschen Wattenmeeres die hydrodynamischen und morphodynamischen Prozesse analysiert und Wirkungsketten aufgezeigt werden. Hierauf aufbauend soll eine verbesserte Theorie zur Morphodynamik von Wattbereichen entwickelt werden, die es erlaubt, das Verhalten von Seegang in Flachwasserstrukturen sowohl in der Fläche als auch Prielen und Rinnen des Wattenmeeres zu beschreiben.

Aus den bisher im Rahmen dieses Projektes erfolgten Untersuchungen und Naturmessungen können bestimmte Schlüsse über die Morphodynamik des Neufelder Watts bzw. des Neufelder Sandes gezogen werden. Dabei finden sowohl die stationären Messungen als auch die Fächerecholotvermessungen Berücksichtigung.

Aus der Analyse vorliegender historischer Vermessungsdaten ging hervor, dass der Neufelder Sand über lange Betrachtungszeiträume einer konstanten Entwicklung folgt, auf kleinen Zeitskalen jedoch Veränderungen unterliegt. Es ist das Ziel, diese Veränderungen zu verstehen. Entsprechende morphologische Entwicklungen wurden durch die Fächerecholotmessungen dokumentiert.

Die Neufelder Rinne ist über den Untersuchungszeitraum insgesamt relativ lagestabil. Lediglich im Mündungsbereich finden horizontale Verschiebungen der Achse statt, die aber für die morphologische Entwicklung von untergeordneter Bedeutung sind. Innerhalb der Neufelder Rinne fanden zwar Materialumlagerungen statt, insgesamt ist die Sedimentbilanz auf den untersuchten Flächen allerdings ausgeglichen. Unmittelbare Auswirkungen von Extremereignissen auf die Morphologie konnten im Betrachtungszeitraum nicht ausgemacht werden.

Durch die Abschätzung des residuellen Transports wird deutlich, dass der Sedimenttransport während der Ebbe überwiegt. Ausgetragenes Material sedimentiert an der Ausfahrt der Neufelder Rinne wieder und bildet dort ein Ebbdelta. Aus der Rinne ausgetragenes Material stammt von den Wattflächen, was sich in den erhöhten Sedimentkonzentrationen an den Prielrändern zeigt.

Durch die Auswertung der Strömungsmessungen wird deutlich, dass die Neufelder Rinne das entscheidende Steuerungsinstrument für die Be- und Entwässerung des gesamten Wattkomplexes ist. Die tidebedingten Strömungen folgen auf der gesamten durch die Messgeräte erfassten Breite der Achse der Rinne. Auch bei Wasserständen, die deutlich über der Oberkante des umliegenden Watts liegen, entspricht die Strömungsrichtung der Ausrichtung der Rinne. Während Ebbe und Flut sind die üblichen Strömungsmaxima festzustellen. Während normaler Tiden folgt den tidebedingten Strömungsmaxima zeitversetzt ein Maximum in der Konzentration suspendierter Sedimente. Der Sedimenttransport ist somit primär durch die Tideströmung geprägt. Triftströmungen oder seegangsinduzierte Strömungen sind erst bei extremen Wetterlagen zu erkennen. Im untersuchten Messquerschnitt ist die Wirkung von seegangsinduzierten Strömungen begrenzt, da nur bei erhöhten Wasserständen nennenswerter Seegang bis dorthin vordringt, dann allerdings der vorhandene Wasserstand eine hohe dämpfende Wirkung besitzt.

Während der ersten Phase des Projektes konnten wichtige Erkenntnisse über die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes gewonnen werden. In der Folgephase werden diese Erkenntnisse in die hydronumerische Modellierung einfließen, die später helfen sollen, zukünftige Strombaumaßnahmen zu bewerten.

Auch weiterhin sind in regelmäßigen Abständen Fächerecholotaufnahmen der Neufelder Rinne geplant, um Sedimentbilanzen aufstellen zu können. Des Weiteren müssen Messungen durchgeführt werden, um die Modellierung zu unterstützen. Insbesondere zur Erfassung von Randbedingungen müssen weitere Messkampagnen betrieben und Messfahrten unternommen werden. Entlang des südlichen, des westlichen und des östlichen Modellrandes müssen Strömungsparameter und Sedimentkonzentrationen aufgezeichnet werden. An diesen Positionen werden jeweils zwei Geräte entlang des Randes installiert werden, um somit von punktuellen Werten auf linienhafte Informationen schließen zu können, die im Modell verwendet werden können. Seegangsmessungen werden über die Wattkante am südlichen Modellrand verteilt sowie auf der Fläche des Neufelder Sandes vorgenommen.

Weiterhin sind für die Modellierung detaillierte Kenntnisse über die anstehenden Sedimente erforderlich. Daher sind umfangreiche großflächige Entnahmen von Sedimentproben vorgesehen. Ergänzt werden kann diese herkömmliche Methode zur Seegrundklassifizierung durch hydroakustische Verfahren mit Hilfe eines Fächerecholotes.

## Literatur

- Ehlers, J. (1988): The Morphodynamics of the Wadden Sea. Balkema. Rotterdam, The Netherlands.
- Hofstede, J. (1991): Hydro- und Morphodynamik im Tidebereich der deutschen Bucht. In: Berliner geographische Studien, Band 31.
- HPA & WSDN (2006): Konzepte für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg. Broschüre.
- Poerbandono & R. Mayerle (2005): Composition and Dynamics of Sediments in Tidal Channels of the German North Sea Coast. In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Die Küste, Heft 69. Boyens, Heide/Holstein.
- von Lieberman, N. & T. Albers (2005): Analyse und Detailmodellierung morphodynamischer Wattstrukturen im Mündungsgebiet der Elbe. In: Hafenbautechnische Gesellschaft (Hrsg.): Tagungsband zum HTG-Kongress 2005. Seehafen-Verlag, Hamburg.
- Thumm, S. (2003): Temporale Analyse der morphodynamischen Veränderungen im Tidebereich der Elbe. Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg. Unveröffentlicht.
- Siefert, W. (1987): Umsatz- und Bilanz-Analysen für das Küstenvorfeld der Deutschen Bucht, Grundlagen und erste Auswertungen (Teil 1 der Ergebnisse eines KFKI-Projektes) In: Die Küste, Heft 45. Boyens, Heide/Holstein.

## Adresse

Prof. Dr.-Ing. Nicole von Lieberman  
Dipl.-Ing. Thorsten Albers  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Wasserbau  
Denickestraße 22  
D-21073 Hamburg

[vonlieberman@tuhh.de](mailto:vonlieberman@tuhh.de)  
[t.albers@tuhh.de](mailto:t.albers@tuhh.de)



## **Charakterisierung von Sturmflutablagerungen auf Hallig Hooge - Quantifizierung des Sedimentwachstums seit 1914 -**

Matthias Deicke, Volker Karius, Wiebke Jahnke, Wiebke Kallweit, Marlene Rebens & Dorothea Reyer

Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen (GZG), Abt. Sedimentologie/Umweltgeologie

### **Abstract**

The surface of the archipelago „Halligen“ in the North Sea west of Schleswig-Holstein is only a few decimetre above sea level and the shorelines of these islands are not protected by dykes. The islands are frequently flooded during storm events mostly during the winter season. The inhabitants live on artificial hills, so called „Warften“ 4 – 5 m above the island surfaces. Thus, this environment seems to be severely endangered by global warming and sea level rise. On the other hand, sedimentation of sandy-silty material occurs during each flooding. This process increases the islands surface steadily. Hallig Hooge e.g. is surrounded by a small dyke since 1914 which protects the island against weaker storms and spring tides during the summer. Still, Hooge is flooded about five times per year in average. The construction of the dyke is most probably the reason for a pronounced change in the sedimentation patterns within the marshy soil of Hooge. 44 soil soundings, 7 outcrops and 2 soil cores were examined for layers indicating a change in the sedimentation regime due to the construction of the dyke. An increase of the island surface since 1914 of up to 1.13 m at the margin and about 0.50 m in the central parts of Hooge was calculated. This is about 0.5 – 1.2 cm/a. Within the layers younger than 1914 the grain size decreases from the dyke to the central parts of the island. 52 sediment traps were installed during the winter season 2006/2007. During this period an average of 1.5 mm sediment increased the island surface, though the rate was higher at the outer parts of Hooge. So far it is unknown if a small dyke like the one at Hooge will be conducive to the sedimentation rate on a Hallig.

### **1 Einleitung**

Der gegenwärtige Klimawandel und der damit einhergehende Meeresspiegelanstieg bedroht Regionen wie die nordfriesischen Halligen (Abb. 1), deren Landoberfläche nur geringfügig über das mittlere Tidehochwasser hinausragt. Nach den jüngsten Modellierungen des IPCC (2007) soll der Meeresspiegelanstieg im Zeitraum von 1990 bis 2100 zwischen 18 cm und 59 cm betragen. Ältere Berechnungen prognostizierten einen Meeresspiegelanstieg zwischen 8 cm und 88 cm (IPCC 2001). Andere Untersuchungen prognostizieren ein verstärktes Abschmelzen der Inlandeismassen von Grönland und der Westantarktis und erwarten einen deutlich stärker steigenden Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 (Cazenave 2006). Jüngere Beobachtungen von Rahmstorf et al. (2007) bestätigen einen derzeit schneller steigenden Meeresspiegel als in den IPCC-Berichten von 2001 und 2007 prognostiziert wurde. Demnach stieg der Meeresspiegel im Beobachtungszeitraum von 1993 bis 2006 weltweit bereits um  $3,3 \pm 0,4$  mm/a. Damit bewegt sich der Meeresspiegelanstieg im obersten möglichen Szenario der dritten IPCC-Studie von 2001, der auch als „Ungewissheitsbereich“ bezeichnet wird. Die Ungewissheit resultiert aus dem schwer prognostizierbaren Verhalten der großen Inlandeismassen.

Im Bereich der schleswig-holsteinischen Nordseeküste wird der globale, klimatisch bedingte Meeresspiegelanstieg zusätzlich durch Landsenkungsprozesse verstärkt. Zum einen sind es die Nachwirkungen der letzten Kaltzeit, die in den Randbereichen des weichselzeitlichen Inlandeisschildes auch heute noch zu isostatischen Landsenkungen führen (z.B. Vink et al. 2007,



Milne et al. 2001). Zum anderen werden lokale Landsenkungen an der deutschen Nordseeküste durch die Setzung von Sedimenten und Torfen im jungen, holozänen Untergrund verursacht. Beide Prozesse sind schwer quantifizierbar und insbesondere die kompaktionsbedingte Landsenkung dürfte kleinräumig je nach Zusammensetzung des Untergrundes starke Variationen aufweisen. In der jüngeren Vergangenheit betrug der relative Meeresspiegelanstieg gemessen am Pegel Husum ca. 4 mm/a (13 cm von 1976-2006).

Die vor der schleswig-holsteinischen Westküste gelegenen Halligen scheinen durch den steigenden Meeresspiegel besonders bedroht zu sein. Die insgesamt 10 Halligen liegen nur wenige Dezimeter über dem mittleren Tidehochwasser. Die flache Halligmarsch zeigt nahezu kein natürliches Relief und sturmflutsichere Seedeiche existieren nicht. Lediglich die Ufer der bewohnten Halligen sind heute vor Erosion durch ein Steindeckwerk geschützt. Die Halligbevölkerung (insgesamt ca. 250 Personen) wohnt auf sogenannten Warften, künstlichen Erdhügeln von 4–5 m Höhe. Bei hochauflaufenden Springfluten und bei Sturmfluten werden die Halligen überflutet (=Land unter). Nur die Warften ragen dann noch aus dem Wasser. Die Häufigkeit der Land unter hängt von der Wetterlage, der topographischen Höhe, der Exposition sowie der Protektion der jeweiligen Hallig ab. So kommt es auf der Hallig Gröde zu über 20 Überflutungen pro Jahr, während auf der Hallig Hooge, die von einem ca. 1,50 m hohen Sommerdeich umgeben ist, im Durchschnitt jährlich nur ca. 5 Überflutungen auftreten.



Abb. 1: Übersichtskarte nordfriesisches Wattenmeer. Zu den Halligen zählen Gröde, Habel, Hamburger Hallig, Hooge, Langeness, Norderoog, Nordstrandischmoor, Oland, Süderoog und Südfall.

Aufgrund der geschilderten Gegebenheiten ist es sehr wahrscheinlich, dass ein steigender Meeresspiegel zu häufigeren Land unter und länger anhaltenden Überflutungen der Halligmarsch führen wird. Die Viehwirtschaft der Halligen wäre dann wegen der zunehmenden Versalzung der Weiden bedroht. Sturmfluten mit hohen Wasserständen und starken Wellenbewegungen stellen eine Gefahr für die bewohnten Warften dar. Tatsächlich zeichnet sich in den letzten Jahrhunderten ein

Trend zu immer höher auflaufenden Sturmfluten ab, der im Dezember 1999 mit dem Orkan „Anatol“ einen vorläufigen Höhepunkt fand. Bei dieser Orkanflut verschwand die nordöstlich vor Sylt gelegene unbewohnte dänische Hallig „Jordsand“ endgültig von der Landkarte.

Dass die meisten Halligen heute noch existieren ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Uferbereiche durch ein Steindeckwerk vor Erosion geschützt sind und zum anderen darauf, dass die Halligen von den regelmäßigen Überflutungen auch profitieren. Mit den Überflutungen gelangen Schwebstoffe auf die Halligen, die zum Teil auf der Hallig sedimentieren. Durch diesen natürlichen Akkumulationsprozess wächst die Halligmarsch in die Höhe.

In dieser Studie werden sedimentologische Untersuchungen vorgestellt, die der Frage nachgehen, ob das Wachstum der Halligoberfläche mit dem Anstieg des Meeresspiegels auch zukünftig Schritt halten kann. Die Hallig Hooge ist mit 580 ha die zweitgrößte Hallig. Die 85 Einwohner verteilen sich auf insgesamt 10 bewohnte Warften. Die Halligmarsch wird vorwiegend als Weideland extensiv genutzt, darüber hinaus bedecken Brachen und Salzwiesen die Hallig. Die topographische Höhe der Hooger Marsch liegt zwischen 1,45 m und 2,10 m ü.NN. Zwischen 1911 und 1914 wurde das Ufer mit einem Steindeckwerk gesichert und Hooge mit einem niedrigen Überflutungsdeich umgeben. Dieser Deich verringert die Anzahl der im Jahreslauf auftretenden Land unter.

## 2 Ergebnisse

### Aufschlüsse und Sondierungen

An insgesamt sieben Aufschlüssen wurden Kornverteilung, Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie Karbonatgehalt an Proben der anstehenden Halligmarsch bestimmt. Die Aufschlüsse befinden sich an Gräben und Prielen innerhalb der Hallig (Abb. 7).

Die Fertigstellung des Überflutungsdeiches im Jahr 1914 hat die Sedimentationsbedingungen auf Hooge nachhaltig verändert. Es gibt zwar keine einheitlich aufgebaute Halligmarsch aus der Zeit vor 1914, doch lässt sich die ältere Marsch von den jüngeren Ablagerungen recht deutlich unterscheiden. Das jüngere Sediment ist in der Regel deutlich geschichtet. Die Mächtigkeit der Lagen liegt häufig im cm-Bereich. Insbesondere in den deichnahen Aufschlüssen ist eine deutliche Wechsellagerung von feineren und gröberen Lagen erkennbar. Die älteren Ablagerungen (vor 1914) wirken im Gegensatz zu den jüngeren Sedimenten auf den ersten Blick sehr homogen. Erst bei genauerer Betrachtung zeichnet sich häufig eine sehr feine Wechsellagerung von nicht durchgängigen und meist nur Millimeter starken siltigen bis sandigen Lagen ab. Mächtigere Lagen treten nur selten auf. Die gröbere Schichtung ab 1914 ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass nach dem Deichbau die Anzahl der Land unter deutlich abgenommen hat. Überflutungen traten nur noch bei höheren Hochwässern auf und diese hatten wegen des höheren energetischen Niveaus vermutlich eine entsprechend erhöhte Suspensionsfracht als die zahlreichen kleinen Überflutungen vor dem Deichbau. Darüber hinaus wurde mit dem Deichbau ein Sedimentationsbecken geschaffen, weil das Wasser nur über drei Sieltore ablaufen konnte und damit die Verweildauer des Wassers auf der Hallig während eines Land unters verlängert wurde. Dadurch wurde es möglich, dass auch feinere Kornfraktionen abgelagert werden konnten.

Die Grenze zwischen den Ablagerungen vor und nach dem Deichbau ist sehr scharf und in den meisten Aufschlüssen der Hallig vorzufinden. Diese Grenze ist häufig durch eine Schichtfuge markiert (Abb. 2). Es handelt sich hierbei um eine 1,0 cm – 1,5 cm starke sandige Lage, die in den Aufschlüssen stark zurückgewittert ist. Vermutlich handelt es sich dabei um das Sediment der schweren Sturmflut von 1916.



Abb. 2: Aufschlüsse in der Böschung eines Halligprielis auf Hooge. Deutlich ist jeweils im unteren Bereich des Aufschluss eine Schichtfuge erkennbar, bei der es sich um eine zurückgewitterte Sandlage handelt, die vermutlich von der schweren Sturmflut des Jahres 1916 stammt.

Charakteristisch für die deichnahen Aufschlüsse sind mächtige Schilllagen (Abb. 3). Die Bildung der Schilllagen steht im Zusammenhang mit dem Überlaufdeich. Das auf der Deichinnenseite schnell strömende Überschlagnwasser ermöglicht zunächst nur groben Partikeln wie Schill oder Tongeröllen die Ablagerung. Feineres Material kommt in diesem anfangs schnell strömenden Milieu nicht zur Ablagerung. Die Schilllagen sind auf mehrere 10er Meter in Richtung Halligzentrum zu verfolgen. Die untersten Schilllagen markieren den Beginn der Sedimentation nach dem Deichbau.



Abb. 3: Deichnaher Aufschluss. Die Mächtigkeit des jüngeren Sedimentes beträgt hier ca. 1 m. Die Schilllagen wurden in einem schnell strömenden Milieu auf der Deichinnenseite abgelagert. Die unterste Schilllage markiert dementsprechend den Beginn der Sedimentation nach dem Deichbau 1914.

In den deichnahen Aufschlüssen kann eine Abnahme der Korngröße und eine Abnahme der Variabilität der Korngrößen beobachtet werden (Abb. 4). Größere Korngrößen und höhere Variabilität sind hier charakteristisch für die jüngeren Ablagerungen seit dem Deichschluss im Jahr 1914. Die Variabilität der Korngrößen wird hauptsächlich durch die Schilllagen verursacht.

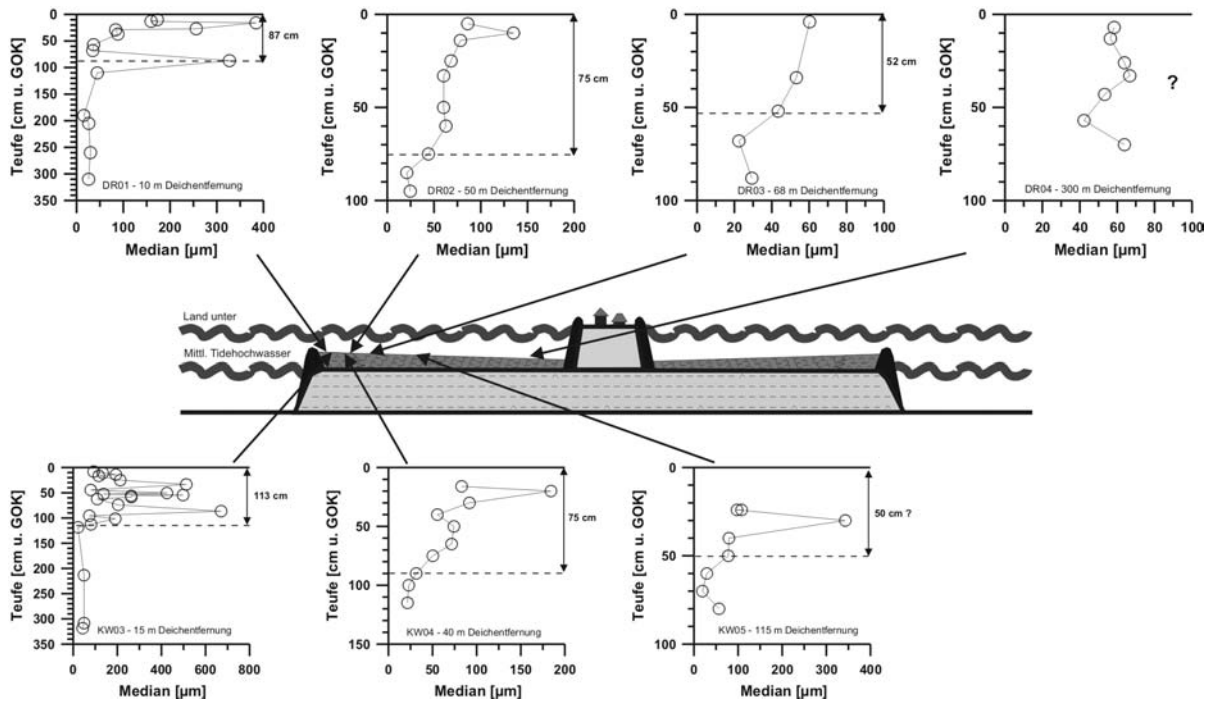


Abb. 4: Schematisches Profil und mediane Korngrößenverteilung in Aufschlüssen von Hallig Hooge. Die gestrichelte Linie entspricht dem Sedimentwechsel, der durch den Bau des Überflutungsdeiches im Jahre 1914 verursacht wurde. Die genaue Lage der untersuchten Aufschlüsse ist in Abb. 7 dargestellt.

In den deichnahen Aufschlüssen beträgt die Mächtigkeit des jüngeren Sedimentes bis zu 1,13 m. In Richtung Halligzentrum nimmt die Mächtigkeit des jüngeren Sedimentes auf ca. 0,50 m ab. Daraus errechnet sich eine Sedimentaufwachsrate von 0,5 – 1,2 cm/a seit 1914 (Abb. 5).

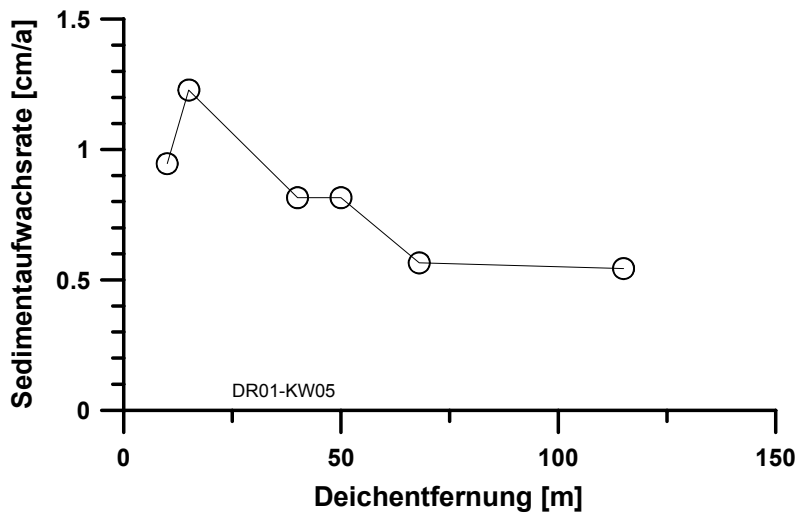


Abb. 5: Abnahme der Sedimentaufwachsrate mit zunehmender Entfernung vom Deich

Das jüngere Sediment ist im Zentrum der Hallig deutlich anders aufgebaut als in den deichnahen Randbereichen. Der Bohrkern einer im Zentrum der Hallig nahe der Hanswarft niedergebrachten Bohrung zeigt, dass das jüngere Sediment vorwiegend aus siltigem Material besteht, welches gelegentlich von mm-starken, sandigen Sturmflutlagen unterbrochen wird (Bohrung Hoo-06-2, Abb. 6). Bei 53 cm Teufe ist ein Sedimentwechsel zu feinsandigen Ablagerungen erkennbar. Dieser Sedimentwechsel kann mit dem Deichschluss von 1914 in Verbindung gebracht werden. Durch den Deichbau wurde ein Becken geschaffen mit ruhigen Sedimentationsbedingungen, die zur Ablagerung von Silt führten. Die Mächtigkeit der Ablagerungen seit 1914 beträgt hier 53 cm, entsprechend einer Sedimentaufwachsrate von 0,6 cm/a.

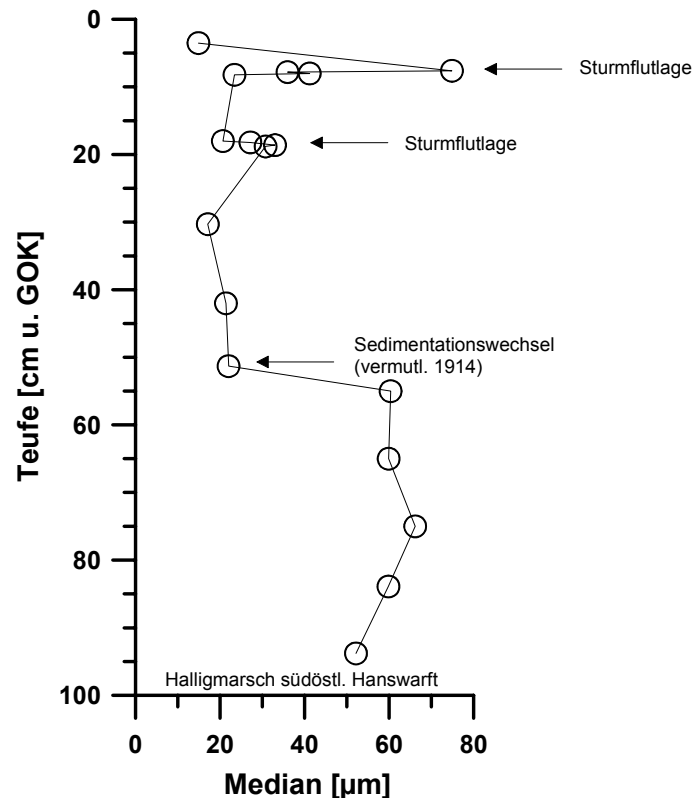


Abb. 6: Mediane Korngrößenverteilung in einem Bohrkern Hoo-06-02 von Hallig Hooge

Die in Aufschlüssen und der Bohrung Hoo-06-2 gefundenen Sedimentwechsel konnten auch durch Pürkhauer-Sondierungen festgestellt werden. Mit dieser Methode konnte der Sedimentaufwachs flächendeckender als mit den vorgenannten Methoden bestimmt werden. Der Durchschnittswert aus 44 Sondierungen liegt bei 0,69 m Sediment seit 1914, entsprechend einem Sedimentaufwachs von 0,75 cm/a. Aus Abb. 7 wird ersichtlich, dass in den Randbereichen tendenziell mehr Sediment abgelagert wurde als im Zentrum der Hallig. Die Sedimentaufwachsrate schwankt demnach zwischen 0,6 - >1 cm/a.

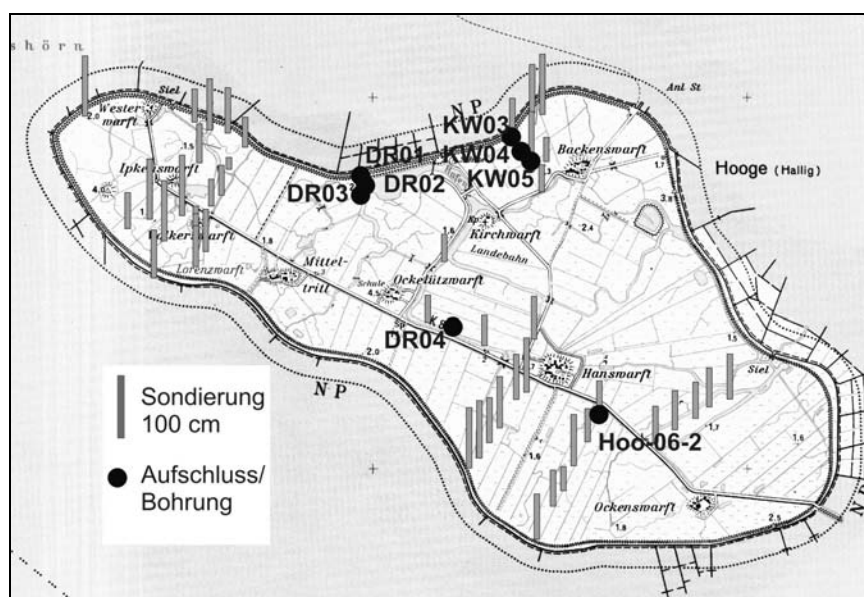


Abb. 7: Lage der untersuchten Aufschlüsse und Sondierungen und eines Bohrkernes (Hoo-06-2) auf Hooge. Die Länge der dargestellten Balken entspricht der Mächtigkeit des nach 1914 abgelagerten Sedimentes (Kartengrundlage: TK 25, Blatt Pellworm Nr. 1417).

Die heutige Topographie von Hooge ist von diesem Prozess geprägt worden. Auf Hooge liegen die deichnahen Randbereiche bei ca. 2,10 m ü.NN während das Zentrum bei ca. 1,45 m ü.NN liegt. Gut erkennbar wird das Relief nach einem Land unter, wenn bei ablaufendem Wasser die Randbereiche schon trocken gefallen sind, während das Halligzentrum immer noch unter Wasser steht.

### Sedimentfallen

Im November 2006 wurden insgesamt 52 Sedimentfallen auf Hooge installiert (Abb. 8). Es handelt sich bei den Sedimentfallen jeweils um eine Kombination aus einer 1L-Weithals-PE-Flasche und einer 30 cm \* 40 cm großen PVC-Matte mit Borsten. Die PE-Flaschen (Öffnungsdurchmesser 5 cm) wurde bis zum Flaschenhals in die Halligmarsch eingegraben. Die PVC-Matten wurden mit Nägeln befestigt. Kleinere Überflutungen im Herbst brachten kaum Sediment auf die Hallig. Erst am 11. Januar (Sturm „Franz“) und am 20. Januar 2007 (Sturm „Lancelot“) wurde Hallig Hooge für mehrere Tage überflutet. Die Wassertiefe betrug bis zu 2,40 m auf der Hallig. Anfang März 2007 wurden die Sedimentfallen entfernt (Anmk.: Die sehr sedimentreiche Überflutung durch das Sturmtief „Orkun“ am 19. März 2007 wurde leider nicht mit erfasst).

Das in den Flaschen gefangene Sediment wurde entsalzen, getrocknet, gewogen sowie seine Kornverteilung bestimmt. Korngrößen größer als 1 mm wurden abgesiebt, womit ein Großteil der organischen Substanz entfernt wurde. Das mit den Matten gewonnene Sediment wurde getrocknet und gewogen und diente hier nur der Kontrolle in den Flaschen gefangenen Sedimentmenge. Um das Wachstum der Halligoberfläche zu berechnen wurde für die gefangene Sedimentmenge eine Trockendichte von  $1,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  zugrunde gelegt und auf die Fläche der Flaschenöffnung bezogen. Dieser Wert wurde gewählt, weil er die zukünftige Kompaktion des Sedimentes von Anfang an mit einschließt.

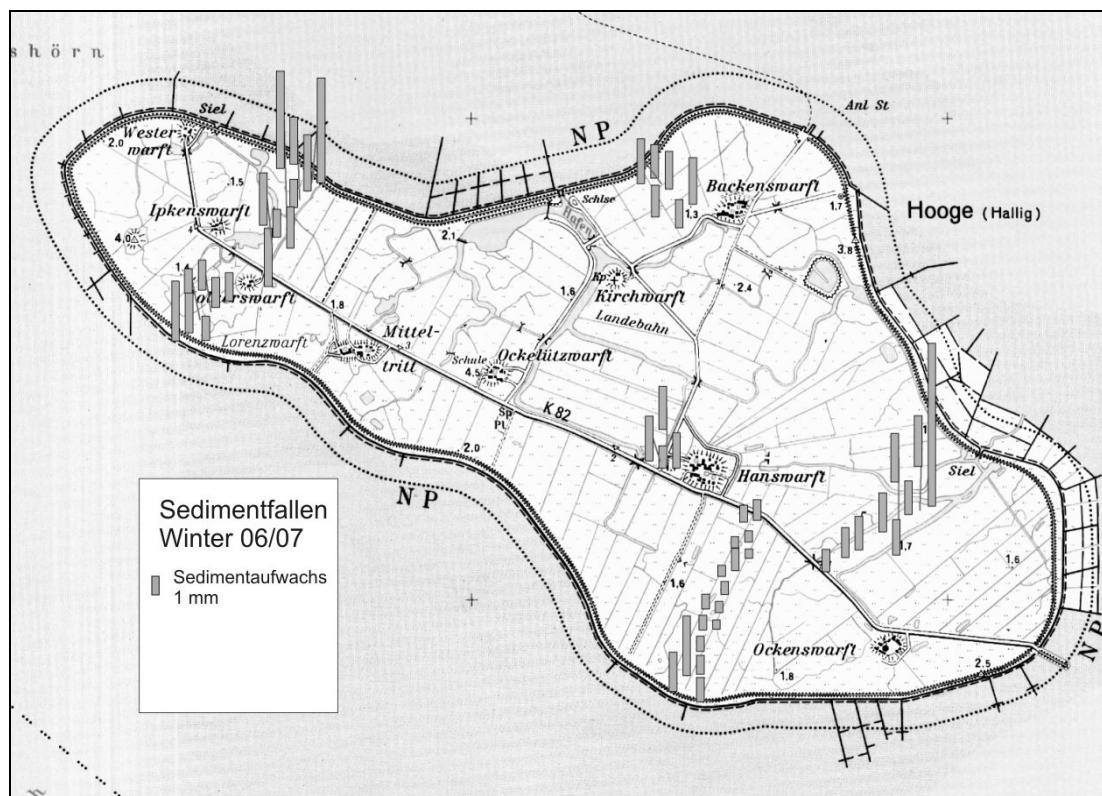


Abb. 8: Lage von Sedimentfallen und dem daraus berechneten Sedimentwachstum im Winter 2006/07. Für die Berechnung des Sedimentwachstums wurde eine Sedimenttrockendichte von  $1,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  zugrundegelegt (Kartengrundlage: TK 25, Blatt Pellworm Nr. 1417).

Mit den Flaschen wurden zwischen 1,0 g und 17,1 g salzfreies Sediment gefangen. Der Medianwert liegt bei 4,4 g. D.h., pro Quadratmeter wurden zwischen 0,5 kg und 8,7 kg abgelagert (Median:  $2,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Daraus lässt sich ableiten, dass die Hooger Marschoberfläche im Beobachtungszeitraum (Nov. 2006 – Mrz. 2007) zwischen 0,4 mm und 5,8 mm in die Höhe gewachsen ist (Median: 1,5 mm). Die Kornverteilung der Sedimente wurde mit Laserbeugung (LS 13320, Fa. Beckman Coulter) bestimmt (Tab. 1).

In den Sedimentfallen ist die deichnahe Sedimentation tendenziell höher ausgefallen als in der zentralen Hallig. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen der Pürkhauer-Sondierungen. Die höheren Sedimentationsraten in Deichnähe können auf zwei Weisen interpretiert werden. Zum einen verliert das auf die Hallig geströmte Wasser sofort an Transportkraft, sodass zumindest die größeren Kornfraktionen schnell zur Ablagerung kommen. Zum anderen kommt es häufiger vor, dass überschlagende Wellen nur die deichnahen Wiesen überfluten ohne dass es zu einer vollständigen Überflutung der Hallig kommt. Es konnte beobachtet werden, dass suspensionsreiches trübes Wasser über den Deich schlägt, durch die angrenzenden Wiesen strömt und nach kurzem Lauf (wenige Zehner-Meter) als klares Wasser in die Gräben abläuft. Demnach wird bereits beim Durchströmen der Wiesen ein Großteil der Suspensionsfracht von der Vegetation ausgekämmt.

Der auffallend hohe Wert von über 5 mm in einer Probe im östlichen Teil von Hooge ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese Sedimentfalle in einer flachen, ca. 30 cm tiefen Senke installiert wurde.

Tab. 1: Korngrößenverteilung (in Vol %) in 52 Sedimentfallen (PE-Flaschen) von Hallig Hooge. Installation der Fallen im November 2006, Beprobung der Sedimentfallen im März 2007. Bestimmung der Korngrößen mit Laserbeugung (Beckman Coulter, LS 13320). \*) die Fraktion >1 mm bestand größtenteils aus organischem Material und wurde vor der Korngrößenbestimmung von dem Probengut abgetrennt.

Korngröße in µm	Ton <2	Fein-Silt 2 - 6.3	Mittel-Silt 6.3 - 20	Grob-Silt 20 - 63	Fein-Sand 63 - 200	Mittel- Sand 200-630	Grob- Sand* 630-1000
Minimum	6,3	9,6	16,7	18,7	7,3	0,0	0,0
Maximum	13,9	23,5	35,1	33,1	32,3	18,7	11,6
Mittelwert	<b>10,2</b>	<b>16,2</b>	<b>27,3</b>	<b>26,0</b>	<b>15,5</b>	<b>3,9</b>	<b>1,0</b>
Median	<b>10,4</b>	<b>16,7</b>	<b>28,0</b>	<b>25,5</b>	<b>14,1</b>	<b>2,5</b>	<b>0,0</b>

Das im Winter 2006/07 auf Hooge abgelagerte Sediment setzt sich durchschnittlich aus ca. 10 % Ton, 70 % Silt und 20 % Sand zusammen. Schwankungen in der Korngrößenzusammensetzung sind nicht stark ausgeprägt. Abweichungen von dieser Durchschnittszusammensetzung treten fast nur in deichnahen Bereichen auf. Nur dort, wo das Wasser mit höheren Geschwindigkeiten über den Deich auf die Hallig strömt, treten die Sandfraktion sowie Muschelschill zu größeren Anteilen auf. Grundsätzlich bleibt aber auch dort Silt die dominierende Korngröße.

### 3 Diskussion

Nach den vorliegenden Untersuchungen zeichnet sich ab, dass die Sedimentation auf Hallig Hooge seit der Fertigstellung des Überflutungsdeiches im Jahre 1914 und dem damit verbundenen Wachstum der Halligoberfläche mit dem bisherigen Meeresspiegelanstieg mithalten konnte, bzw. mit einer Rate zwischen 0,5 bis 1,2 cm/a sogar deutlich darüber lag.

Ungeklärt ist, ob der Bau des Überflutungsdeiches von Hallig Hooge die Sedimentationsrate erhöht oder eher abgesenkt hat. Fakt ist, dass durch den Deich die Anzahl der Überflutungen geringer wurde. Die Verweildauer des Wassers auf der Hallig wurde jedoch verlängert, was wiederum die Ablagerung feinerer Korngrößen im Zentrum von Hooge begünstigt hat. Es ist jedoch anzunehmen, dass nicht die Frage entscheidend ist, ob das Vorhandensein eines Überflutungsdeiches die Sedimentation auf einer Hallig begünstigt, sondern vielmehr wie hoch dieser Deich angelegt wurde.

Ohne Deich würden große Teile von Hooge bei Springtidehochwasser überflutet. Einen erhöhten Sedimentzuwachs würde das aber nicht zwangsläufig bedeuten, da Hochwässer ohne stürmische See zu wenig Suspensionsfracht führen. Besonders im Sommer und in den frühen Herbstmonaten ist die Suspensionsfracht des Wattenmeeres durch die dichten Seegraswiesen auf dem Wattenmeerboden eher gering ausgeprägt.

Mangels Datierungen ist unbekannt, wie hoch die Sedimentationsrate vor dem Deichbau war. Eine ungefähre Vorstellung von der Ablagerungsrate vor dem Deichbau ergibt sich aus dem Vergleich der topographischen Höhe von Hooge mit der 3 km südlich von Hooge gelegenen und durch Seedeiche geschützten Marscheninsel Pellworm (Abb. 1). Die Sturmflut von 1634 zerriss die ehemalige Insel Alt-Nordstrand in die Restinseln Nordstrand und Pellworm. Seitdem waren die Pellwormer bemüht weitere Überflutungen durch den Bau von Deichen zu verhindern. Bis zum Jahr 1825 kam es dennoch immer wieder zu Deichbrüchen bzw. zum Überlaufen der Deiche auf Pellworm.

Seit 1825 jedoch wurde der Große Koog im Zentrum der Insel Pellworm nicht mehr überflutet. Landsenkung und Meeresspiegelanstieg haben dazu geführt, dass die Landoberfläche des Großen



Kooges heute in etwa bei -0,50 m ü.NN liegt, während die Halligmarsch von Hooge bei ca. 1,70 m ü.NN liegt. Das bedeutet, dass ohne Deiche der Große Koog von Pellworm fast ganztägig von Wasser bedeckt wäre. Der Höhenunterschied von Hooge und dem Pellwormer Großen Koog beträgt ca. 2,30 m. Da Hooge seit dem Deichbau durch Überflutungen zwischen 0,50 m – 1,13 m aufgewachsen ist, betrug der topographische Unterschied im Jahre 1914 vermutlich ca. 1,17 m – 1,80 m. Dieser Unterschied konnte sich in einem Zeitraum von ca. 280 Jahren entwickeln, dies entspricht einer Sedimentaufwachsrate von ca. 0,4 – 0,6 cm/a auf Hallig Hooge vor dem Deichbau, sofern man davon ausgeht, dass im Großen Koog von Pellworm nach 1634 keine großen Sedimentmengen mehr abgelagert worden sind. Das bedeutet, dass der Deichbau auf Hooge wahrscheinlich zu einer Zunahme der Sedimentation geführt hat.

Vor dem Hintergrund eines steigenden Meeresspiegels hängt die weitere Existenz der Halligen jedoch nicht allein von dem Sedimentationsprozess während der Land unter ab. Sollten sich die westlich der Halligen gelegenen Außensände verkleinern, geht der natürliche Schutz der Halligen verloren. Gleiches gilt für die Wattflächen im Umfeld der Halligen. Sollten diese nicht gleichsam mit den Halligmarschen aufwachsen, entstehen größere Wassertiefen und damit eine verstärkte Wellendynamik, die bei Sturmereignissen die Halligufur und die Warften entsprechend stärker beansprucht. Es müssen also auch weiterhin die Uferbefestigungen in Stand gehalten und die Warften erhöht werden. Darüber hinaus erfordern häufigere Überflutungen und die dadurch bedingte Versalzung der Wiesen Umstellungen in der Viehwirtschaft.

Weitere, detailliertere Untersuchungen sind notwendig, um die hier vorgestellten Abschätzungen zum Sedimentwachstum zu verfeinern und um Aussagen ableiten zu können, in welcher Form die Halligen zukünftig geschützt werden sollten, um den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg möglichst effektiv zu kompensieren.

## Literatur

- Cazenave, A. (2006): How Fast are the Ice Sheets Melting ? - Science 314, 1250-1252.
- IPCC, Climate Change (2001): The Scientific Basis. - Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- IPCC, Climate Change (2007): The Fourth Assessment Report – AR4.
- Milne, G.A., J.L. Davis, J.X. Mitrovica, H.-G. Scherneck, J.M. Johansson, M. Vermeer & H. Kolvula (2001): Space-Geodetic Constraints on Glacial Isostatic Adjustment in Fennoscandia. Science 291, 2381-2385.
- Rahmstorf, S., A. Cazenave, J.A. Church, J.E. Hansen, R.F. Keeling, D.E. Parker & R.C.J. Somerville (2007): Recent Climate Observations Compared to Projections. Science 316, 709.
- Vink, A., H. Steffen, L. Reinhardt & G. Kaufmann (2007): Holocene relative sea-level change, isostatic subsidence and the radial viscosity structure of the mantle of northwest Europe (Belgium, the Netherlands, Germany, southern North Sea). Quaternary Science Reviews, eingereicht.

## Adresse

Dr. Matthias Deicke  
 Dr. Volker Karius  
 Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen (GZG)  
 Abt. Sedimentologie/ Umweltgeologie  
 Goldschmidtstraße 3, 37077 Göttingen

mdeicke@gwdg.de  
 vkarius@uni-goettingen.de



## Ausmaße und potentielle Ursachen holozäner Meeresspiegelveränderungen an der patagonischen Atlantikküste (Argentinien)

Gerhard Schellmann<sup>1</sup> & Ulrich Radtke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Physische Geographie, Universität Bamberg

<sup>2</sup> Institut für Geographie, Universität zu Köln

### Abstract

A detailed sequence of elevated Holocene beach ridge systems, littoral and fluvio-littoral terraces is preserved at different coastal sites along the Patagonian Atlantic coast between Bahía Vera (44°S) in the North and San Julián (49°S) in the South. Their surface elevation above extreme high tide water level (hTw) increases with age and with wave and storm exposition of the coastal environment where they have been formed. In general, older beach ridges are more elevated than the younger ones, but younger beach ridges may be more elevated than older littoral or fluvio-littoral terraces, which have developed in a low wave energy coastal environment. The ages of the various Holocene littoral accumulation forms are determined by numerous radiocarbon dating of *in situ* articulated shells within the littoral deposits.

The various Holocene shorelines are due to different stages of relative sea-level changes. The early Holocene sea-level rise reached the Patagonian Atlantic coast about 8100 <sup>14</sup>C BP, when sea level was less than 3 m lower than during the following Early Middle Holocene transgression maximum. The later exists between 6900 to 6200 <sup>14</sup>C BP. Afterwards a significant sea-level decline of approx. 1 m to a second sea-level highstand between 5940 and 2600 <sup>14</sup>C BP occurs. In the following 300 <sup>14</sup>C years an additional strong sea-level fall of about 1 to 2 m happened. Then sea level has declined slowly up to the modern level. Both distinct Holocene sea-level falls may be the result of eustatic sea-level changes, whereas the general trend of sea-level lowering since the Early Middle Holocene transgression maximum can be explained by a slow hydro-isostatic uplift (approx. 0.3 – 0.4 m/ka) of the Patagonian Atlantic coast.

### 1 Einleitung

Meeresspiegelveränderungen und dadurch ausgelöste Verschiebungen der Küstenlinien sind ein prägendes Element des quartären Eiszeitalters und stellen insofern nicht eine „Erfindung“ aktueller Diskussionen über potentielle Folgen einer globalen Klimaerwärmung dar. In den Geowissenschaften sind sie schon seit langem ein wichtiger Untersuchungsgegenstand gewesen. Neben der reinen Quantifizierung von Strandverschiebungen wird fast immer auch die Frage nach den Ursachen solcher Vorgänge gestellt. Dabei werden vor allem glazial- und thermo-eustatische Veränderungen der absoluten Lage des Meeresspiegels, glazial- und hydro-isostatische („glazio-hydro-isostatische“) Bewegungen des Landes, epirogene oder bruchtektonische Verstellungen der Küstenzone oder auch lokale Phänomene wie Sedimentkompaktion, Küstenvorbau oder Küstenerosion als Ursachen diskutiert. Da die Rekonstruktion eustatischer Veränderungen des Meeresspiegels besonders schwierig ist, gibt es bis heute keine allgemein anerkannte eustatische Paläomeeresspiegelkurve, weder für das Holozän noch für die älteren pleistozänen Warmzeiten. Ein Grund liegt im Mangel an chronostratigraphisch gut abgesicherten Regionalstudien aus verschiedenen Küstenräumen der Erde. Geomorphologische und geochronologische Küstenstudien bilden zudem die Datenbasis und das Korrekturmaß für glazio-hydro-isostatische Modelle, deren Ziel es ist, Ursache und Ausmaß vergangener Meeresspiegelveränderungen an den Küsten der Erde im regionalen Maßstab zu modellieren, um u.a. zukünftige Veränderungen zutreffender voraussagen. Für die patagonische

Atlantikküste liegen jüngere Modellrechnungen für den Zeitraum seit dem letzten Hochglazial u. a. von Milne et al. (2005), Peltier (2002), Guilderson et al. (2000) und Rostami et al. (2000) vor.

Die Bedeutung der patagonischen Atlantikküste für die Quantifizierung von Paläomeeresspiegelveränderungen liegt u.a. darin, dass sich diese Küste entlang eines Kontinentalrandes erstreckt, der zu den tektonisch stabilsten Küstengebieten dieser Erde zählt (Schellmann 1998a). Damit ist eine wichtige Voraussetzung für die Erforschung und Quantifizierung absoluter Meeresspiegelveränderungen vorhanden. Natürlich existieren lokal aber auch Küstengebiete wie in der Verlängerung des Gran Bajo de San Julián und wahrscheinlich im Bereich der Península Valdés, die sich in ihrem tektonischen Verhalten deutlich von der schwachen tektonischen Hebungstendenz der Umgebung unterscheiden. Sie können anhand der vom generellen Trend abweichenden Höhenlagen ihrer mittel- und jungpleistozänen Küstenterrassen erkannt werden (Schellmann 1998a; ders. 1998b; ders. 2000).

In den Jahren 2002 – 2005 konnten weitere geomorphologische Detailkartierungen, sedimentologische Aufnahmen sowie chronostratigraphische Einstufungen (konv. und AMS-14C-Datierungen) von Küstenterrassen an der mittel- und südpatagonischen Atlantikküste durchgeführt werden, in deren Fokus holozäne Strandbildungen standen. Diesen Neuaufnahmen gingen ähnliche Untersuchungen in den 1990'er Jahren voraus, deren thematischer Schwerpunkt allerdings auf der Kartierung und geochronologischen Alterseinstufung jung- und mittelpleistozäner Küstenterrassen lag (u.a. Schellmann 1998a; ders. 1998b; ders. 2000; Schellmann & Radtke 2000). Holozäne Bildungen wurden bisher nur untergeordnet betrachtet (u.a. Schellmann & Radtke 2003). Bezüglich einer ausführlichen Darstellung der hier vorgestellten Neuuntersuchungen sei auf Schellmann & Radtke (2007) verwiesen.

### Lage der untersuchten Küstenlokaltäten an der patagonischen Atlantikküste



Im Einzelnen konzentrierten sich die aktuellen Untersuchungen auf sieben Küstenlokaltäten an der mittelpatagonischen Atlantikküste zwischen der Bahía Vera im Norden und der Ría Deseado im Süden (Abb. 1). Von den Lokaltäten Bahía Vera und Ría Deseado existierten bisher keine morpho- und chronostratigraphischen Untersuchungen zu den dort verbreiteten holozänen Küstenterrassen. An den anderen Lokaltäten wurden die bisherigen Kenntnisse zur Verbreitung und Altersstellung der holozänen Terrassen (Schellmann & Radtke 2003) erweitert bzw. weiter abgesichert.

Abb. 1: Die Lage der Untersuchungsgebiete an der patagonischen Atlantikküste

## Methodisches

Die holozänen Alterseinstufungen der verschiedenen litoralen Akkumulationsformen stützen sich auf konventionelle oder AMS-14C-Datierungen von Muschelschalen, die fast ausschließlich in beidschaliger Erhaltung aus litoralen, selten aus sublitoralen Sedimenten geborgen werden konnten. Da sie bei einer weiteren Umlagerung auseinander fallen würden, sind sie ohne Zweifel als in situ befindlich anzusehen. Das bestätigen Paralleldatierungen mehrerer, mit beiden Schalen zusammenhängender Muschelschalen aus einer Sedimentlage, die bei Berücksichtigung des 14C-Fehlerintervalls nahezu identische Alter ergaben (Schellmann 1998a; Schellmann & Radtke 2007). Da sich die meisten untersuchten Küstenterrassen nahe bzw. unmittelbar an der aktuellen Küstenlinie erstrecken, wurde deren Höhenlage über heutigem Springtidehochwasser mit Hilfe manueller Nivellements, ausgehend vom jeweiligen aktuellen Tidewasserspiegel, eingemessen. Die Umrechnung auf das hier verwendete Bezugsniveau des Springtidehochwassers (m. ü. hTw = höchste Tidewasser) erfolgte anhand der jährlich vom Servicio de Hidrografia Naval in Buenos Aires publizierten „Tablas de Marea“. Weitere methodische Details sind bei Schellmann & Radtke (2007) dargestellt.

## 2 Holozäne Meeresspiegelindikatoren an der patagonischen Atlantikküste im Überblick

Die patagonische Atlantikküste besitzt überwiegend hoch-energetische, makrotidale und sturmreiche Sedimentationsmilieus, wobei Kliffküsten mit vorgelagerten Abrasionsplattformen sowie grobkiesige Strandwallsysteme den küstenmorphologischen Formenschatz beherrschen (Schellmann 1998a). In der Mehrzahl der untersuchten Küstenabschnitte prägen kiesige Strandwall-Sequenzen den litoralen Formenschatz. Oft bilden sie markante dammartige Kiesrücken, die sich zum Teil einige Meter über das dahinterliegende Hinterland erheben (Abb. 2). Untersuchungsgebiete mit Strandbildungen in solchen hoch-energetischen Küstenmilieus erstrecken sich an der zum Atlantik offenen Küste im Bereich der Bahía Vera, der Bahía Camarones und Bahía Bustamante, bei Caleta Olivia und Mazarredo, nördlich von Puerto Deseado sowie am Ausgang der Bahía San Julián (Abb. 1). Mittelholozäne Strandwälle erreichen dort extreme Höhenlagen von nahezu 10 m ü. hTw (Tab. 1). Die Oberflächen aktueller Bildungen erheben sich im Mittel 2 bis 3 m ü. hTw.

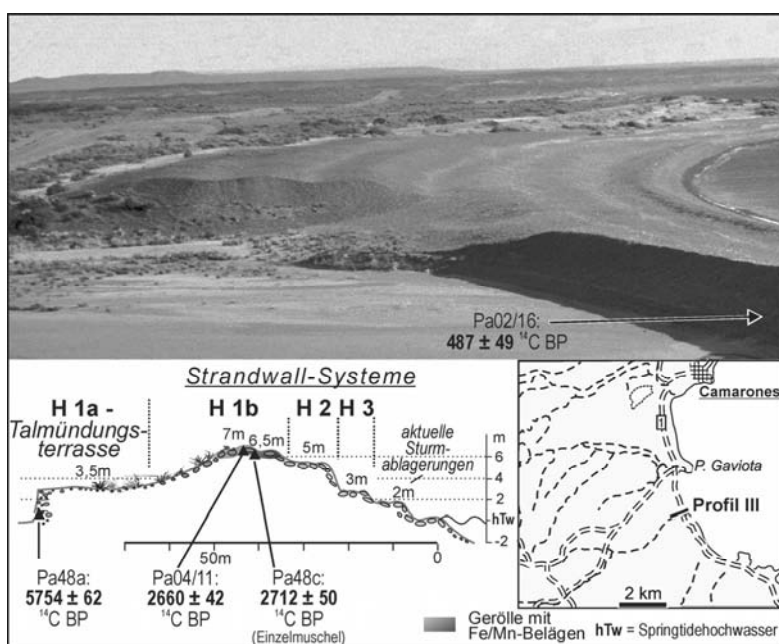


Abb. 2: Jungholozäne Strandwälle an der Bahía Camarones

Daneben existieren in wind- und brandungsgeschützten Buchten niedrig-energetische Küstenmilieus mit feinkiesigen und meist muschelbruchreichen Strandwall- oder sandreichen Strandterrassensequenzen, teilweise mit Marschen entlang der aktuellen Küstenlinie. Derartige Küstenmilieus und ihre für Rekonstruktionen des Meeresspiegels besser geeigneten litoralen Formen und Ablagerungen befinden sich u.a. in der Umrahmung der Caleta Malaspina südlich von Bustamante, in einer kleinen Bucht südlich der Landspitze Pta. Maqueda (Abb. 3) sowie innerhalb der Bahía San Julián. Im Gegensatz zu den brandungsexponierten Küstenstandorten erreichen dort die ältesten frühmittelholozänen Strandterrassen lediglich Höhenlagen von bis zu 6,5 m ü. hTw (Tab. 1), und auch die Oberflächen aktueller Strandablagerungen liegen tiefer bei nur etwa 1 m ü. hTw.

Sturm- und brandungsgeschützte Ablagerungsmilieus besitzen auch die zahlreichen kleinen Buchten im Ästuar des Río Deseado, der sog. „Ría Deseado“. Dort sind holozäne Strandterrassen in unterschiedlichen Höhenlagen von bis zu 5,5 m ü. hTw erhalten. Sie konnten erstmalig nachgewiesen und datiert werden. Aktuelle Sturmablagerungen besitzen dort ebenfalls lediglich Höhenlagen von bis zu 1 m ü. hTw.

Tab. 1: Stratigraphische Übersicht holozäner Küstenformen im Untersuchungsgebiet (Lokalitäten: Bu = Bustamante, Cal = Caleta Malaspina, Cam = Bahía Camarones, DesP = Puerto Deseado, DesR = Ría Deseado, Jul = Bahía San Julián; Maz = Mazarredo, Ol = Caleta Olivia, Ver = Bahía Vera)

Stratigraphie		Höhe (m ü. hTw)	Alter ( <sup>14</sup> C BP)	Alter (*cal BP)	Lokalitäten	<sup>14</sup> C - Daten (n)
rezent	Talmündungsterrasse	0			Cam	
	Strandterrasse	0,5 - 1	aktuell	aktuell		
	Strandwall - System	2 - 3			Cam, Ol	2
H3	Strandterrasse	1 - 2			Cal	-
	Strandwall - System	2 - 4	450 - 1800	100 - 1300	Ver, Cam, Ol, DesP, Jul	13
H2	Strandterrasse	2 - 2,5	2200 - 2400	1700 - 2050	Cal, DesR	4
	Strandwall - System	5 - 6	2100 - 2200	1600 - 1700	Cam, Ver	3
H1b	Strandterrasse	4 - 5,5	3400 - 4500	3250 - 4700	Cal, DesR	12
	Strandwall - System	5,5 - 7	2600 - 4100	2300 - 4100	Cam, Ol, Ver	12
H1a	Talmündungsterrasse	3 - 4,5	5550 - 5940	5950 - 6350	Cam	8
	Strandterrasse	4,5 - 5,5	5200 - 5900	5550 - 6300	Cal, Maz, Ol	7
	Strandwall - System	6,5 - 8	5200 - 5800	5550 - 6200	Bu, Cam, Cal, Ol	8
T1 <sub>[1]</sub>	Talmündungsterrasse	5	6200 - 6700	6700 - 7250	Cam	7
	Strandterrasse	5 - 6,5	6200 - 6400	6650 - 6900	Jul	3
	Strandwall - System	8,5 - 9,5	6200 - 6900 (8100)	6650 - 7400 (8600)	Cal	7
T1 <sub>[5]</sub>	Strandwall - System	8 - 10	MIS 5e	MIS 5e	Cal	8 (ESR)

\* = Mittelwert kalibrierter <sup>14</sup>C Alter (2 Sigma)

In vielen Studien zur Rekonstruktion von Meeresspiegelveränderungen an der patagonischen Atlantikküste fehlt eine solche morphologisch-sedimentologische Differenzierung von Strandformen und Strandablagerungen, obwohl ihnen je nach litoralem Bildungsmilieu sehr unterschiedliche Bedeutungen als Meeresspiegelindikatoren zuzuschreiben sind.

Ein sehr schönes Beispiel für den Einfluss der Küstenexposition auf die Höhenlage von Strandbildungen sind altersgleiche, aber unterschiedlich hohe H1a-Strandwälle und H1a-Strandterrassen südlich der Punta Maqueda nördlich von Caleta Olivia (Abb. 3). Die Oberflächen der an der offenen Atlantikküste verbreiteten matrixarmen, grobkiesigen und blockreichen H1a-Strandwälle und ihre ausgeprägten Strandwallrücken und Strandwallrinnen liegen bei ca. 7 - 8 m ü. hTw. Dagegen erheben sich die innerhalb der brandungsgeschützten Bucht unmittelbar südlich der Punta Maqueda erhaltenen sandigen und muschelschalenreichen Sedimentkörper der H1a-Strandterrasse nur etwa 5 m ü. hTw. Beide litoralen Bildungen entstanden zeitgleich vor etwa 5200 - 5500 <sup>14</sup>C-Jahren. Folglich kann die Rekonstruktion von Paläomeeresspiegeln um mehrere Meter differieren, wenn solche Expositionseinflüsse unberücksichtigt bleiben.

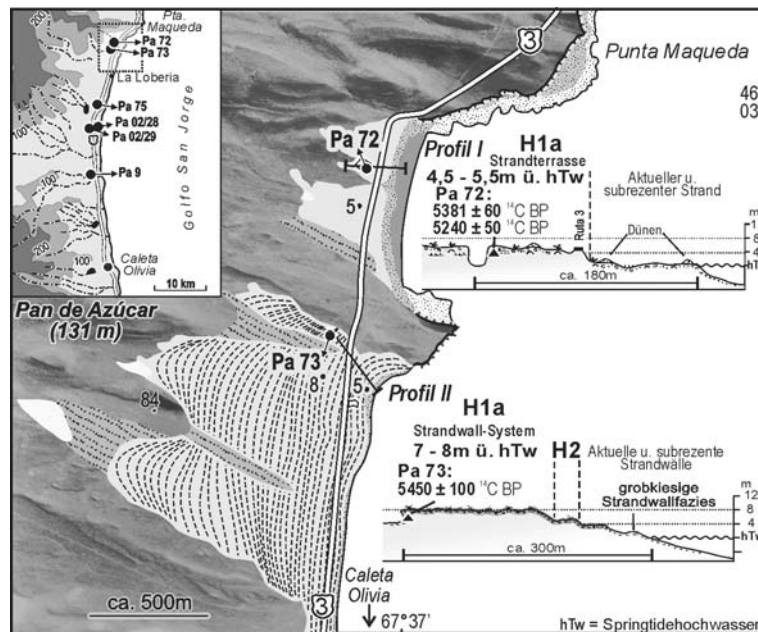


Abb. 3: Je nach Küstenexposition besitzen altersgleiche H1a-Küstenformen südlich der Punta Maqueda (Caleta Olivia Nord) unterschiedliche Meereshöhen und verschiedene morphologische und sedimentologische Ausprägungen.

### Strandwälle – Sturmablagerungen im hoch-energetischen Küstenmilieu

In den untersuchten Küstenabschnitten liegen die Oberflächen rezenter Strandwälle bei exponiertem hoch-energetischen Bildungsmilieu im Allgemeinen etwa 2 bis 3 m ü. hTw (Tab. 1). Bei extremer Brandungsexposition der Küste, wie es nördlich von Camarones und auch an der offenen Küste nördlich von Caleta Olivia der Fall ist, können Sturmwellen vereinzelt auch durchaus höher hinauf reichen. Dann können Muschelschalen und Sedimentfahnen bis zu 5 m über das allgemeine Sturmsedimentationsniveau hinaus transportiert und auf älteren Strandwällen abgelagert werden (Details in Schellmann & Radtke 2007). Insofern ist eine chronostratigraphische Einstufung von Strandwällen und Strandterrassen erst dann optimal abgesichert, wenn mehrere Datierungen an beidschaligen Muscheln aus verschiedenen Sedimentlagen vorliegen. Ideal wären mehrere Datierungen von der Basis bis zum Top des Sedimentkörpers. Einzeldaten von der Oberfläche litoraler Akkumulationsformen können manchmal viel zu jung sein.

Bei extremer, den Wellen des Atlantiks ausgesetzter Exposition besitzen Strandwälle gut sortierte, grobkiesige und blockreiche Sedimentkörper mit zahlreichen matrixfreien, häufig invers gradierten Kieslagen. Unabhängig von der Intensität der Wellenexposition haben sie einen großbogig schräggeschichteten Innenbau, wobei die Schrägschichtung meerwärts mehr oder minder stark geneigt einfällt. In der seitlichen Aneinanderlagerung der Schrägschichtungslagen spiegelt sich die allmähliche meerwärtige Progression der Strandzone während ihrer Bildung wider. Insofern sind Strandwallsysteme regressive Bildungen bei stagnierender Meeresspiegelhöhe, bzw. exakter ausgedrückt, regressive Bildungen bei stagnierender Auslaufhöhe der Sturmwellenwirkung. Ihre Oberflächen gestalten annähernd strandparallel verlaufende, in der Regel 1 bis 2 m hohe Strandwallrücken, getrennt durch entsprechend tiefe Strandwallrinnen. Verschiedene sedimentologische Phänomene zum Aufbau und zur Entstehung litoraler Ablagerungen an der Küste Patagoniens und Feuerlands beschreiben u.a. Isla (1993), Isla et al. (1991), Isla & Bujalesky (2000), Isla et al. (2005) sowie Simeoni et al. (1997).

Die Bildungszeit der ältesten an der patagonischen Atlantikküste erhaltenen frühmittelholozänen T1[1]–Strandwälle in ca. 8,5 – 9,5 m ü. hTw konnte in der Umrahmung der Bahía Bustamante über die 14C-Datierung von insgesamt sieben beidschaligen Muscheln aus zwei räumlich auseinanderliegenden

Aufschlüssen ziemlich genau auf den Zeitraum zwischen ca. 6200 – 6900 14C BP datiert werden (Tab. 1). Eine weitere Muschelschale, die an der Basis von T1[1]-Kiesen in 3 m Tiefe unter Strandwalloberfläche in der Caleta Malaspina in situ eingelagert war (Schellmann 1998a), hatte ein Alter von 8090 14C BP (Abb. 4). Daher dürfte bereits zu dieser Zeit der frühholozäne eustatische Meeresspiegelanstieg höchstens 3 m unterhalb des frühmittelholozänen Transgressionsmaximums gelegen haben.

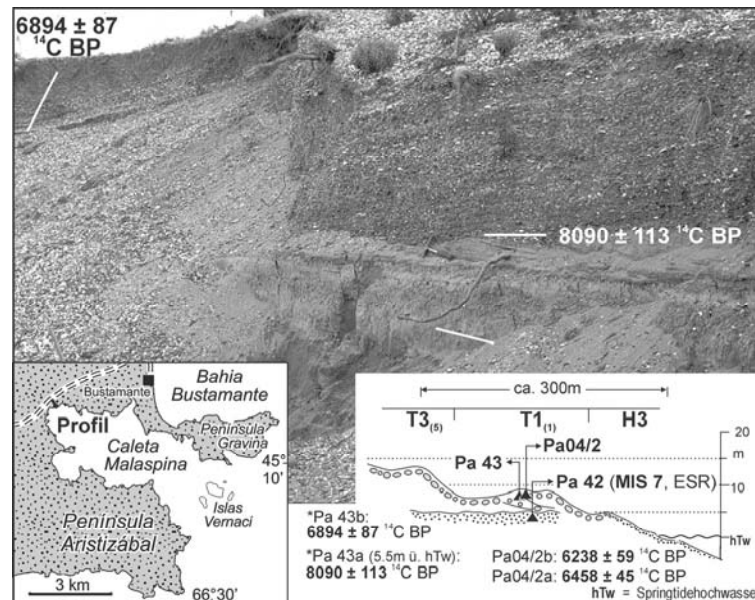


Abb. 4: Frühmittelholozäne T1[1]-Strandwallkiese über MIS 7 - Vorstrandsedimenten aufgeschlossen am Westrand der Caleta Malaspina. Wegen der brandungsgeschützten Lage am westlichen Rand der Caleta Malaspina sind die T1[1]-Strandwallkiese dort relativ sandreich und führen zahlreiche Muschelschalen, wenn auch nur selten in beidschaliger Erhaltung.

## Strandterrassen – Sturmablagerungen im niedrig-energetischen Küstenmilieu



Abb. 5: Blick nach Südwesten über die Caleta Malaspina. Die Lage der Caleta zeigt Abb. 4. Im Vordergrund ist die wenig reliefierte, etwa 5400 14C-Jahre alte H1a-Strandterrasse in ca. 7 m ü. hTw zu sehen. Dahinter liegt jenseits des fossilen Kliffs die etwa 2200 14C-Jahre alte H2-Strandterrasse in ca. 2,5 m ü. hTw.

Das Oberflächenrelief der Strandwallsysteme wird in den Untersuchungsgebieten mit abnehmender Wellenexposition ausgeglichen. Gleichzeitig reduziert sich in wind- und brandungsgeschützten Buchten der Höhenabstand zwischen den rezenten litoralen Sturmablagerungen und dem

Springtidehochwasser auf etwa einen Meter oder auch weniger. An Stelle der durch zahlreiche Kieswälle geprägten kiesigen Strandwallsysteme treten nun morphologisch gesehen relativ ebene Strandterrassen (Abb. 5), deren Oberflächen fast unauffällig durch flache Rücken und Rinnen gegliedert werden. Der Höhenabstand zwischen Strandwallrücken und Strandwallrinnen ist bis auf wenige Dezimeter reduziert. Statt blockreicher Grobkiese dominieren sandreiche, fein- und mittelkiesige Sedimentkörper, die häufig Muschelbruch und zahlreiche Lagen aus Muschelschalen führen. Solche litoralen Bildungen im niedrig-energetischen Milieu folgen dem Tidehochwasser in einem relativ geringen Höhenabstand. Daher liegen die Oberflächen der jüngsten, vermutlich jungholozänen H3-Strandterrassen nur 1 - 2 m ü. hTw (Tab. 1), eine Folge ihrer sturmgeschützten Expositionslage. Da ihre Oberflächenhöhe weniger stark von extrem hoch auflaufenden Sturmwellen beeinflusst ist, sind sie bessere Meeresspiegelindikatoren als Strandwallsysteme.

Das Alter der ältesten holozänen T1[1]-Strandterrasse konnte am Westufer der Bahía San Julián, bevor die Bahía wenige hundert Meter weiter nördlich den offenen Atlantik erreicht, bestimmt werden. Die Oberfläche der stark sandigen und zahlreiche *Mytilus*-Schalen führenden Strandterrasse liegt bei etwa 6,5 m ü. hTw und damit nur wenig höher als die altersgleiche T1[1]-Talmündungsterrasse bei Camarones (Tab. 1). Drei 14C-Alter an beidschalig erhaltenen Muscheln der Gattung *Mytilus edulis* belegen, dass diese Terrasse im Zeitraum um 6200 – 6400 14C BP in Bildung begriffen war. In dieser Zeit entstanden auch die T1[1]-Talmündungsterrassen bei Camarones (ca. 6200 – 6700 14C BP) und die T1[1]-Strandwälle in der Caleta Malaspina (ca. 6200 – 6900 14C BP) (Tab. 1). Damit ist dokumentiert, dass die während des holozänen Transgressionsmaximums gebildeten T1[1]-Strandablagerungen von Camarones im Norden bis zum 700 km weiter im Süden liegenden San Julián eine ähnliche Höhenlage über dem aktuellen Meeresspiegel besitzen, die je nach Brandungsexposition zwischen 5 – 9,5 m ü. hTw (Tab. 1) angesiedelt ist. Insofern kann eindeutig die immer noch vertretene Auffassung einer nach Süden, mit Annäherung an die pleistozänen Vereisungsgebiete vorhandenen glazial-isostatischen Hebungstendenz der patagonischen Atlantikküste, ausgeschlossen werden.

Eine weitere küstenmorphologische Besonderheit an der patagonischen Atlantikküste ist der breite Mündungsästuar des Rio Deseado, die sog. „Ría Deseado“ (Abb. 1). Innerhalb des Unterlaufs der Ría sind in einigen expositionsgeschützten Buchten wenig reliefierte holozäne Strandterrassen erhalten, wobei geringer Fetch und sturmgeschützte Lage innerhalb der Ría die nur bis zu einem Meter betragene Lage der Oberflächen aktueller Sturmablagerungen über dem Springtidehochwasser begründen. Daher ist wahrscheinlich, dass auch die Oberflächen der dort erhaltenen fossilen Strandterrassen bei ihrer Bildung nur wenig über dem Tidehochwasserspiegel lagen, so dass diese ebenfalls relativ genaue Meeresspiegelindikatoren darstellen. Im Rahmen der aktuellen Untersuchungen konnten erstmalig in vier Buchten innerhalb der Ría Deseado holozäne Strandterrassen nachgewiesen und über die AMS 14C-Datierung eingelagerter beidschaliger Muscheln, vor allem der Gattung *Mytilus edulis*, bestimmt werden (Details in Schellmann & Radtke 2007). Die dort erhaltene H1b-Strandterrasse in 4 – 4,5 m ü. hTw entstand vor etwa 3400 - 4400 14C-Jahren und die höhenmäßig deutlich niedrigeren H2-Strandterrassen in 2 – 2,5 m ü. hTw vor etwa 2400 14C-Jahren. Beide Terrassenniveaus sind keine singulären lokalen Phänomene, die in ihrer Verbreitung auf die Ría Deseado beschränkt sind. Ähnlich hohe und alte Strandterrassen existieren auch weiter nördlich in der Caleta Malaspina (Tab. 1).

### **Talmündungsterrassen – fluvio-litorale Bildungen an der Mündung einzelner periodisch durchflossener Trockentäler (Cañadónes)**

Weitere wichtige Küstenformen zur Rekonstruktion relativer Veränderungen des Paläomeeresspiegels sind Talmündungsterrassen (valley mouth terraces), die an der Mündung einzelner periodisch durchflossener Trockentäler (Cañadónes) erhalten sind. Die Talböden von Trockentälern bzw. deren Talmündungsterrassen sind in der unmittelbaren Küstenzone auf die heutige bzw. die ehemalige Höhenlage des Tidehochwassers ausgerichtet (Abb. 6). Sie sind damit die genauesten Indikatoren für die Rekonstruktion von Paläomeeresspiegeln an der patagonischen Atlantikküste. Leider sind sie nur



selten erhalten, so dass zusätzlich auch Strandwälle und Strandterrassen als Meeresspiegelindikatoren herangezogen werden müssen (Abb. 7).

Talmündungsterrassen sind u.a. südlich von Camarones im Mündungsbereich einiger Cañadónes weitflächig erhalten und konnten dort datiert werden. Die älteste holozäne T1[1]-Talmündungsterrasse besitzt dort eine Oberflächenhöhe von etwa 5 m ü. hTw und entstand nach 14C-Datierungen von insgesamt sechs beidschaligen Muscheln während des holozänen Transgressionsmaximums vor etwa 6200 bis 6700 14C Jahren (Tab. 1). Die nächstjüngere H1a-Talmündungsterrasse, deren Oberfläche im Mittel etwa einen Meter niedriger liegt, ist noch weitflächiger erhalten. Man findet sie in allen drei Cañadónes unmittelbar südlich von Camarones (Details in Schellmann & Radtke 2007). Nach 14C-Datierungen an eingesedimentierten, beidschaligen Muscheln entstand sie im Zeitraum zwischen ca. 5500 – 6000 14C BP und damit zeitgleich mit den an mehreren Lokalitäten datierten H1a-Strandwallsystemen und H1a-Strandterrassen (Tab. 1). Das bedeutet aber, dass nach dem frühmittelholozänen Transgressionsmaximum (T1[1]) das Tidehochwasser zwischen 6200 bis 6000 14C BP (ca. 6700 – 6300 cal. BP) erstmalig deutlich abgesenkt wurde auf das etwa einen Meter tiefere H1a-Talmündungsniveau (Abb. 6).

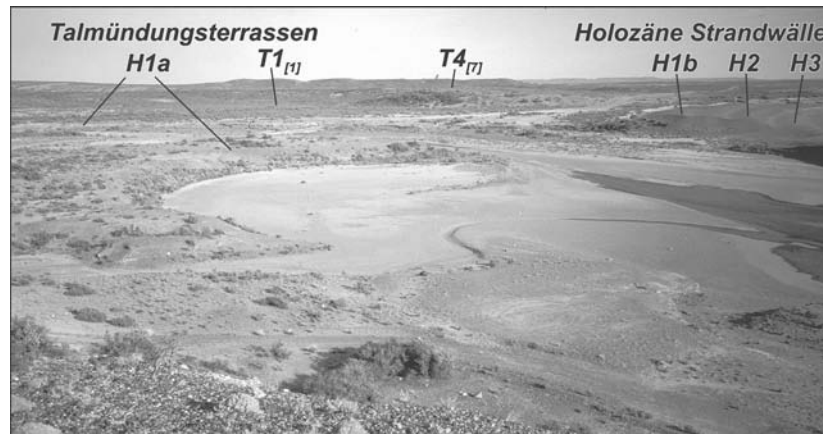


Abb. 6: Mündung eines namenlosen Cañadóns südlich von Camarones. Die holozänen Strandwälle im rechten oberen Bildausschnitt zeigt Abb. 2. Das Bachbett besitzt an der Mündung eine Höhenlage im Bereich des Tidehochwassers. Beiderseits des heutigen Abflussbettes erstrecken sich 5 bzw. 3 m höhere mittelholozäne T1[1]- bzw. H1a-Talmündungsterrassen, in deren Sedimentkörpern litorale und fluviale Sedimente verzahnt sind.

### 3 Tektonik, glazial- und hydro-isostatische Bewegungen sowie eustatische Meeresspiegelschwankungen an der mittel- und südpatagonischen Atlantikküste seit dem vorletzten Interglazial

Die ähnliche Höhenlage holozäner mariner Terrassen an der mittel- und südpatagonischen Atlantikküste widerspricht einer verbreiteten Ansicht (u.a. Rabassa et al. 2000; Gordillo et al. 1992; Vilas et al. 1999) über eine nach Süden, mit Annäherung an die pleistozänen Vereisungsgebiete zunehmenden glazial-isostatischen Hebungstendenz der Küste Patagoniens und Feuerlands seit Ausgang der letzten Kaltzeit (siehe auch Schellmann & Radtke 2003). Auch bedeutendere tektonische Heraushebungen der Küste können ausgeschlossen werden, besitzen doch jungpleistozäne Strandwall-Lagunensysteme von Camarones im Norden bis nach Mazarredo im Süden eine ähnliche Höhenlage von etwa 16 bis 18 m ü. hTw und das unabhängig von der großtektonisch-strukturellen Lage des Küstenstandortes (Schellmann & Radtke 2003). Insofern sind sowohl glazial-isostatische, als auch kräftige epirogene Hebungen mit langandauernder konstanter Hebungsrates für die patagonische Atlantikküste auszuschließen.

Insgesamt sind die in Abb. 7 für die verschiedenen Meeresspiegelindikatoren (Strandwälle, Strandterrassen, Talmündungsterrassen) dargestellten relativen Meeresspiegelveränderungen an der patagonischen Atlantikküste im wesentlichen das Ergebnis zweier sich überlagernder Prozesse: einer zeitlich befristeten hydro-isostatischen Heraushebung der Küste und einer Überlagerung durch (glazial-, thermo-) eustatische Bewegungen des Meeresspiegels. Andere potentielle Faktoren wie Änderungen des Geoids oder der Tiden können den seit dem frühmittelholozänen Transgressionsmaximum erfolgten und in der Grundtendenz fast kontinuierlichen Abfall des Meeresspiegels nicht erklären. Lediglich die im Vergleich zu heutigen Bildungen bis zu 1,5 m größere Höhendifferenz zwischen der Oberflächenlage der tidehochwasserbezogenen T1[1]-Talmündungsterrassen und den von Sturmwellen beeinflussten Erhebungen der T1[1]-Strandwallssysteme (Abb. 7) könnte die Folge eines gehäuften Auftretens von extremen Stürmen zu dieser Zeit sein.

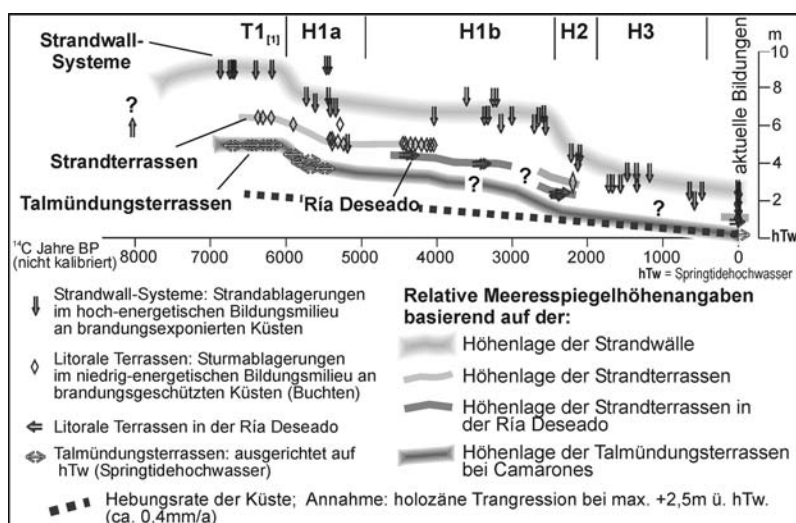


Abb. 7: Rekonstruktion der relativen Veränderungen des holozänen Meeresspiegels an der patagonischen Atlantikküste für die verschiedenen litoraler Formen. Die gestrichelte Linie zeigt die Größenordnung der hydro-isostatischen Heraushebung der Küste.

Eine langsame, hydro-isostatische Heraushebung der Küste, wie sie seit längerer Zeit in geophysikalischen Modellen (s.o.) angenommen wird, dürfte im Holozän und sicherlich bereits schon seit dem ausgehenden Spätglazial stattgefunden haben. Geht man dabei von einer kontinuierlichen Heraushebung aus, die sich allerdings zum Jungholozän hin eher abschwächen sollte, dann erreichte sie in den vergangenen 6900 14C-Jahren eine Größenordnung von etwa 0,3 – 0,4 mm/a. Dieser Schätzung liegt ein 2 - 3 m höherer Meeresspiegel während des holozänen Transgressionsmaximums und eine entsprechend eustatisch korrigierte Höhenlage über Tidehochwasser der T1[1]-Talmündungsterrassen zugrunde (Abb. 7). Verwendet man die Höhenlagen der Strandwallssysteme, die sehr stark von der Brandungsexposition der Küste und der Stärke der Stürme abhängig sind, dann ergibt sich eine etwas höhere Hebungsrates in der Größenordnung von etwa 0,5 – 0,7 mm/a.

Die generelle, aber zeitlich auf das Holozän, evtl. auch noch auf das ausgehende Spätglazial befristete Hebungstendenz der patagonischen Atlantikküste wird von drei bedeutenden (glazial-/thermo-eustatischen) Bewegungen des Meeresspiegels überlagert. Im frühen Holozän erfolgte ein Anstieg des Meeresspiegels bis zum Erreichen des Transgressionsmaximums vor spätestens 6900 14C-Jahren. Strandkiese in der Caleta Malaspina belegen, dass der frühholozäne Meeresspiegelanstieg die heutige Küste bereits vor ca. 8100 14C-Jahren erreicht hat. Zwischen ca. 6900 – 6200 14C-BP, also zur Zeit der Ausbildung der T1[1]-Strandformen (Strandwallssysteme, Strandterrassen und Talmündungsterrassen), verharrte der Meeresspiegel in dieser hohen Lage. Die im Mittelholozän

entstandenen Talmündungsterrassen bei Camarones belegen für den Zeitraum zwischen ca. 6200 – 6000 14C BP ein schnelles und daher vermutlich eustatisch verursachtes Absinken des Meeresspiegels um etwa einen Meter. Diese tiefere Lage des Meeresspiegels spiegelt sich auch in der plötzlich deutlich verringerten Höhenlage der H1a-Strandterrassen und in der mehrheitlich geringeren Höhenlage der in dieser Zeit entstandenen H1a-Strandwallssysteme wider (Abb. 7).

Zwischen ca. 6000 – 2600 14C BP stagnierte der Meeresspiegel im bis dahin erreichten Meeresniveau, also ca. –1 m unter dem Niveau des frühmittelholozänen Transgressionsmaximums. In diesem Zeitraum entstanden die H1a- und H1b-Küstenformen. Kleinere Höhenunterschiede innerhalb dieser beiden stratigraphischen Einheiten, wie sie in den H1b-Strandterrassen im Bereich der Ría Deseado angedeutet sind, sollten nicht überbewertet werden. Sie sind expositionsbedingt oder durch die etwas stärkere isostatische Heraushebung der älteren Formen erklärbar.

Ein weiteres in kurzer Zeit erfolgtes und insofern sicherlich eustatisch verursachtes Absinken des Meeresspiegels in der Größenordnung von etwa 1 bis maximal 2 m ereignete sich im Zeitraum zwischen ca. 2600 – 2400 14C BP. Dieses Ereignis ist am besten in den unterschiedlichen Höhenlagen der H1b- und H2-Strandterrassen in der Ría Deseado dokumentiert, aber auch in den deutlich differierenden Höhenlagen der an verschiedenen Lokalitäten erhaltenen H1b- und H2-Strandwallssysteme. Die sukzessiv niedrigere Höhenlage aller nachfolgenden jungholozänen H3-Strandwallbildungen kann als Ergebnis einer weiterhin anhaltenden geringen isostatischen Heraushebung der Küste angesehen werden, ohne dass größere eustatische Bewegungen des Meeresspiegels angenommen werden müssen. Leider konnten bisher keine Strandterrassen oder Talmündungsterrassen aus diesem jungholozänen Zeitraum datiert werden, so dass genauere Informationen über die Lage des Meeresspiegels in diesem Zeitraum fehlen.

Insgesamt ist also bisher belegbar, dass die seit dem holozänen Transgressionsmaximum erfolgten eustatischen Meeresspiegelabsenkungen an der patagonischen Atlantikküste ungefähre Größenordnungen von jeweils einem (um ca. 6200 – 6000 14C BP) bis maximal zwei (um ca. 2600 – 2400 14C BP) Meter besaßen, wozu allerdings schon kräftigere Klimarückschläge mit deutlichen Vergrößerungen der kontinentalen Vergletscherungen auf der Erde notwendig waren. Umgekehrt resultiert aus der Gesamtsumme der beiden postulierten eustatischen Meeresspiegelabsenkungen, dass während des frühmittelholozänen Transgressionsmaximums der Meeresspiegel etwa 2 bis höchstens 3 m über dem aktuellen Meeresniveau gelegen haben sollte. Die seitdem erfolgten relativen Meeresspiegelabsenkungen sind natürlich höher. Sie sind zusätzlich durch langsame hydroisostatische Heraushebung der Küste verstärkt. Die Ursache für die extrem hohe Lage der mittelholozänen T1[1]- und H1-Strandwälle gegenüber den anderen im niedrig-energetischen Küstenmilieu gebildeten litoralen Formen der Strandterrassen und Talmündungsterrassen könnte darin liegen, dass während ihrer Bildung extremere Stürme auftraten als in der jüngeren Vergangenheit.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Auf der Basis der durchgeführten geomorphologischen und chronostratigraphischen Arbeiten an der süd- und mittelpatagonischen Atlantikküste konnte an verschiedenen Küstenlokalitäten von der Bahía Vera im Norden bis nach San Julián im Süden eine reichhaltige Abfolge holozäner Strandwall-Lagunen-Systeme, Strandterrassen und Talmündungsterrassen nachgewiesen und deren Alter über 14C-Datierungen an eingelagerten beidschaligen Muscheln bestimmt werden. Dabei wurde kein Widerspruch zu unserer bisherigen Auffassung gefunden, wonach die mittel- und südpatagonische Atlantikküste im jüngeren Quartär keine starke Heraushebung erfahren hat und die seit dieser Zeit konstatierten neotektonischen Bewegungen entgegen der Auffassung von Codignotto et al. (1992) weitestgehend räumlich unabhängig von den im Mesozoikum und Alttertiär aktiven tektonischen Großstrukturen erfolgen. Auch eine nach Süden mit Annäherung an die pleistozänen Vereisungsgebiete zunehmende glazial-isostatische Heraushebung der Küste kann ausgeschlossen werden. Insofern hängt die aktuelle Höhenlage der im Küstenraum verbreiteten litoralen Terrassen

zunächst davon ab, ob diese in einem brandungsgeschützten niedrig-energetischen, oder in einem brandungsexponierten hoch-energetischen oder in einem „fluvio-litoralen“ Strandmilieu gebildet wurden. Die aktuellen Höhenlagen ihrer Oberflächen sind zudem das Resultat einer zeitlich vor allem auf das Holozän, evtl. auch noch auf das Spätglazial begrenzten hydro-isostatischen Hebung der Küste und zwar in einer Größenordnung von etwa 0,3 – 0,4 mm/a (0,3 – 0,4 m/ka), so dass bei vorausgesetzter ähnlicher Brandungsexposition ältere Strandbildungen höhere Oberflächen besitzen als jüngere. Weiterhin ist davon auszugehen, dass neben dieser generellen Hebungstendenz auch die von holozänen Klimaschwankungen, wie sie zum Beispiel in holozänen Gletscherschwankungen dokumentiert sind, ausgelösten glazial- und thermo-eustatischen Meeresspiegelveränderungen verstärkt oder abgeschwächt wurden. Da holozäne Klimaschwankungen, wie zum Beispiel die spätmittelalterlich/frühneuzeitliche „Kleine Eiszeit“, oft relativ schnell erfolgten und jeweils nur wenige Jahrhunderte andauerten, ist es natürlich schwierig, diese kurzfristigen Änderungen a) zeitlich aufzulösen, u.a. wegen der großen Unschärfe von  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an marinen Karbonaten, und b) die in der Regel auftretenden geringen Meeresspiegelschwankungen im Küstenformenschatz nachzuweisen. An der patagonischen Atlantikküste reichen die dort erhaltenen Meeresspiegelindikatoren nicht aus, um Meeresspiegelveränderungen von unter einem Meter erkennen zu können. Insofern gab es im Holozän sicherlich mehr als die konstatierten starken Meeresspiegelabfälle zwischen 6200 und 6000  $^{14}\text{C}$  BP (zwischen ca. 6700 und ca. 6350 cal BP) sowie zwischen 2600 und 2400  $^{14}\text{C}$  BP (zwischen ca. 2300 und ca. 1950 cal BP).

Diese Aspekte erschweren natürlich eine überregionale Korrelation der Meeresspiegelentwicklung im Untersuchungsgebiet mit den wenigen bis heute vorliegenden stratigraphisch und geochronologisch gut abgesicherten Informationen aus anderen Küstengebieten an der südamerikanischen Atlantikküste. Insgesamt zeigen sich jedoch gewisse Parallelisierungen bzw. ähnliche Entwicklungen, die bei Schellmann & Radtke (2007) dargestellt sind.

## Danksagung

Wir sind der DFG (Sche 465/2-1) und den Universitäten Bamberg und Köln sehr dankbar für die gewährten finanziellen Unterstützungen der Untersuchungen. Für die zahlreichen  $^{14}\text{C}$ -Datierungen bedanken wir uns herzlich bei Dr. Bernd Kromer (Universität Heidelberg) und allen Mitarbeitern im AMS- $^{14}\text{C}$ -Labor der Universität Erlangen.

## Literatur

- Codignotto, J.O., R.R. Kokot & S.C. Marcomini (1992): Neotectonism and sea level changes in the coastal zone of Argentina. *Journal of Coastal Research* 8, 125-133.
- Gordillo, S., G.G. Bujalesky, A. Pirazzoli, J.O. Rabassa & J.-F. Saliège (1992): Holocene raised beaches along the northern coast of the Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 99, 41-54.
- Guilderson, T.P., L. Burckle, S. Hemming & W.R. Peltier (2000): Late Pleistocene sea level variations derived from the Argentine Shelf. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1.
- Isla, F.I. (1993): Overpassing and armouring phenomena on gravel beaches. *Marine Geology* 110, 369-376.
- Isla, F.I. & G.G. Bujalesky (2000): Cannibalisation of Holocene gravel beach-ridge plains, northern Tierra del Fuego, Argentina. *Marine Geology* 170, 105-122.
- Isla, F.I., G.G. Bujalesky, M.L. Galasso & C.G. de Francesco (2005): Morphology, grain-size and faunistic composition of the macrotidal beaches of Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60, 435-445.
- Isla, F.I., F.E. Vilas, G.G. Bujalesky, M. Ferrero, G. González-Bonorino & A. Arche-Miralles (1991): Gravel drift and wind effects on the macrotidal San Sebastian Bay, Tierra del Fuego, Argentina. *Marine Geology* 97, 211-224.

- Milne, G.A., A.J. Long & S.E. Bassett (2005): Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. *Quaternary Science Reviews* 24, 1183-1202.
- Peltier, W.R. (2002): On eustatic sea level history: Last glacial Maximum to Holocene. *Quaternary Science Reviews* 21, 377-396.
- Rabassa, J., A. Coronato, G. Bujalesky, M. Salemme, C. Roig, A. Meglioli, C. Heusser, S. Gordillo, F. Roig, A. Borromei & M. Quattrocchio (2000): Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: an updated review. *Quaternary International* 68-71, 217-240.
- Rostami, K., W.R. Peltier & A. Mangini (2000): Quaternary marine terraces, sea-level changes and uplift history of Patagonia, Argentina: comparisons with predictions of the ICE-4G (VM2) model of the global process of glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Reviews* 19, 1495-1525.
- Schellmann, G. (1998a): Jungkänozoische Landschaftsgeschichte Patagoniens (Argentinien). *Andine Vorlandvergletscherungen, Talentwicklung und marine Terrassen. Essener Geographische Arbeiten* 29, 216 S. Essen.
- Schellmann, G. (1998b): Coastal development in Southern South America (Patagonia and Chile) since the Younger Middle Pleistocene – Sea Level Changes and Neotectonics. In: Kelletat, D. (ed.): *German Geographical Coastal Research – The Last Decade. Institute for Scientific Cooperation, Committee of the Federal Republic of Germany for the International Geographical Union* 289–304, Tübingen.
- Schellmann, G. (2000): Tektonik und Meeresspiegelveränderungen an der patagonischen Atlantikküste seit dem jüngeren Mittelpleistozän. In: Blotvogel, H.H., J. Ossenbrügge. & G. Wood (Hrsg.): *Lokal verankert – Weltweit vernetzt. Verhandlungsband des 52. Deutschen Geographentages, Hamburg* 4. – 9. Oktober 1999, 101-110, Stuttgart.
- Schellmann, G. & U. Radtke (2000): ESR dating of stratigraphically well-constrained marine terraces along the Patagonian Atlantic coast (Argentina). *Quaternary International* 68-71, 261-273.
- Schellmann, G. & U. Radtke (2003): Coastal terraces and Holocene sea-level changes along the Patagonian Atlantic coast. *Journal of Coastal Research* 19, 983-996.
- Schellmann, G. & U. Radtke (2007): Neue Befunde zur Verbreitung und chronostratigraphischen Gliederung holozäner Küstenterrassen an der mittel- und südpatagonischen Atlantikküste (Argentinien) - Zeugnisse holozäner Meeresspiegelveränderungen. *Bamberger Geogr. Schr.* 22, Bamberg (im Druck).
- Simeoni, U., G. Fontolan & E. Colizza (1997): Geomorphological characterization of the coastal and marine area between Primera und Segunda Angostura, Strait of Magellan (Chile). *Journal of Coastal Research* 13, 916-924.
- Vilas, F., A. Arche, M. Ferrero & F. Isla (1999): Subantarctic macrotidal flats, cheniers and beaches in San Sebastian Bay, Tierra del Fuego, Argentina. *Marine Geology* 160, 301-326.

## Adresse

Prof. Dr. Gerhard Schellmann  
Lehrstuhl für Physische Geographie und Landschaftskunde, Universität Bamberg  
Am Kranen 1  
D-96045 Bamberg

gerhard.schellmann@ggeo.uni-bamberg.de



## Evidence of tsunamigenic impact on Actio headland near Preveza, NW Greece

Simon Matthias May, Andreas Vött, Helmut Brückner & Svenja Brockmüller

Faculty of Geography, Philipps-Universität Marburg

### Abstract

The coastal zone north and east of Lefkada city, NW Greece, has been affected by several tsunami events during the late Holocene. In 2006 and 2007, numerous vibracores were retrieved from south of Preveza Strait in search of tsunamigenic influence on the Actio area, including the nearby ancient sanctuary of Apollo. Underwater surveys of the Plaka, a partly submerged palaeo coastline made up of beachrock, were realized by means of scuba diving. This study presents results of selected vibracores from the southern and northern parts of Actio headland.

The geomorphological underwater survey of the Plaka revealed ridges of isolated beachrock fragments as well as numerous separate blocks and boulders east of the in-situ Plaka. These findings indicate block dislocation by wave action and are related to tsunami impact. Moreover, sediments of shallow marine origin were detected in ~7 m a.s.l. in the north-eastern part of the Bay of Aghios Nikolaos, also pointing to tsunamigenic origin. Vibracores drilled on Actio headland show a sudden input of unsorted marine sediments into limnic and terrestrial environments. The two sedimentary units are separated by erosional unconformities indicating high energy wave activity with erosive effects. In conjunction with results of previous studies in the area between Aghios Nikolaos and Lefkada, the abrupt change of sedimentation dynamics can be attributed to at least one major tsunami event. According to <sup>14</sup>C-AMS datings of plant remains and molluscs from several vibracores a major tsunami impact happened around or after 1300 cal BC.

Our findings reflect the high vulnerability of the Lefkada coastal zone which attracts thousands of tourists and hosts an important NATO airport nearby.

### 1 Introduction

#### Study area

Tsunami events during historical times are known from several parts of the Eastern Mediterranean (Soloviev et al. 2000, Tinti et al. 2004). Unfortunately, historical sources exist only for the last 2500 or so years (Papazachos & Dimitriu 1991). Within the last 15 years, several authors presented evidence of tsunamigenic influence in numerous coastal areas by the detection of tsunamigenic sediments (e.g. Dominey-Howes et al. 2000, Kelletat & Schellmann 2002, Scheffers & Kelletat 2003, Reinhardt et al. 2006). These sediments as well as their chronological interpretation help to better understand the main characteristics of tsunami events, to develop tsunami catalogues, and to decipher the potential tsunami risk of an area.

The area between Lefkada Island (NW Greece) and Preveza at the entrance to the Ambrakian Gulf is exposed to the northern part of the Hellenic Arc (Fig. 1b and 1a). Here, the Adriatic microplate is subducted by the Aegean microplate. The Cefalonia transform fault (CF), situated west of Lefkada Island, connects this zone of subduction with an area of continent-continent collision beginning at the coast of southern Epirus (Fig. 1a). The CF has been responsible for numerous strong earthquakes during history (Cocard et al. 1999, Louvari et al. 1999, Sachpazi et al. 2000, Papadopoulos et al. 2003, Benetatos et al. 2005). The study area belongs to the seismically most active regions of the Mediterranean. According to Papazachos & Dimitriu (1991) and Soloviev (1990), it thus owns a high tsunamigenic potential.

The coastal zone to the north and east of Lefkada city has been repeatedly affected by tsunami events during the late Holocene (Galanopoulos 1960, Papazachos & Papazachou 1997, Soloviev et al. 2000, Vött et al. 2006b, 2007a, 2007b). Vött et al. (2006b, 2007a) identified chevron-shaped washover fans of littoral sediments in the northern Lagoon of Lefkada (Fig. 1b, box 1; Fig. 2a), mega-boulders on top of the Plaka, a partly submerged palaeo coastline made up of beachrock (Fig. 1b, box 2; Fig. 2b), and the temporary interruption of Lake Voulkaria's limnic sequence by (i) coarse-grained marine sediments at its western shore (Fig. 1b, box 3; Fig. 2c) and (ii) suspension deposits of marine origin in its central part (Fig. 1b, box 4; Fig. 2d).

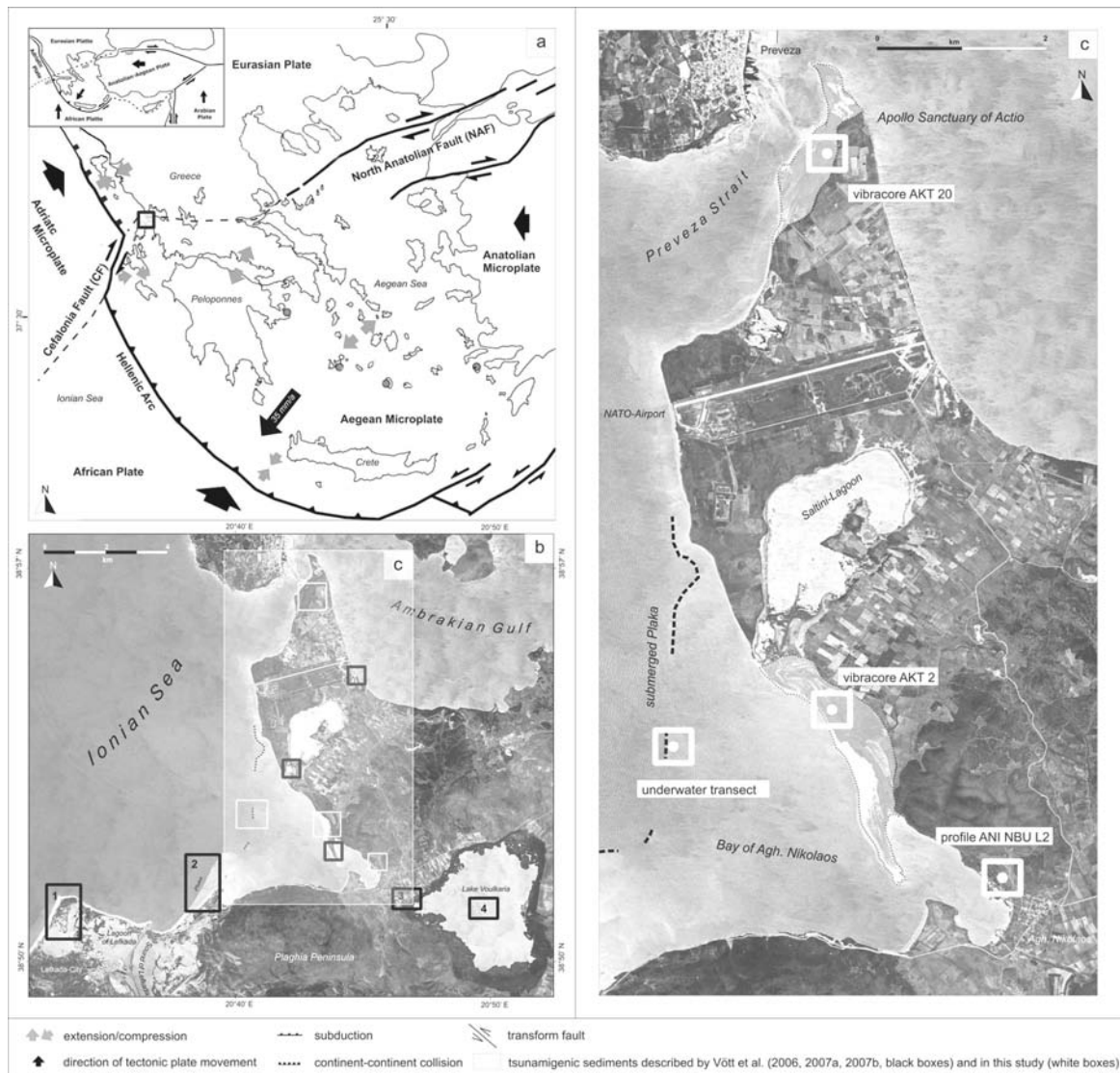


Figure 1: (a) Tectonic setting of the eastern Mediterranean. The study area is marked by a black frame. (b, c) Overview of the study area and location of different geological archives showing tsunamigenic sediments presented within this study (white frames) and by Vött et al. (2006b, 2007a, 2007b; black frames).

In 2006 and 2007, numerous vibracores were drilled south of Preveza Strait within the framework of an interdisciplinary study in search of tsunamigenic deposits, including geoarchaeological investigations around the nearby sanctuary of Apollo. This study presents results of selected vibracores from the southern and from the northern parts of the headland. Moreover, a sediment profile from the Bay of Aghios Nikolaos and observations from geomorphological underwater surveys around the Plaka are documented (Fig. 1c).

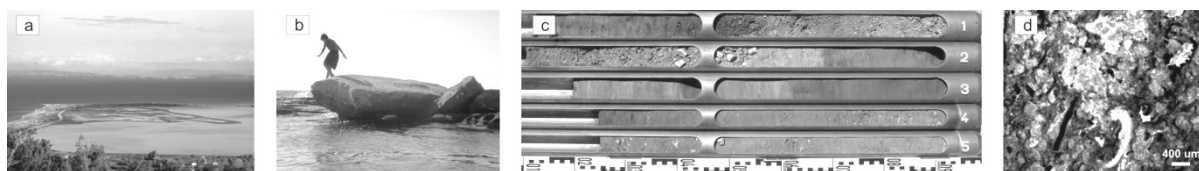


Figure 2: Different types of tsunamigenic sediments from the southern part of the study area described by Vött et al. (2006b): (a) Chevron-shaped washover fans in the Lagoon of Lefkada, (b) overtopped boulder of  $16 \text{ m}^3$  on top of the Plaka, (c) coarse-grained sediments of marine origin at the western shore of Lake Voulkaria (vibracore ANI 10) and (d) suspension deposits of marine origin in its central part (VOUL 1).

## Methods

Field work comprised DGPS measurements, terrestrial and underwater geomorphological mappings, the examination of sediment profiles as well as the realization of vibracoring in near coast geological archives. Vibracoring was performed by means of an Atlas Copco Cobra mk 1 corer and sediment cores of 5 cm and 6 cm diameter. The sediment profiles were recorded and sampled in the field. Grain size classification was based on Ad-hoc-AG Boden (2005). Sedimentological, geochemical and macro- and microfaunal analyses were realized in the laboratory. Organic material and mollusc remains taken from the samples were dated by the  $^{14}\text{C}$ -AMS technique.  $^{14}\text{C}$ -AMS ages were corrected for a marine reservoir effect of 402 years if necessary (Stuiver et al. 2007, Reimer & McCormac 2002). Detailed information of the methodological background of geomorphological and palaeogeographical studies are described in Vött et al. (2002) and Brückner (2007).

## 2 Results

### Evidence from northern Actio headland

Vibracore AKT 20 (Fig. 3) was drilled 200 m south of the ancient sanctuary of Actio and 350 m east of the present-day coastline (Fig. 1c, see also Vött et al. 2007b). The profile can be subdivided into three stratigraphic units which are also depicted by selected geochemical parameters. It shows clayey to silty limnic sediments, partly weathered under terrestrial conditions at its base (2.75 m – 1.66 m below surface, b.s.). Here, high values of organic content as well as relatively low Na-concentrations, typical of terrestrial conditions, were measured. These deposits are abruptly covered by marine sediments, consisting of unsorted sand and gravel and showing a remarkable increase of the contents of calcium carbonate and Na (1.70 m – 0.52 m b.s.). The corresponding facies change is marked by a clear erosional contact at 1.70 m b.s. A well developed soil established on top of this sequence (0.52 m – 0.00 m b.s.), represented by high values of organic matter and, due to pedogenetic processes, by decreasing content of calcium carbonate.

Plant remains, possibly root fragments, taken from the limnic-terrestrial sequence, 25 cm below the erosional unconformity, yielded a  $^{14}\text{C}$ -AMS age of 2476-2346 cal BC (AKT 20/10 PR, 1.91 m b.s., Table 1). Hence, it seems as if limnic and terrestrial conditions at AKT 20 lasted until at least ~2400 cal BC. The  $^{14}\text{C}$ -AMS age of a mollusc fragment taken from the marine material shows that high energy wave influence must have taken place around or after ~1300 cal BC (AKT 20/7 M, 1.48 m b.s., Table 1). Intense soil formation on top of this sequence indicates subaerial exposure over at least a few hundred years.



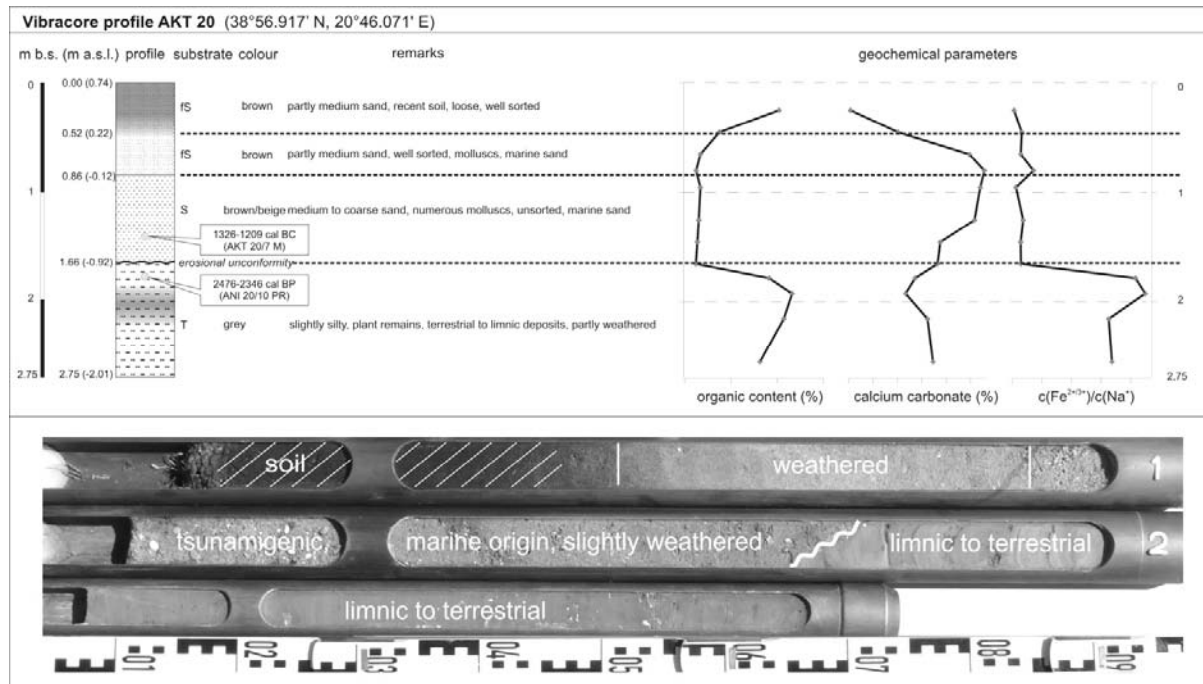


Figure 3: Photography of vibracore AKT 20 and schematic profile with selected geochemical parameters. Sedimentological and geochemical results show three stratigraphic units within the vibracore sequence.

### Evidence from southern Actio headland

Vibracore AKT 2 (Fig. 4) was drilled north of the so called Phoukias spit, an accretional sand spit located in the south-western part of Actio headland and reaching about 900 m into the Bay of Aghios Nikolaos (Fig. 1c, see also Vött et al. 2007b).

Table 1: Radiocarbon dating results for selected samples from Actio headland. b.s. – below surface; artic. spec. – articulated specimen; 1 $\sigma$  max-min cal BC – calibrated ages; Lab. No. – laboratory number, University of Kiel (KIA); \* - marine reservoir correction with 402 years of reservoir age.

Sample	Depth (m b.s.)	Lab. No.	Sample description	$\delta^{13}\text{C}$ (ppm)	$^{14}\text{C}$ age (BP)	1 $\sigma$ max-min (cal BC)
AKT 2/9 PR	2.80	KIA31674	unidentified plant remains	-5.2	4160 +- 31	2872-2679
AKT 20/7 M	1.48	KIA31668	<i>Tellina planata</i> , artic. spec.	-3.1	3350 +- 35	1326-1209*
AKT 20/10 PR	1.91	KIA31669	unidentified plant remains	-27.0	3930 +- 38	2476-2346

The profile starts with a sequence of deeply weathered sandy and silty sediments, probably of pre-Holocene or early Holocene age. In the upper part of this sequence, soil formation took place. From 3.81 m - 2.79 m b.s., green-grey, slightly sandy and clayey silt with in-situ plant remains is interpreted as limnic or lagoonal deposits. High values of organic content and the high Fe/Na-ratio as well as the lack of carbonate indicate a former surface, developed under subaerial conditions. Comparable to vibracore AKT 20 (Fig. 3), the following sediments (2.79 m – 1.68 m b.s.) were deposited by high energy dynamics. This is also shown by the erosional contact in 2.79 m b.s. The marine sediments consist of grey sand with numerous articulated specimens of molluscs and mollusc fragments and are characterized by low values of organic and a high content of calcium carbonate. Above (1.68 m – 0.70 m b.s.), the marine sands were exposed to subaerial conditions. In contrast to the underlying unweathered marine sequence, high values of the Fe/Na-ratio could be measured. The following layer

of well sorted fine sand represents the subsequent deposition of aeolian material, on which the (sub)recent soil formation has developed.

Plant remains taken from 2.80 m b.s., just below the erosional unconformity, were dated to 2872 – 2679 cal BC (AKT 2/9 PR, 2.80 m b.s., Table 1). Thus, the change towards high energy conditions and the accumulation of the marine material must have taken place after ~2800 cal BC.

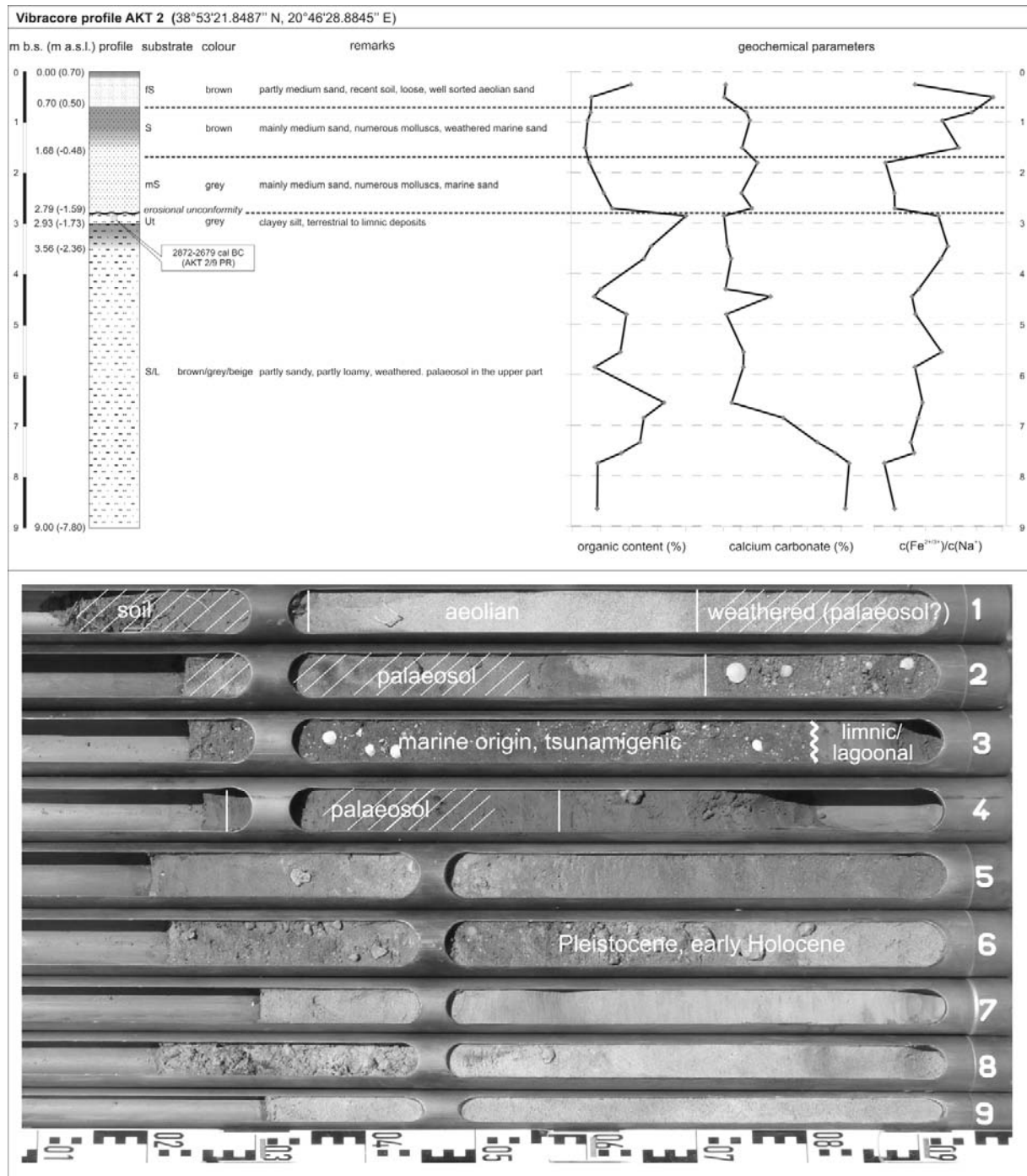


Figure 4: Photography of vibracore AKT 2 and schematic profile with selected geochemical parameters. Sedimentological and geochemical results show characteristic differences within the profile and allow to distinguish between several stratigraphic units.

## Evidence from the Bay of Aghios Nikolaos

In the north-eastern part of the Bay of Aghios Nikolaos, 7.06 m above present mean sea level (a.s.l.), a small pit, 38 cm deep, revealed marine sediments deposited in a terrestrial environment (Fig. 5). The base of the profile shows slightly sandy, clayey silt of red-brown colour (0.38 m – 0.33 m b.s.), containing fragments of the underlying bedrock. This basal horizon can be interpreted as a palaeosol. On top of this layer, a crust of calcium carbonate, 5 cm thick, was encountered. Numerous fragments of marine molluscs and several specimens of foraminifera were found within this crust (Fig. 5f).

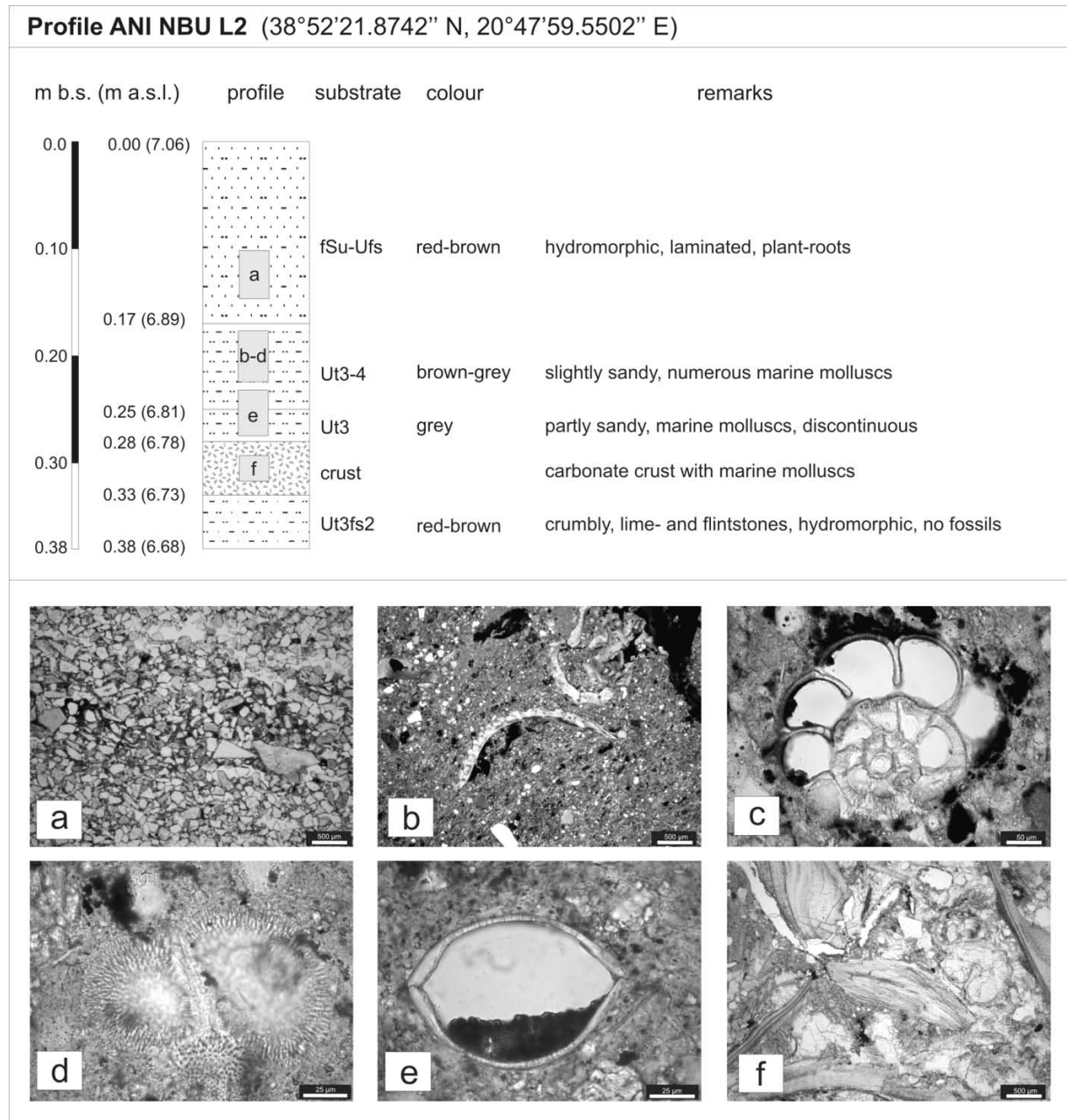


Figure 5: Stratigraphy of profile ANI NBU L2, 7.06 m a.s.l., excavated in the north-eastern part of the Bay of Aghios Nikolaos (see also Fig. 1c) and thin sections of distinct horizons showing (a) angular components in the upper part of the profile (ANI NBU L2/1 DS, 0.10-0.15 m b.s.), (b) mollusc fragments (ANI NBU L2/2 DS, 0.18-0.23 m b.s.), (c) specimen of a benthic foraminifera (order: Rotaliina, ANI NBU L2/2 DS, 0.18-0.23 m b.s.), (d) specimen of a planctonic foraminifera (*Globigerina* sp., ANI NBU L2/2 DS, 0.18-0.23 m b.s.), (e) specimen of an undetermined ostracod (ANI NBU L2/3 DS, 0.25-0.28 m b.s.) and (f) carbonatic crust with fragments of marine molluscs (ANI NBU L2/4 DS, 0.30-0.33 m b.s.).

In the following sediment layers out of clayey silt (0.28 m – 0.17 m b.s.), marine fossils, intensely weathered, are still abundant. Thin sections show an aragonitic composition of the mollusc shells without calcite conversion. Moreover, numerous well preserved specimens of benthic (order Rotaliina, Fig. 5c) and planctonic (*Globigerina* sp., Fig. 5d) foraminifera as well as ostracods (Fig. 5e) could be detected. Intense weathering of the sediments led to the solution, displacement and crust-like secondary deposition of carbonate in the underlying horizon. Above 0.17 m b.s., laminated brownish-red silty fine sand was found. These sandy deposits are free of carbonate and marine components. Thin sections (Fig. 5a) exclusively show angular components, suggesting a colluvial origin.

The sequence proves the accumulation of fine grained sediments of marine origin between 6.73 - 6.89 m a.s.l. Both stratigraphy and sediment texture of the marine deposits found at ANI NBU L2 exclude the deposition of these sediments as a consequence of a former sea level high stand. This is supported by Vött (2007) and Vött et al. (2006a, 2007b), who did not find any indication for a Holocene sea level higher than the present one along the adjacent Akarnanian coast. Consequently, we conclude that a tsunami induced the deposition of the sequence. Absolute dating of these sediments will be necessary to ensure the Holocene age of the deposits.

### Evidence from the underwater survey of the Plaka

The shallow lagoonal waters of the Lefkada Sound are sealed off from the open Ionian Sea by an extended barrier beach system the base of which is made up of beachrock down to approximately 12 m below present mean sea level (b.s.l). Towards the north, the recent beach ridge is shifted eastwards and thus separated from its beachrock base – the so called Plaka – which is partly submerged, fragmented and, due to the effects of earthquakes, partly broken. Here, the remains of the Plaka represent a palaeo coastline. However, it protects the Bay of Aghios Nikolaos from the open sea and reduces wave energy (Fig. 1b and c).

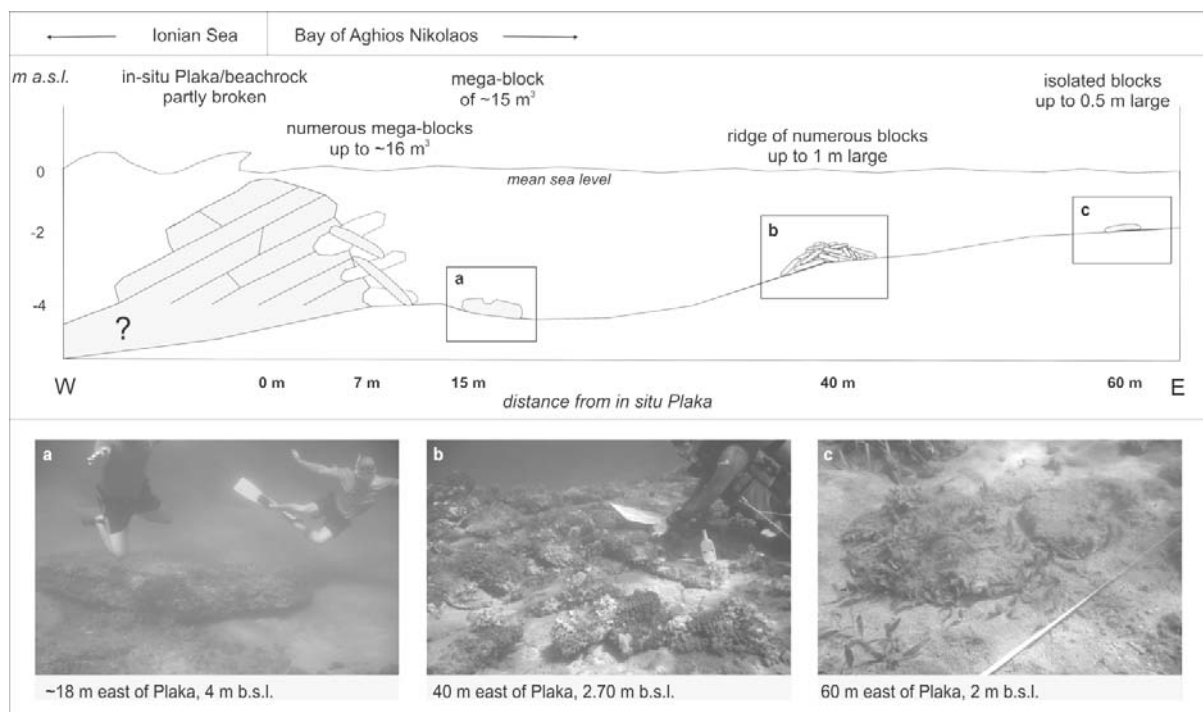


Figure 6: Schematic profile of the underwater transect east of the Plaka. Photos illustrate a dislocated mega-block of ~10 m<sup>3</sup> at 18 m (a), a ridge of numerous blocks at ~40 m and (c) isolated beachrock slabs, up to 50 cm long, at 60 m east of the in-situ Plaka.

Underwater surveys revealed numerous separate blocks and boulders east of the in-situ Plaka as well as a ridge of isolated beachrock fragments down to 4 m water depth. A transect, 60 m long, was studied on the leeward side of the submerged Plaka by means of (scuba) diving (Fig. 6).

Up to about 20 m east of the Plaka, numerous boulders of up to 10 m<sup>3</sup>, some even 16 m<sup>3</sup>, have been detected (Fig. 6a). These boulders, partly broken into pieces, must have been transported from the in-situ lying Plaka. A ridge of beachrock fragments, variable in size up to 1 m<sup>3</sup>, was found around 40 m east of the Plaka (Fig. 6b). Dislocated blocks, up to 50 cm large, could be traced as far as ~60 m east of the in-situ Plaka along the transect (Fig. 6c). Without exception, these fragments are densely and homogeneously covered with marine organisms, such as algae. This fact excludes (i) that they are continuously moved by wave action or storms and (ii) a step-by-step formation of the ridge by storm activity, which would produce an inhomogeneous organic cover. Consequently, block dislocation must have been triggered by high energy wave events at least since the late Holocene. We therefore conclude that these findings indicate block dislocation by tsunami wave action.

### 3 Discussion

According to sedimentological and geochronological results from further vibracores drilled in the north-eastern part of the Lefkada Sound, the north-eastern part of the Plaka developed around 5300 cal BC, resulting in the establishment of lagoonal conditions east of a corresponding beach ridge system (Vött 2006b, 2007a, 2007b). The formation of the northwards following branch of the Plaka, the remains of which now separate the Bay of Aghios Nikolaos from the Ionian Sea, must have taken place at approximately the same time. Considering the geochronological results of vibracore AKT 2, this palaeo coastline existed at least until ~2800 cal BC. At that time, relative sea level must have been below 1.59 m b.s.l. as limnic to terrestrial sequences were formed at AKT 2 and AKT 20.

In the northern (AKT 20) and in the southern parts (AKT 2) of Actio headland, our results show a strong and sudden input of unsorted marine sediments into limnic and terrestrial environments. Erosional unconformities, located in 1.59 m b.s.l. (AKT 2) and 0.92 m b.s.l. (AKT 20), indicate high energy wave activity with erosive effects. Regarding the sedimentological and geochronological results of vibracores AKT 20 and AKT 2, the abrupt transition related to the erosive unconformity in both drillings may be attributed to a morphodynamic event which was dated to around or after 1300 cal BC. However, there is indication of a tsunami event which affected the eastern shore of Actio headland around 2800 cal BC (Vött et al. 2007b). Thus, it cannot be excluded that AKT 20 and AKT 2 document two different events which changed morphodynamics on Actio headland.

Moreover, both profiles show intense weathering of the upper part of the marine material, leading to the formation of a well developed soil (Fig. 3). The remarkable change of depositional conditions was accompanied by the activation of littoral dynamics, subsequently initiating the formation of the Phoukias sand spit and, to a certain extent, accretional beach sequences (Fig. 1c, white marked areas). Regarding (i) the well developed soil in vibracore AKT 20 and (ii) the period of time needed for the intense weathering of the marine sediments and the development of the following aeolian overlay in vibracore AKT 2, the period of subaerial weathering of the marine sediments must have been at least several hundreds of years long.

Studies of recent tsunami events and its effects on coastal morphology showed that tsunami waves may induce severe erosion and the shifting of beach systems and coastlines (e.g. Altinok et al. 2001, Keating 2005, Polngam et al. 2005, Meltzner et al. 2006). Our results from the underwater survey east of the in-situ lying Plaka remains give evidence of block dislocation by tsunami impact. Sediments of marine origin have been detected in ~7 m a.s.l. in the north-eastern part of the Bay of Aghios Nikolaos – we assume a tsunamigenic origin of this sequence as well. Together with these findings and the results of previous studies in the area between Aghios Nikolaos and Lefkada (Vött et al. 2006b, 2007a, 2007b), the influence of at least one tsunami event on the formation of the erosional unconformities and the distinct change of morphodynamics at vibracore sites AKT 2 and AKT 20 is likely. As to the

findings of marine sediments reaching up to 0.50 m a.s.l. (AKT 2) and 0.58 m a.s.l. (AKT 20), it has to be clarified if these sediments are definitely part of event deposits and represent sand-sheet like, partly well sorted tsunami deposits or if they may have been formed by a higher relative sea level. According to geochronological data found for AKT 20, one tsunami event may have occurred around or after 1300 cal BC. These results fit well with the conclusions of Vött et al. (2006b, 2007a, 2007b) who presented sedimentological and geochronological evidence of tsunamigenic impact in the area around 1000 cal BC and of several other events.

#### **4 Conclusions**

Using geomorphological, sedimentological and palaeogeographical methods, we identified clear signs of tsunamigenic impact in the study area. We were able to encounter distinct morphological changes at the northern and southern coastal zone of Actio headland. The following results can be summarized:

- (i) Underwater surveys of the Plaka, west of the Bay of Aghios Nikolaos, revealed block dislocation by tsunami wave action. Dislocated mega blocks, a rubble ridge and isolated blocks could be documented in distances of up to 60 m east of the Plaka (see also Vött et al. 2007a).
- (ii) We presented clear evidence of a tsunami event which hit the north-eastern part of the Bay of Aghios Nikolaos. Here, sediments of marine origin, intensely weathered, were encountered in 7 m a.s.l.
- (iii) According to sedimentological and geochronological results, the northern part of the Plaka developed around 5300 cal BC (Vött et al. 2007a). At least until 2800 cal BC, it constituted a stable coastline.
- (iv) After ~2800 cal BC (AKT 2) and ~2400 cal BC (AKT 20), respectively, the northern and southern parts of Actio headland were hit by high energy wave dynamics. This transition is marked by erosional unconformities found in vibracore profiles. Against the background of previous studies in the Lefkada area, a tsunamigenic origin of these sedimentological features is most likely (Vött et al. 2006b, 2007a, 2007b).
- (v) The abrupt morphodynamic change and the related accumulation of marine material was accompanied by the activation of littoral processes.

#### **5 Acknowledgements**

Radiocarbon dating was carried out at the Leibniz-Laboratory for Radiometric Dating and Stable Isotope Research (Christian-Albrechts-Universität, Kiel). We thank R. Schmidt-Effing and M. Handl (Marburg) for the determination of microfossils. Scuba diving was realized by U. Ewelt and R. Grapmayer (Grünberg). We gratefully acknowledge funding of the research project by the German Research Foundation (DFG, Bonn, VO 938/2-1).

## References

- Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (ed.) (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5th edition. Schweizerbart, Stuttgart, 438 p.
- Altinok, Y., S. Tinti, B. Alpar, A.C. Yalçincer, Ş. Ersoy, E. Bortolucci & A. Armigliato (2001): The tsunami of August 17, 1999 in Izmit Bay, Turkey. *Natural Hazards* 24, 133-146.
- Benetatos, C., A. Kiratzi, Z. Roumelioti, G. Stavrakakis, G. Drakatos & I. Latoussakis (2005): The 14 August 2003 Lefkada Island (Greece) earthquake: Focal mechanisms of the mainshock and of the aftershock sequence. *Journal of Seismology* 9, 171-190.
- Brückner, H. (2007): Holozäne Umweltrekonstruktion und Geoarchäologie. In: Dikau, R., K.M. Moldenhauer & J. Bedehäsing (eds.): *Die Erdoberfläche – Lebens- und Gestaltungsraum des Menschen*. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 148, 55-58.
- Cocard, M., H.-G. Kahle, Y. Peter, A. Geiger, G. Veis, S. Felekis, D. Paradissis & H. Billiris (1999): New constraints on the rapid crustal motion of the Aegean region: recent results inferred from GPS measurements (1993–1998) across the West Hellenic Arc, Greece. *Earth and Planetary Science Letters* 172, 39-47.
- Dominey-Howes, D.T.M., A. Cundy & I. Croudace (2000): High energy marine flood deposits on Astypalaea Island, Greece: possible evidence for the AD 1956 southern Aegean tsunami. *Marine Geology* 163, 303–315.
- Galanopoulos, A.G. (1960): Tsunamis observed on the coasts of Greece from antiquity to present Time. *Annali di Geofisica* X111/4, 371-386.
- Keating, B.H., C. Helsley, Z. Waheed & D. Dominey-Howes (2005): 2004 Indian Ocean Tsunami on the Maldives Islands: Initial Observations. *Science of Tsunami Hazards* 23/2, 19-70.
- Kelletat, D. & G. Schellmann (2002): Tsunamis on Cyprus: Field Evidences and <sup>14</sup>C Dating Results. - *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 137*, 19-34.
- Louvari, E., A.A.Kiratzi & B.C. Papazachos (1999): The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece). *Tectonophysics* 308, 223–236.
- Meltzner, A., K. Sieh, M. Abrams, D.C. Agnew, K.W. Hudnut, J.P. Avouac & D. Natawidjaja (2006): Uplift and subsidence associated with the Great Aceh-Andaman earthquake of 2004, *J. Geophys. Res.* 111, doi 10.1029/2005JB003891.
- Papadopoulos, G.A., V.K. Karastathis, A. Ganas, S. Pavlides, A. Fokaefs & K. Orfanogiannaki (2003): The Lefkada 2003 Strong Earthquake - The Lefkada, Ionian Sea (Greece), Shock, (Mw 6.2) of 14 August 2003: Evidence for the Characteristic Earthquake from Seismicity and Ground failures. *Earth, Planets and Space* 55/11, 713-718.
- Papazachos, B. & C. Papazachou (1997): Sea Waves associated with Earthquakes in Greece. In: Papazachos, B. & C. Papazachou (1997): *The Earthquakes of Greece*, 71-76, Thessaloniki.
- Papazachos, B.C. & P.P. Dimitriu (1991): Tsunamis In and Near Greece and Their Relation to the Earthquake Focal Mechanisms. *Natural Hazards* 4, 161-170.
- Polngam, S., T. Sanguantrakool, E. Pricharchon & S. Phoompanich (2005): Remote sensing technology for Tsunami Disasters Along the Andaman Sea, Thailand. 3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response. September 12-13, 2005, Chiba, Japan. <http://ares.tu.chiba-u.jp/workshop/Chiba-RS2005/Paper%20supapis.pdf> [access: July 10, 2007].
- Reimer, P.J. & F.G. McCormac (2002): Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean Seas. *Radiocarbon* 44, 159-166.
- Reinhardt, E.G., B.N. Goodman, J.I. Boyce, G. Lopez, P. van Hengstum, W.J. Rink, Y. Mart & A. Raban (2006): The tsunami of 13 December A.D. 115 and the destruction of Herod the Great's harbor at Caesarea Maritima, Israel. *Geology* 34/12, 1061-1064.
- Sachpazi, M., A. Hirn, C. Clément, F. Haslinger, M. Laigle, E. Kissling, P. Charvis, Y. Hello, J.-C. Lépine, M. Sapin & J. Ansorge (2000): Western Hellenic subduction and Cephalonia Transform: local earthquakes and plate transport and strain. *Tectonophysics* 319/4, 301–319.
- Scheffers, A. & D. Kelletat (2003): Sedimentologic and geomorphologic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Reviews* 63, 83-92.
- Soloviev, S.L. (1990): Tsunamigenic Zones in the Mediterranean Sea. *Natural Hazards* 3, 183-202.
- Soloviev, S.L., O.N. Solovieva, C.N. Go, K.S. Kim & N.A. Shchetnikov (2000): *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 B.C. - 2000 A.D.* Dordrecht.

- Stuiver, M., P.J. Reimer & R. Reimer (2007): CALIB Radiocarbon Calibration. <http://calib.qub.ac.uk/calib> [access: July 9, 2007].
- Tinti, S., A. Maramai & L. Graziani (2004): The new catalogue of Italian tsunamis. *Natural Hazards* 33, 439-465.
- Vött, A. (2007): Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since the mid-Holocene. *Quaternary Science Reviews* 26, 894–919.
- Vött, A., H. Brückner, M. May, F. Lang, R. Herd & S. Brockmüller (2007a): Strong tsunami impact on the Bay of Aghios Nikolaos and its environs (NW Greece) during Classical-Hellenistic times. *Quaternary International* (available online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.017>). Amsterdam.
- Vött, A., H. Brückner, M. May, F. Lang & S. Brockmüller (2007b): Late Holocene tsunami imprint at the entrance of the Ambrakian Gulf (NW Greece). *Mediterranée* 108, 43-57.
- Vött, A., H. Brückner, A. Schriever, J. Luther, M. Handl & K. van der Borg (2006a): Holocene palaeogeographies of the Palairos coastal plain (Akarnania, NW Greece) and their geoarchaeological implications. *Geoarchaeology* 21/7, 649–664.
- Vött, A., M. May, H. Brückner & S. Brockmüller (2006b): Sedimentary evidence of late Holocene tsunami events near Lefkada Island (NW Greece). In: Scheffers, A. & D. Kelletat (Eds.): *Tsunamis, hurricanes and neotectonics as driving mechanisms in coastal evolution. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd.* 146, 139–172.
- Vött, A., M. Handl & H. Brückner (2002): Rekonstruktion holozäner Umweltbedingungen in Akarnanien (Nordwestgriechenland) mittels Diskriminanzanalyse von geochemischen Daten. *Geologica et Palaeontologica* 36, 123-147.

## Address

Dipl.-Geogr. Simon Matthias May  
PD Dr. Andreas Vött  
Prof. Dr. Helmut Brückner  
Dipl.-Geogr. Svenja Brockmüller  
Faculty of Geography  
Philipps-Universität Marburg  
Deutschhausstr. 10  
D-35032 Marburg/Lahn

[matthias.may@staff.uni-marburg.de](mailto:matthias.may@staff.uni-marburg.de)







## **Palaeoenvironmental changes of the Lefkada Sound (NW Greece) and their archaeological relevance**

Svenja Brockmüller, Andreas Vött, Simon Matthias May & Helmut Brückner

Faculty of Geography, Philipps-Universität Marburg

### **Abstract**

Lefkada Island is separated from the Greek mainland by the Lefkada Sound, a shallow lagoonal environment. Ancient accounts report that the Corinthians cut a navigable canal across a former isthmus in the 7<sup>th</sup> century BC. A nowadays submerged Corinthian mole at the southern end of the sound closed off a protected harbour area.

The main objectives of our studies were to detect environmental changes throughout the Holocene and to reconstruct the palaeogeographical evolution of the Lefkada Sound for different points in time based on the analysis of the sedimentary record encountered in various geoarchives. Geomorphological, geochemical, microfaunal, archaeobotanical and geochronological methods as well as earth resistivity measurements were applied.

From the northern Lefkada Sound and adjacent regions, severe tsunamigenic impact is known. Vibracore data shows considerable influence of extreme events on the development of the northern subarea in historical times.

In the central part of the sound, our results revealed a terrestrial connection of Lefkada Island with the Greek mainland, which is gradually displaced by a limnic and later lagoonal environment. At least twofold high energy impact disturbed the quiescent lagoonal conditions at or after Hellenistic times. The marginal parts of the lagoon have been affected by siltation due to alluvial or anthropogenic deposition.

In the area of the presumed harbour of ancient Lefkada, our results indicate an early marine transgression sometime before ~2800-2700 cal BC. Subsequently, open marine conditions prevailed for a long time, however showing temporary influence of high energy events. Layers with numerous artefacts probably reflect the period during which the harbour was in use and are subsequently covered by alluvial sediments.

Several relative sea level indicators document a remarkably rapid relative sea level rise in the inner sound, partly due to tectonic subsidence. In more lateral parts, tectonic uplift is observed. Thus, distinct local variations in tectonic movements have to be considered.

### **1 Introduction**

Postglacial sea level rise and delta formation since the mid-Holocene have caused enormous landscape changes and thus have strongly influenced human activity and settlements in coastal areas. Additionally, catastrophic events like seismic movements, storms or tsunami waves are assumed to have considerably affected the coastal evolution. In the eastern Mediterranean, coastline changes and their implications for archaeological sites are well studied in various regions. For the Lefkada Sound, detailed palaeogeographical analyses did not exist so far. This paper presents first results of our research on palaeoenvironmental changes of the area.

### **2 Topographic and tectonic setting**

Lefkada Island is separated from the Greek mainland – the Plaghia Peninsula – by the Lefkada Sound, a shallow lagoonal environment (Fig. 1). Towards the north, the lagoon is cut off from the open Ionian Sea by an extended barrier beach system. Its partly destroyed and drowned section is called Plaka. To the south, the sound is bordered by a submerged mole, the so-called “Mole of the Corinthians”. Across

the shallow lagoon runs an artificial (navigable) canal. Lefkada city lies at the north-eastern corner of Lefkada Island at around 1-5 m above present mean sea level (m a.s.l.), while the archaeological remains of ancient Lefkada are located in a higher position further south. A bridge, today completely ruined and covered by sediments, connected Lefkada Island and the Plaghia Peninsula during Hellenistic to Roman times.



Figure 1: Overview of the study area and location of the presented sedimentary and archaeological archives

Tectonically, the area of the Lefkada Sound is part of the Ionian Zone of the outer Hellenides (Monopolis & Bruneton 1982) and is located close to the triple junction of the African, the Aegean and the Adriatic microplates (Haslinger et al. 1999). The study area belongs to the tectonically and seismically most active regions of the Mediterranean. Especially the Cefalonia Fault, situated directly to the west of Lefkada Island, is responsible for severe earthquakes (Galanopoulos 1952, 1954, Hatzfeld et al. 1995). The last strong earthquake ( $M_w$  6.2) occurred on August 14, 2003, causing mass movements and extensive damages especially along the western coast of the island (Benetatos et al. 2005, Parcharidis et al. 2006). The high seismic and tectonic activity indicates a considerable tsunami hazard for the region.

The sound lies in a tectonic depression and is flanked by tectonic horsts. Severe differences in the vertical tectonic movement are represented by findings of Eemian sea level indicators in different elevations, ranging between around 14 m below present mean sea level (m b.s.l.; PER 5, Fig. 3) and up to 8.65 m a.s.l. at the northern coast of Lefkada Island (IOA 1, Fig. 1). Here, ESR-dating of *in-situ* branches of corals provided an age of 130 +/- 15 ka BP.

### 3 Historical background

The palaeogeographical setting in the area of the Lefkada Sound was discussed in a controversial way already at the end of the 19<sup>th</sup> century. Was Lefkada always an island or was it connected to the Akarnanian mainland in the past? The ancient historians Livius, Strabo and Plinius report that an isthmus existed east of the ancient town of Lefkada in Archaic-Classical times, just where an ancient bridge crossed the sound during the Hellenistic to Roman epoch (Négris 1904, Fig. 1). However, Patsch (1889, 1907), von Marées (1907), Lehman-Hartleben (1923) and von Seidlitz (1927), for instance, suggest that the described isthmus was located further northward, either close to the fortification of Aghia Mavra or at the so-called “Canali Stretti”. Anyway, historical tradition says that an isthmus was cut through by the Corinthians in order to get a navigable canal. The nature of

Lefkada, island or peninsula, was of particular interest for the archaeological research trying to solve the question whether Lefkada possibly was the Homeric Ithaka, the homeland of Odysseus (Goessler 1904, Lang 1905, Dörpfeld 1927).

Ancient Lefkada was probably founded in the 7<sup>th</sup> century BC by Corinthian settlers. Négris (1904) suggests that the Mole of the Corinthians (Fig. 1) was constructed to protect the southern entrance of the canal. Murray (1982, 1988) found that the harbour mole of ancient Lefkada did not only serve as protection, but also as a loading pier. Murray (1988) found fragments of Corinthian amphora and concludes that the harbour was in use between the 5<sup>th</sup>/4<sup>th</sup> century BC and the 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup> centuries AD. According to Murray (1988), the submersion of the mole started shortly after the 6<sup>th</sup> century AD. Its remains – in parts the original mole surface is preserved in a minimum depth of 1.40 m b.s.l. – represent a reliable relative sea level indicator. With an assumed original surface elevation of 0.5-1.5 m a.s.l., a minimum relative sea level rise of ~2.4 meters is assumed. Murray (1982: 240) even gives an average value of 3.4 meters. Based on his investigation of the remains of the Hellenistic to Roman bridge, Négris (1904: 24) suggests a relative sea level rise of ~3.0 m in the course of the last 2000 years.

In antiquity, the navigable canal through the sound was a safe shortcut along the way between Greece and Italy and therefore the control over the strait was a both lucrative economic and strategic factor. According to historical data, compiled e.g. by Murray (1982: 247f.), the navigability of the sound was interrupted at least three times during Archaic and Roman times. Murray (1982) suggests that the natural tendency of the sound is to silt up and that whenever possible, the strait was dredged and the canal reopened, because that was essential for the prosperity of the city. Vött et al. (2007c, d) propose that tsunami impact might also have influenced the navigability of the sound.

#### 4 Objectives and methods

The prior aim of our research is to reconstruct the palaeogeographical evolution of the sound for different points in time since the late Pleistocene/early Holocene based on the analysis of sedimentary and archaeological records encountered in vibracores and profiles.

Geomorphological, geochemical, microfaunal, archaeobotanical and geochronological methods as well as thin section analyses and earth resistivity measurements were applied. The results were compared to both historical and archaeological data. Our geoarchaeological approach is summarized e.g. by Brückner (2003), the benefits resulting from interdisciplinary landscape research are exemplary shown by Lang et al. (2007).

Table 1: Radiocarbon dates from vibracores LEF 2 and LEF 12. Abbreviations: b.s. – below ground surface; b.s.l. – below sea level; artic. sp. – articulated specimen; 1 $\sigma$  max; min cal BP/BC (AD) – calibrated ages, 1 $\sigma$ -range; lab. no. – laboratory number, Erl – University of Erlangen; UtC – University of Utrecht

sample name	depth (m b.s.)	Depth (m b.s.l.)	sample description	lab. no.	$\delta^{13}\text{C}$ (ppm)	$^{14}\text{C}$ age (BP)	1 $\sigma$ max; min (cal BP)	1 $\sigma$ max; min (cal BC)	calibration
LEF 02/07 M	2.36	2.36	<i>Tellina</i> sp. (artic. sp.)	UtC 13691	0.3	2574 +/- 37	2308; 2197	358; 247	marine
LEF 02/14 M	5.53	5.53	<i>Dosinia</i> sp. (artic. sp.)	UtC 13690	0.0	6257 +/- 37	6752; 6654	4802; 4704	marine
LEF 12/07 M	2.48	1.43	<i>Dosinia exoleta</i> (artic. sp.)	Erl-9808	0.1	2370 +/- 50	2064; 1924	114 cal BC; 26 cal AD	marine
LEF 12/10 PR	3.77	2.72	seaweed	Erl-9809	-17.8	2436 +/- 42	2133; 2008	183; 58	marine
LEF 12/18 PR	7.28	6.23	seaweed	Erl-9810	-14.6	4504 +/- 48	4797; 4640	2842; 2690	marine

In the surroundings of the Lefkada Sound, more than 50 sediment cores were retrieved with core diameters of 6 cm and 5 cm and a maximum recovery depth of 15 m. On-site, the sedimentary facies was determined based on sedimentological features and macrofossil remains. Samples were taken for systematic micro- (foraminifers, ostracods) and macrofaunal studies, for pollen analyses and for detailed geochemical analyses of various parameters such as electrical conductivity, pH-value, loss on ignition, contents of carbonate, orthophosphate as well as several (earth-)alkaline and heavy metal ions. Moreover, artificial trenches given by earthen cisterns were studied.

The exact position and elevation of vibracoring sites and trenches were determined by means of a differential GPS.  $^{14}\text{C}$ -AMS dates and diagnostic ceramic fragments as well as ESR-dating of several pre-Holocene coral fragments were used for establishing a local geochronology.

In this paper, we present two vibracores from the northern and southern parts of the lagoon and a vibracore transect across the central part of the sound (Fig. 1).

Radiocarbon ages given in Table 1 are calibrated using the software “Calib” by Stuiver et al. (2006). Marine samples are corrected for an average reservoir effect of 402 years (Reimer & McCormac 2002) because of the lack of detailed information on the palaeo-reservoir effects in the Lefkada Sound.

## 5 Results: Sedimentological archives revealing the landscape history

### Tsunamigenic impact on the northern part of the sound

Vibracore LEF 2 (Fig. 2) exemplifies tsunamigenic impact on the northern part of the Sound of Lefkada (see Vött et al. 2006, 2007a). Several meters of shallow marine to littoral sediments (sand and gravel rich in marine mollusc fragments) at the base of the core are covered by 3.5 meters of lagoonal deposits. The lagoonal mud, mostly silty and rich in marine fossils, indicates the existence of a seaward barrier from ~4750 cal BC to ~300 cal BC, as  $^{14}\text{C}$ -AMS datings suggest (see Table 1).

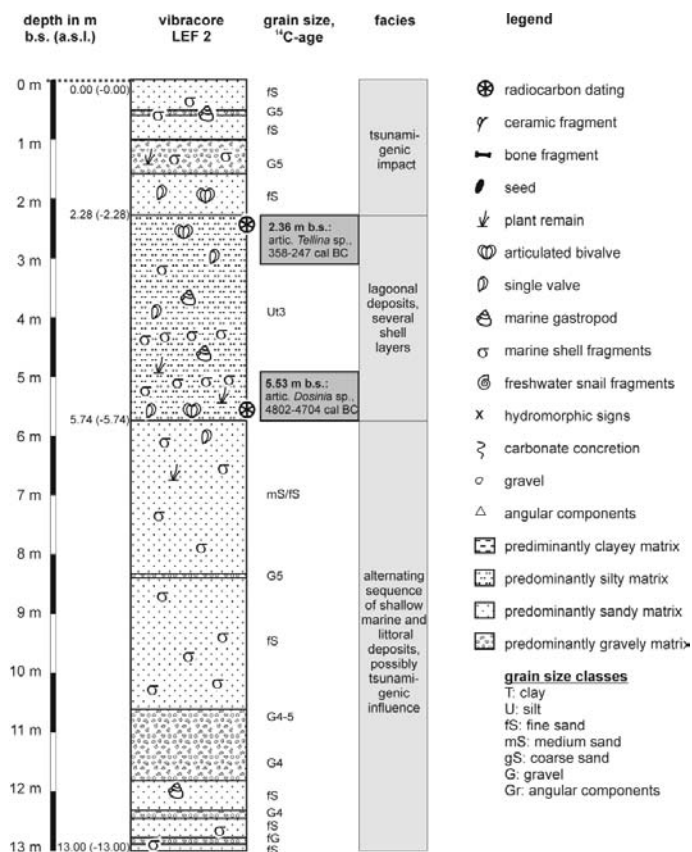


Figure 2: Stratigraphic sequence of vibracore LEF 2. Note: Legend is also applicable for Fig. 4.

On top of the lagoonal sediments, high energy impact is represented by alternating layers of sand and gravel, slightly weathered in the uppermost part of the sequence. The seaward barrier must have been overflowed by tsunami waves at or after ~300 cal BC. There are further geomorphologic and sedimentologic findings in the area that prove multiple tsunami impact to the Lefkada coastal zone (Vött et al. 2006, 2007a, b, c, May et al. 2007). It is suggested that tsunamis had a considerable influence on the development of the inner Lefkada Sound (Vött et al. 2007d).

### Geoarchaeological aspects of the evolution of the central sound

In the central part of the sound (Fig. 3), thick packages of alluvial deposits, partly covered by (ephemerally) limnic sediments prove a former terrestrial connection of Lefkada Island with the Greek mainland up to a depth of around ~3.55-3.00 m b.s.l., where first saltwater-borne sediments occur in LEF 24 and PER 5. In both cases, we found lagoonal sediments on top of the limnic sedimentary unit.

The vibracores also show signs of high energy impact. Vibracore LEF 24 revealed a fourfold input of coarse material (mainly shell debris and sand) in the quiescent lagoonal environment, namely in depths of 2.62-2.29 m, 1.87-1.46 m, 1.36-1.30 m and 1.14-0.66 m b.s.l. In vibracore LEF 38, chaotic layers showing a mixture of clayey sandy silt, gravel, stones, ceramic fragments, marine molluscs and shell fragments as well as plant remains were encountered in 1.95-1.59 m and in 1.10-0.43 m b.s.l. They are covered by a thick anthropogenic layer with a lot of ceramic fragments. In vibracore PER 5, high energy impact is recorded in 2.08-1.91 m and 1.08-0.47 m b.s.l., represented by mostly sandy sediments containing marine gastropods and bivalves as well as shell debris and gravel. Clear erosional unconformities mark the onset of some of the described layers, which seem to result from strong water currents. The marginal parts of the lagoon are affected by siltation due to alluvial or anthropogenic deposition, locally very rich in ceramic fragments.

The  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ - and the  $\text{Fe}^{2+/3+}/\text{Na}^{+}$ -ratios of sediment samples are, among others, reliable geochemical indicators for facies changes. High concentrations of  $\text{Fe}^{2+/3+}$  indicate *in-situ* weathering or fluvial input of weathered terrestrial material, whereas high  $\text{Na}^{+}$ -contents originate from marine saltwater influence, or, in case of high evaporation, from the precipitation of NaCl (Schroll 1976, Vött et al. 2002).  $\text{Ca}^{2+}$ - and  $\text{Mg}^{2+}$ -ions derive from Ca- or Mg-rich bedrock. High  $\text{Ca}^{2+}$ -values may also indicate a high biochemical production of calcium carbonate. The  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -ratio, however, is a good indicator for sediments deposited under marine conditions (Vött et al. 2002).

Fig. 3 shows the  $\text{Fe}^{2+/3+}/\text{Na}^{+}$ - and the  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -graph for the transect across the sound via vibracores LEF 24 and PER 5. Near the base of vibracore PER 5, carbonatic (marine) sands show a high  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -ratio. Intensely weathered bedrock or phases of alluvial and (ephemerally) limnic deposition are represented by high  $\text{Fe}^{2+/3+}/\text{Na}^{+}$ -values, while phases of brackish or marine conditions are reflected by a high  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -ratio. The following lagoonal deposits as well as the high energy event layers are reflected by a high  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -ratio. The event layers, in most cases extraordinarily rich in marine shell debris, generally offer higher values than the lagoonal muds.

### Palaeoenvironmental changes in the area of the ancient harbour of Lefkada

Vibracore LEF 12 was drilled in the southwestern part of the sound, close to the area where the harbour of ancient Lefkada is presumed (Fig. 1). The encountered sediments (Fig. 4) and the related ages both of organic samples and potsherds show that the change to marine conditions took place before 2700 cal BC, first in terms of a high energetic littoral (or even tsunamigenic) and later of a more quiescent shallow marine environment. During historical times, the place, protected by the Mole of the Corinthians, offered open marine conditions and represented an ideal harbour site. Many artefacts such as pottery fragments, bones, plant remains (e.g. *Olea* sp.) or stones suggest strong human influence. The chaotic findings in the upper part of our core might also result from catastrophic events like tsunami impact (Vött et al. 2007d) or from severe torrential runoff. Finally, siltation affected the area.

Detailed microfauna analyses help to determine the sedimentary facies (Handl et al. 1999). Selected samples of vibracore LEF 12 were examined for their content of foraminifers, ostracods, molluscs, plant remains, and for sedimentary attributes as composition, rounding, grain size, and other distinctive features. A sample from 7.58-7.48 m b.s. (below surface) shows a population of (partly detrital) foraminifers, rich in species, and, to a lesser extent, ostracods in a mainly sandy sediment. This sediment is typical of a turbulent shallow marine (littoral) environment or even of tsunamigenically affected conditions (Vött et al. 2007d).

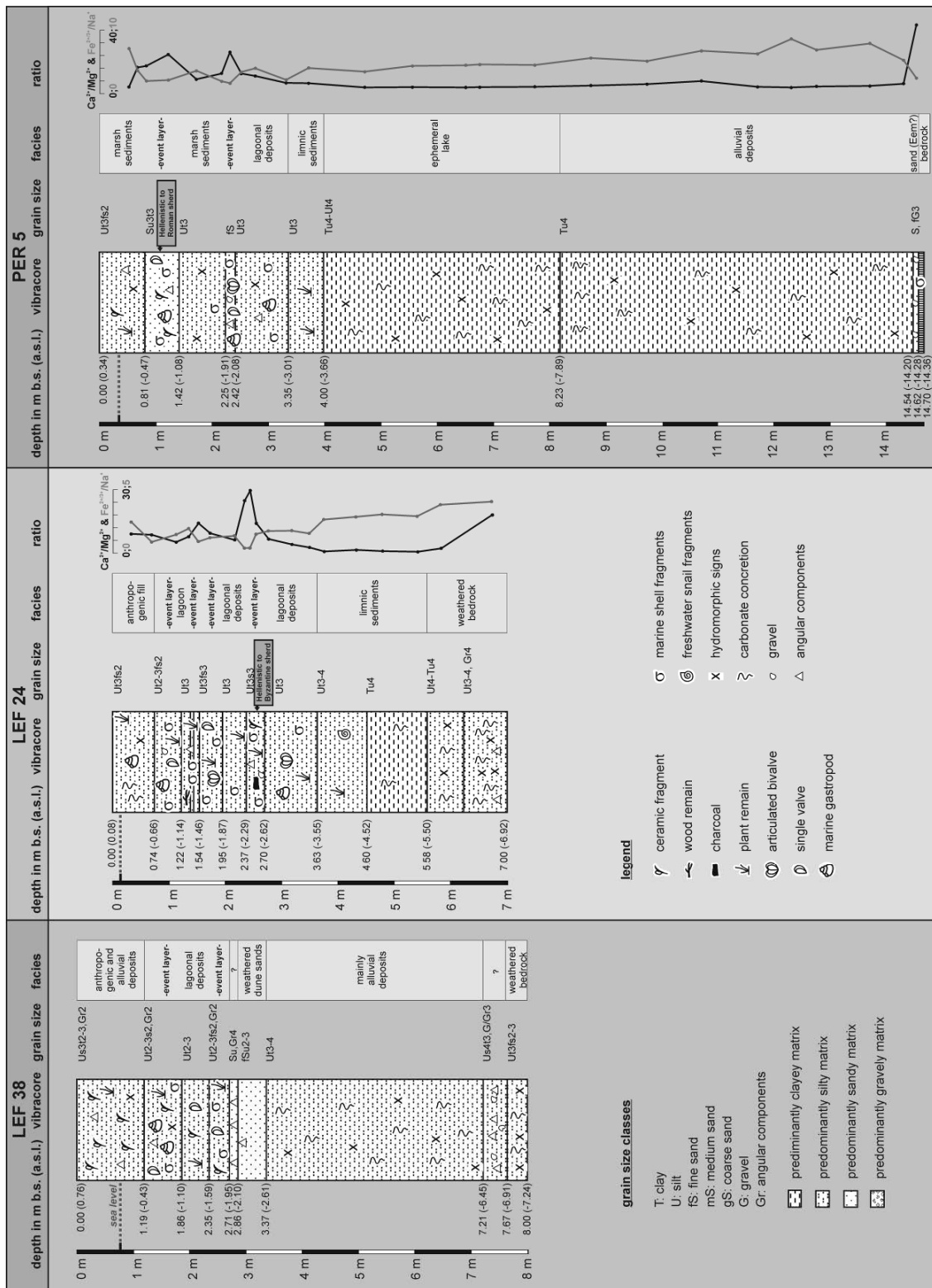


Figure 3: Vibracore transect LEF 38 – LEF 24 – PER 5 across the central sound.

A sample from 6.60-6.50 m b.s. revealed abundant seaweed remains and a moderate content of (partly detrital) foraminifers and mollusc fragments. Seaweed requires oxygen-rich, temperate turbulent water and a silty-(fine)sandy sediment, as it is found here. The relative frequency of *Ammonia beccarii* and *Elphidium crispum* indicates slight variations of salinity. Altogether, the findings point at a shallow marine setting with at least temporary surf.

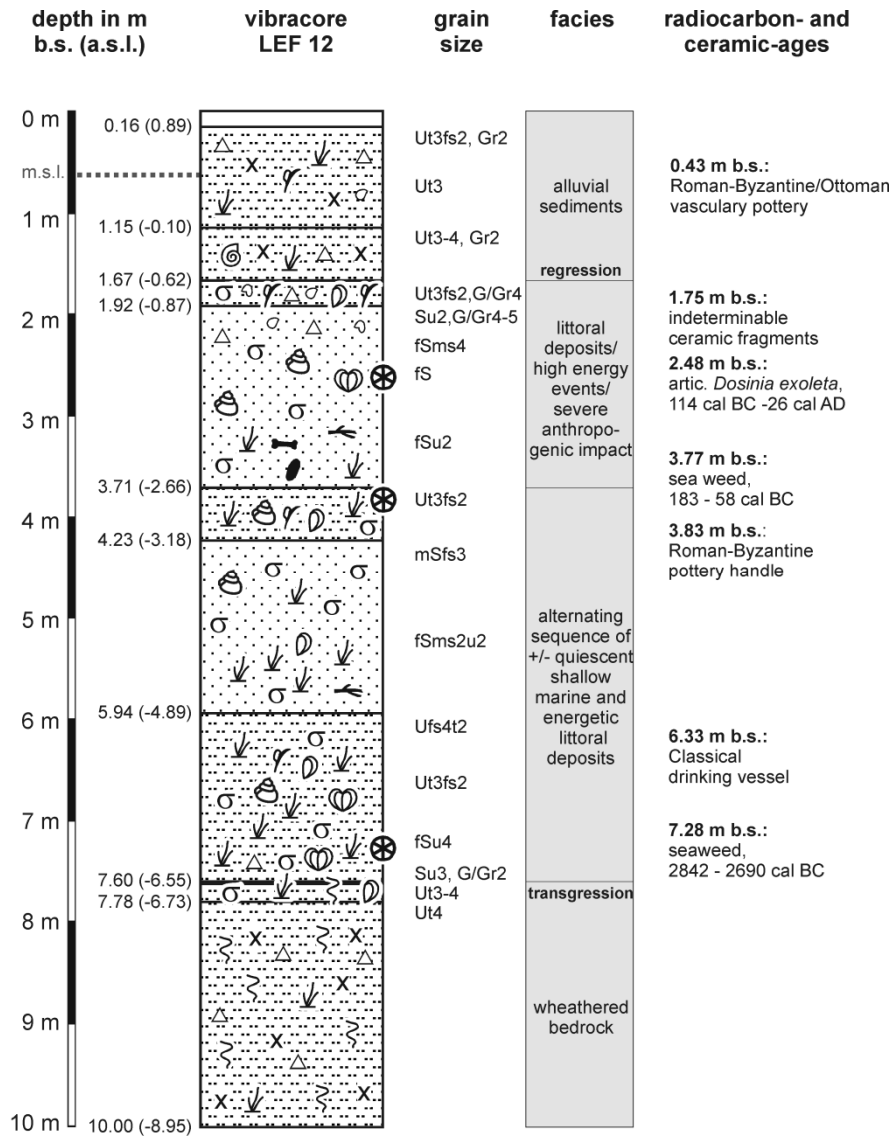


Figure 4: Stratigraphic sequence of vibracore LEF 12. Legend: See Fig. 2.

At 5.45-5.35 m b.s., a mostly sandy sediment with predominant (sub)angular grains, some organic material, sporadic marine mollusc-fragments, numerous planktonic and sessile foraminifers and divers, to some extent freshwater adapted ostracods, partly damaged, point to more or less turbulent shallow marine conditions.

A sample from 4.45-4.35 m b.s. shows a similar composition. However, the sediment, mostly medium sand, is a little bit coarser and contains less ostracod remains. What is striking, is the different degree of conservation of the microfossils – some are rounded or even broken. Besides an event-like influence, it has to be considered that a nearby river could have transported fossil microfauna remains, possibly even of pre-Quaternary age, into the sound which do not originally belong to the (sub-)recent biocoenosis.



Between 3.82 m and 3.72 m b.s., a slight change in the facies is apparent. The environment is still shallow marine, but the sediment is finer (clayey, fine sandy silt) and both abundance and biodiversity of the foraminifers and ostracods strongly decrease. The occurrence of terrestrial organic matter and of some freshwater ostracods as well as the differences in particle rounding document nearby freshwater input.

Abraded or damaged foraminifers, encountered in a sample taken from 3.65-3.55 m b.s., reflect intensive processes of relocation in a turbulent environment (Fig. 5, c-e). A similar indication is given by mollusc shell fragments, almost absent ostracods as well as the more or less rounded mostly fine sandy material (with sporadic content of silt and gravel) and an increased content of terrestrial organic matter.

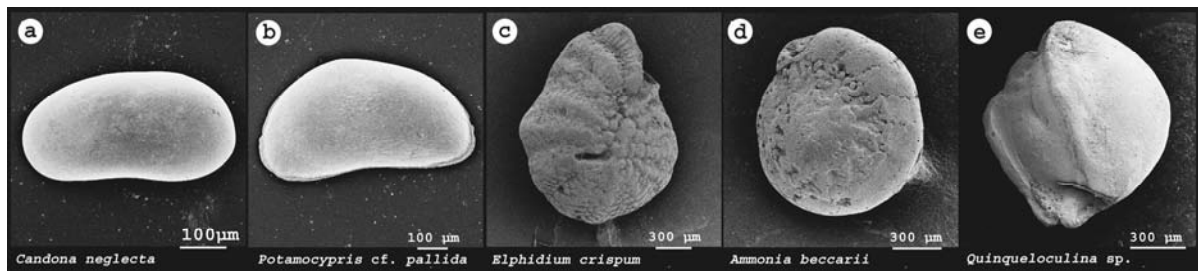


Figure 5: Scanning electron microscope photographs of selected ostracods (a-b, 2.52-2.42 m b.s.) and foraminifers (c-e, 3.65-3.55 m b.s.) from vibrocore LEF 12

Between 2.85-2.75 m b.s., well-sorted fine sand was encountered, showing different grades of abrasion. Abundant foraminifers and ostracods as well as fragments of marine molluscs document ongoing shallow marine conditions, or, at least, marine influence to the site. Moreover, numerous terrestrial plant remains as well as the sporadic occurrence of freshwater ostracods (*Candona neglecta*, *Iliocypris bradyi*, *Potamocypris cf. pallida*, Fig. 5, a-b) and stonewort-oogons from *Chara* sp. indicate temporary freshwater influence.

At 2.52-2.42 m b.s., a high biodiversity of foraminifers and ostracods indicates favourable living conditions in a littoral environment or tsunamigenic influence. The fine and medium sand grains are mostly angular-subangular. However, several limestone particles are well rounded and some pieces of gravel occur. Associated with sporadic freshwater ostracods, the latter might indicate fluvial imprint.

A sample from 1.90-1.70 m b.s. documents a severe facies change. Clayey to fine sandy silt, combined with coarse gravel, contains several fragments of marine molluscs, only few foraminifers and very few ostracods. Several ceramic fragments and shell debris are also included. The occurrence of coarse gravel is either due to anthropogenic activity or to a strong water current. Possibly, a catastrophic event like an extreme flood is responsible for the high transport energy. Intense freshwater input seems to be responsible for the replacement of the marine ostracods by freshwater species as well as for the appearance of fragments of freshwater gastropods. Strong sediment input caused a considerable progradation of the coastline. This is either due to intense alluvial deposition or due to tsunamigenic backwash.

A sample taken from 1.63-1.53 m b.s. contains clayey to silty sediment, hardly any ostracods and no foraminifers at all. Instead, it shows abundant organic matter and fragments of terrestrial snails. The marine to brackish environment is thus replaced by a fluvial-terrestrial freshwater environment due to proceeding siltation.

## 6 Discussion: Geochronology of the environmental changes and their geoarchaeological implications

In the northern part of the sound (vibracore LEF 2), open marine to littoral conditions were replaced by a lagoonal environment around 4700 cal BC (Vött et al. 2006). Furthermore, we found evidence of severe tsunamigenic impact after ~300 cal BC.

High energy impact is also visible in the upper parts of the cores of the vibracore transect which runs along the ruins of the ancient, Hellenistic to Roman bridge. Strabo (10.2.8), who lived around 64 BC-24 AD, reports that the bridge crosses a “porthmos” (= strait), which is supposed to be situated in the area of a former “isthmus” east of the ancient city of Lefkada. The same localisation of an “isthmus” is given by Thucydides (3.94.2), a contemporary witness of the period between ~460 and 395 BC. Our results confirm a relatively high position of the intense weathered bedrock, representing a former gentle topographic elevation in the central part of the sound. This sill marks the longest existing terrestrial connection between Lefkada and the Plaghia Peninsula, narrowed by the post-glacial sea level rise from both a northern and southern direction. Possibly, this isthmus was cut through by Corinthian settlers before the sea level finally reached it. The tsunamigenic impact to the northern sound at or after ~300 cal BC might be responsible for the erection of a bridge where an isthmus still existed in the Classical period.

First saltwater-borne sediments in the presented vibracores of the central transect were found at ~3.55-3.00 m below the recent mean sea level. The profiles give evidence for multiple catastrophic flooding of the sill. However, it seems as if vibracoring sites LEF 24 and PER 5 gradually got under lagoonal conditions before. At least two (four in the middle of the sound) high energy events disturbed the quiescent lagoonal conditions. In the lowermost distinct event layer in vibracore LEF 24 (2.62-2.29 m b.s.l.), a Hellenistic to Roman-Byzantine pottery fragment marks a *terminus ad* or *post quem* for the deposition of the related sediments.

In general, the event layers are documented by coarse (mostly sandy) sediments rich in shell fragments, which sometimes contain gravel or ceramic fragments. It seems plausible to parallelise some of the layers which result from strong water currents. With regard to our findings from the northern sound their tsunamigenic origin seems most probable (Vött et al. 2007d).

The area of the presumed harbour of ancient Lefkada, represented by vibracore LEF 12 in the very south of our working area, was first affected by shallow marine conditions at some time before ~2800-2700 cal BC. Subsequently, a long period of open marine conditions – combined with layers of high energy impact and/or strong anthropogenic influence – occurred, followed by a local regression due to the increased input of alluvial sediments. A clear distinction between anthropogenic and catastrophic deposits remains, however, difficult.

The most recent siltation of the formerly more extended marine or lagoonal environment, as documented in vibracores LEF 12, LEF 38 and PER 5, took place in spite of a relative rise in sea level and is probably due to human impact. Clearing and overuse at the adjacent slopes might have intensified soil erosion.

In the research area, several relative sea level indicators appear, e.g. the submerged Mole of the Corinthians, the Hellenistic-Roman bridge, now covered by sediments, drowned Venetian salt works, etc., all representing a remarkably rapid rise of the relative sea level during the Holocene due to eustatic sea level rise, intense tectonic subsidence and further triggers. At the northern coast of Lefkada Island, however, an Eemian cliff documents strong tectonic uplift. The local differences in tectonic movements, including both subsidence and uplift, have to be considered carefully throughout the interpretation.

## 7 Conclusions

Various sedimentary and archaeological archives helped to decipher the landscape evolution and the interaction between men and environment in the area of the Lefkada Sound. Different methods, combined in an interdisciplinary approach, serve to understand palaeogeographical changes.

The northern part of the sound, represented by vibracore LEF 2, revealed open marine to littoral conditions before ~4700 cal BC. Severe influence of high energy events is evident at least for the time around or after ~300 cal BC.

In the central part of the sound, our results prove a topographical elevation, probably reflecting the former “isthmus” between Lefkada Island and the Plaghia Peninsula. According to historical tradition, this “isthmus” existed until the Classical period and became a “porthmos” (strait) in Hellenistic times. Vibracores LEF 24 and PER 5, located in this area, document the initial existence of a lagoonal environment, which has then been disturbed by multiple high energy impact. While the marginal vibracores show two event-layers, the central vibracore LEF 24 reveals a fourfold impact. Here, the first event seems to have occurred in or after the Hellenistic period as indicated by an included diagnostic ceramic fragment. Against the background of evident tsunami imprint to the northern Sound of Lefkada and adjacent regions, a tsunamigenic interpretation of the encountered event layers in the inner sound seems likely.

According to our findings in vibracore LEF 12, representing the southern part of the sound, open marine conditions set in before ~2800-2700 cal BC. The later harbour situation of ancient Lefkada is reflected by the occurrence of numerous anthropogenic artefacts. Microfossil analyses indicate temporary strong freshwater input, finally resulting in the aggradation of the site after Hellenistic times. Widespread marginal siltation of the Lefkada Sound, also reflected in vibracores LEF 38 and PER 5, is probably attributed to increased soil erosion.

Several relative sea level indicators in our working area show (i) a comparatively rapid rise of the relative sea level and (ii) enormous local differences in tectonic movements.

## 8 Acknowledgements

We thank I. Fountoulis, K. Gaki-Papanastassiou, L. Kolonas, H. Maroukian, D. Papanastassiou, I. Parcharidis, K. Pavlopoulos and M. Stavropoulou for intense discussion and various support. Sincere thanks are due to O. Balyk, J.-A. Bremer, M. Budde, U. Floth, C. Günther, J. Hahn, R. Herd, I. Kaya, T. Kirkos, S. M. Klaffke, F. Lang, M. Markovic, C. M. Melisch, L. Müller, J. Pfeiffer, A. Schriever and J. F. Tolksdorf for their help during field work or in the laboratory.

Radiocarbon dating was accomplished by A. Scharf (Erlangen) and K. van der Borg (Utrecht). Microfauna analyses were carried out by M. Handl (Marburg), ceramic age determination by F. Lang (Darmstadt), earth resistivity measurements by R. Herd (Cottbus). Scanning electron microscope photographs were taken by M. Hellwig (Marburg).

Work permits were issued by the Greek Institute of Geology and Mineral Exploration (Athens). Our research is financially supported by the Gerda Henkel Stiftung (Düsseldorf, 53/P/05) and the German Research Foundation (Bonn, VO 938/2-1), which is gratefully acknowledged.

## References

- Benetatos, C., A. Kiratzi, Z. Roumelioti, G. Stavrakakis, G. Drakatos & I. Latoussakis (2005): The 14 August 2003 Lefkada Island (Greece) earthquake: Focal mechanisms of the mainshock and of the aftershock sequence. – *Journal of Seismology* 9/2, 171-190.
- Brückner, H. (2003): Delta Evolution and Culture – Aspects of Geoarchaeological Research in Miletos and Priene. – In: Wagner, G.A., E. Pernicka & H.-P. Uerpmann (eds.): *Troia and the Troad. Scientific Approaches*, 121-143.
- Dörpfeld, W. (1927): *Alt-Ithaka. Ein Beitrag zur Homer-Frage*. – 2 vol. München.
- Eros Data Center, USGS (eds.): *ASTER satellite image (2003)*.
- Galanopoulos, A. (1952): Die Seismizität der Insel Leukas. I. Allgemeine historische Übersicht. – *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 62/4, 256-263. Leipzig.
- Galanopoulos, A. (1954): Die Seismizität der Insel Leukas. II. Die Erdbeben vom 22. April und 30. Juni 1948. – *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 63/1, 1-15. Leipzig.
- Goessler, P. (1904): *Leukas - Ithaka: Die Heimat des Odysseus*. Stuttgart.
- Handl, M., N. Mostafawi & H. Brückner (1999): Ostracodenforschung als Werkzeug der Paläogeographie. In: Brückner, H. (ed.): *Dynamik, Datierung, Ökologie und Management von Küsten*. – *Marburger Geographische Schriften* 134, 116-153. Marburg.
- Haslinger, F., E. Kissling, J. Ansorge, D. Hatzfeld, E. Papadimitriou, V. Karakostas, K. Makropoulos, H.-G. Kahle & Y. Peter (1999): 3D crustal structure from local earthquake tomography around the Gulf of Arta (Ionian region, NW Greece). – *Tectonophysics* 304, 201-218.
- Hatzfeld, D., I. Kassaras, D. Panagiotopoulos, D. Amorese, K. Makropoulos, G. Karakaisis & O. Coutant (1995): Micro-seismicity and strain pattern in northwestern Greece. – *Tectonics* 14, 773-785.
- Lang, G. (1905): *Untersuchungen zur Geographie der Odyssee*. Karlsruhe.
- Lang, F., K. Freitag, P. Funke, E. Grüger, S. Jahns, L. Kolonas, P. Schwandner & A. Vött (eds.) (2007): *Interdisziplinäre Landschaftsforschung in westgriechischen Akarnanien*. – *Archäologischer Anzeiger* (in press).
- Lehman-Hartleben, K. (1923): Die antiken Hafenanlagen des Mittelmeeres. *Klio-Beiheft* 14.
- Marées, W. von (1907): *Karten von Leukas. Beiträge zur Frage Leukas-Ithaka*. – Berlin.
- May, M., A. Vött, H. Brückner & S. Brockmüller (2007): Evidence of tsunamigenic impact at the Actio headland near Preveza, NW Greece. – In: Gönnert, G., B. Pflüger & J.-A. Bremer (eds.): *Geographie der Meere und Küsten. Coastline Reports* 9. Hamburg.
- Monopolis, D. & A. Bruneton (1982): Ionian Sea (Western Greece): Its structural outline deduced from drilling and geophysical data. – *Tectonophysics* 83, 227-242.
- Murray, W.M. (1982): *The Coastal Sites of Western Akarnania: A Topographical-Historical Survey*. – PhD thesis. University of Pennsylvania.
- Murray, W.M. (1988): The ancient harbour mole at Leukas, Greece. – In: Rabner, A. (ed.): *Archaeology of coastal changes*. – *Proceedings of the first international symposium "Cities on the sea – past and present"*, Haifa, Israel, September 22-29, 1986. *British Archaeological Reports, International Series*, 404, 101-118.
- Négris, P. (1904): Véstiges antiques submergés. *Athener Mitteilungen* XXIX. 340-369.
- Parcharidis, I., M. Foumelis, E. Lekkas & M. Segou (2006): Implication of Secondary Geodynamic Phenomena on Co-seismic Interferometric Coherence. – European Space Agency, special publication "Fringe 2006", issue 610.
- Partsch, J. (1889): *Die Insel Leukas. Eine geographische Monographie*. – *Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft*, 95. Gotha.
- Partsch, J. (1907): Das Alter der Inselnatur von Leukas. – *Petermanns Geographische Mitteilung*, 53, 269-278. Gotha.
- Reimer, P.J. & F.G. McCormac (2002): Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean Seas. – *Radiocarbon* 44, 159-166.
- Schroll, E. (1976): *Analytische Geochemie, vol. 2. Grundlagen und Anwendungen*. – Stuttgart.
- Seidlitz, W. von (1927): VIII. section. Geologische Untersuchung der Inselnatur von Leukas. – In: Dörpfeld, W. (ed.): *Alt-Ithaka. Ein Beitrag zur Homer-Frage*. 2 vol. München. 352-372.
- Stuiver, M., P.J. Reimer & R. Reimer (2006): *CALIB Radiocarbon Calibration*. [<http://calib.qub.ac.uk/calib>].

- Vött, A., M. Handl & H. Brückner (2002): Rekonstruktion holozäner Umweltbedingungen in Akarnanien (Nordwestgriechenland) mittels Diskriminanzanalyse von geochemischen Daten. - *Geologica et Palaeontologica*, 36, 123-147. Marburg.
- Vött, A., M. May, H. Brückner & S. Brockmüller (2006): Sedimentary evidence of late Holocene tsunami events near Lefkada Island (NW Greece). – *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Vol. 146*, 139-172. Berlin, Stuttgart.
- Vött, A., H. Brückner, M. May, F. Lang & S. Brockmüller (2007a): Strong tsunami impact on the Bay of Aghios Nikolaos and its environs (NW Greece) during Classical-Hellenistic times. – *Quaternary International*. Amsterdam (accepted).
- Vött, A., H. Brückner, M. May, F. Lang & S. Brockmüller (2007b): Late Holocene tsunami imprint on Actio headland at the entrance of the Ambrakian Gulf. – *Méditerranée, revue géographique des pays méditerranéés*, 108, 43-57.
- Vött, A., H. Brückner, S. Brockmüller, M. May, I. Fountoulis, K. Gaki-Papanastassiou, R. Herd, F. Lang, H. Maroukian, D. Papanastassiou & D. Sakellariou (2007c): Tsunami impacts on the Lefkada coastal zone during the past millennia and their palaeogeographical implications. – In: Papadatou-Giannopoulou, H. (ed.): *Proceedings of the International Conference Honouring Wilhelm Dörpfeld, August 6-9, 2006, Lefkada* (in press).
- Vött, A., H. Brückner, S. Brockmüller, M. Handl, S.M. May, K. Gaki-Papanastassiou, R. Herd, F. Lang, H. Maroukian, O. Nelle & D. Papanastassiou (2007d): Traces of Holocene tsunamis across the Sound of Lefkada, NW Greece. – *Global and Planetary Change* (submitted).

## Address

Dipl.-Geogr. Svenja Brockmüller  
PD Dr. Andreas Vött  
Dipl.-Geogr. Simon Matthias May  
Prof. Dr. Helmut Brückner  
Faculty of Geography  
Philipps-Universität Marburg  
Deutschhausstr. 10  
D-35032 Marburg

E-mail: svenjabrockmueller@gmx.de



## **Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten: Ist der anthropogene Klimawandel bereits sichtbar?**

Jacobus Hofstede

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

### **Abstract**

In the middle of the 1970ies the rise in global temperature accelerated. Scientific consensus prevails that this acceleration was human made. For this century, a further strong increase in global temperatures is anticipated. As a consequence, thermal expansion of the upper layers of the oceans and melting of ice sheets will induce an accelerated sea level rise. IPCC (2007) projects an increase in temperature at the end of this century among 1.8 and 4.0 degrees Celsius. As a consequence, a global average sea level rise among 18 and 59 cm is expected.

The question arises, whether the accelerated temperature rise since 1975 is already visible in sea level signals. To answer this question, time series of 17 long-term gauge stations along the North Sea and the Baltic Sea were analysed. The investigation was conducted in the course of a safety check for the master plan coastal defence in Schleswig-Holstein. The results demonstrate that acceleration in sea level rise did not occur (so far). Neither could a casual relationship be established between anthropogenic climate change and the development of storm surges along the westcoast of Schleswig-Holstein. For the future, however, an accelerated sea level rise and changes in storminess should be accounted for.

### **1 Einführung**

Aufmacher wie „Küstenstädte könnten noch in diesem Jahrhundert versinken“, „Deutsche fühlen sich vom Klimawandel bedroht“ oder „Uno-Experten sagen Horror-Klima voraus“ (Spiegel-Online: 24.03.06, 05.12.06, resp. 02.02.07) machen es deutlich, das Thema Klimawandel und seine Konsequenzen hat die deutschen Medien und damit die Öffentlichkeit erreicht. Für Schleswig-Holstein, das Land zwischen den Meeren, sind in diesem Zusammenhang vor allem die künftigen Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten von besonderer Bedeutung. Zum Schutz der etwa 1.200 km langen Küstenlinie vor Erosionen und der 3.700 km<sup>2</sup> großen Küstenniederungen vor Überflutungen hat die Landesregierung von Schleswig-Holstein 2001 einen Generalplan für den Küstenschutz (MLR 2001) verabschiedet. Er enthält die Strategie für den Küstenschutz der nächsten Jahrzehnte. Im Rahmen seiner Erstellung wurde Ende der 90er Jahre eine Sicherheitsüberprüfung der 431 km Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein durchgeführt. Im Resultat waren 110 km vordringlich zu verstärken. Etwa 30 % hiervon sind inzwischen fertig gestellt. Bei der Planung der Deichverstärkungen wurde (und wird) auf der Grundlage des dritten IPCC-Berichtes zum künftigen Klima (IPCC 2001) ein Zuschlag für den Meeresspiegelanstieg von 0,5 (Nordsee und Elbe) bzw. 0,3 m (Ostsee) in der Deichbestickhöhe berücksichtigt. Mögliche künftige Änderungen in den Sturmfluthöhen wurden dagegen nicht berücksichtigt, da die diesbezüglichen Vorhersagen zur Zeit der Planerstellung zu stark variierten und wissenschaftlich nicht belastbar waren.

Inzwischen hat das IPCC einen neuen Bericht zum globalen Klimawandel publiziert (IPCC 2007), während die GKSS Geesthacht aktualisierte Vorhersagen zur künftigen Entwicklung der Sturmfluthöhen in der Nordsee und Tideelbe veröffentlicht hat (Woth et al. 2006). In seinem Bericht stellt das IPCC unter anderem fest, dass die globale Temperaturentwicklung der letzten 50 Jahre (Abb. 1) auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Um diesen neuen Erkenntnissen zu den

hydrologischen Belastungen zeitnah Rechnung zu tragen, hat die Landesregierung Schleswig-Holsteins eine Zwischenüberprüfung der Deichsicherheit in ihr Arbeitsprogramm für diese Legislaturperiode aufgenommen.

Im Rahmen dieser Überprüfung wurde auch untersucht, inwieweit der anthropogene Klimawandel bzw. Temperaturanstieg in den Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten bereits erkennbar ist. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

## 2 Entwicklung der Temperatur

Seit 1856 liegen globale Jahresmittelwerte zur Temperatur vor. In Abb. 1 ist die Entwicklung dargestellt. Klar erkennbar ist ein zyklischer Anstieg der Temperaturen. Perioden mit verstärktem Anstieg wechseln sich mit solchen leichten Temperaturrückganges ab. Besonders deutlich wird dies durch die ebenfalls dargestellten linearen Regressionen. Der anthropogene Anstieg seit Mitte der siebziger Jahre ist somit zwar der Stärkste, jedoch nicht der Erste seit Beginn der Aufzeichnungen. Die (nicht anthropogene) Anstiegsphase zwischen 1907 und 1944 ist zumindest zum Teil auf ansteigende Vulkanaktivitäten zurück zu führen. Würde die zyklische Entwicklung sich fortsetzen, wäre zwischen 2010 und 2015 mit dem nächsten Trendwechsel bzw. mit einem Abschwächen des Anstieges zu rechnen.

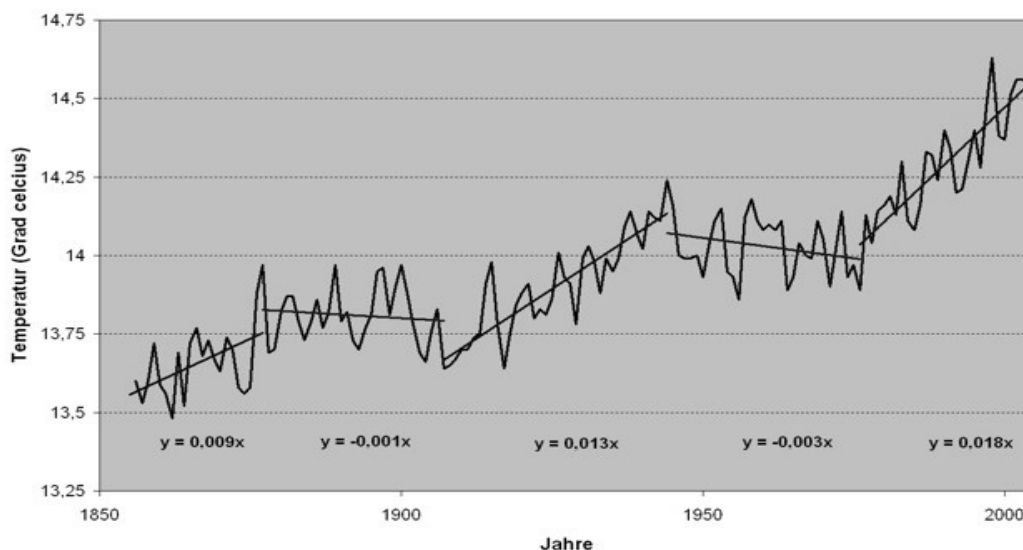


Abb. 1: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur seit 1856 mit linearen Regressionen für unterschiedliche Zeiträume

## 3 Entwicklung des mittleren Meeresspiegels

Der Untersuchung zu Grunde gelegt werden sollte ein möglichst langfristiges und überregionales Bild der Meeresspiegelentwicklung an möglichst vielen Pegeln. Damit wird verhindert, dass lokale und/oder zeitlich befristete Anomalien die Ergebnisse verfälschen. Es wurden die Jahreshauptwerte von insgesamt 18 deutschen und niederländischen Pegeln ermittelt und analysiert (Abb. 2). 13 dieser Pegel registrieren seit mindestens 75 Jahren Wasserstände, 5 Langzeitpegel seit mindestens 150 Jahren. Die Pegelstandorte lassen sich in vier Regionen aufteilen:

1. Ostseeküste Schleswig-Holstein,
2. Westküste Schleswig-Holstein (einschl. Elbe),
3. Wattenmeerküste der Niederlande und
4. Holländische Küste.

Für alle Pegel wurden die jährlichen Mittelwasserstände (Ostsee) bzw. Tidehalbwasserstände (Nordsee) bis 2005 ermittelt und in MS-EXCEL eingegeben. Diese Wasserstandskennwerte kennzeichnen in etwa den mittleren Meeresspiegel. Mit dem Tabellenkalkulationsprogramm wurden die Daten einer Trendanalyse unterzogen.

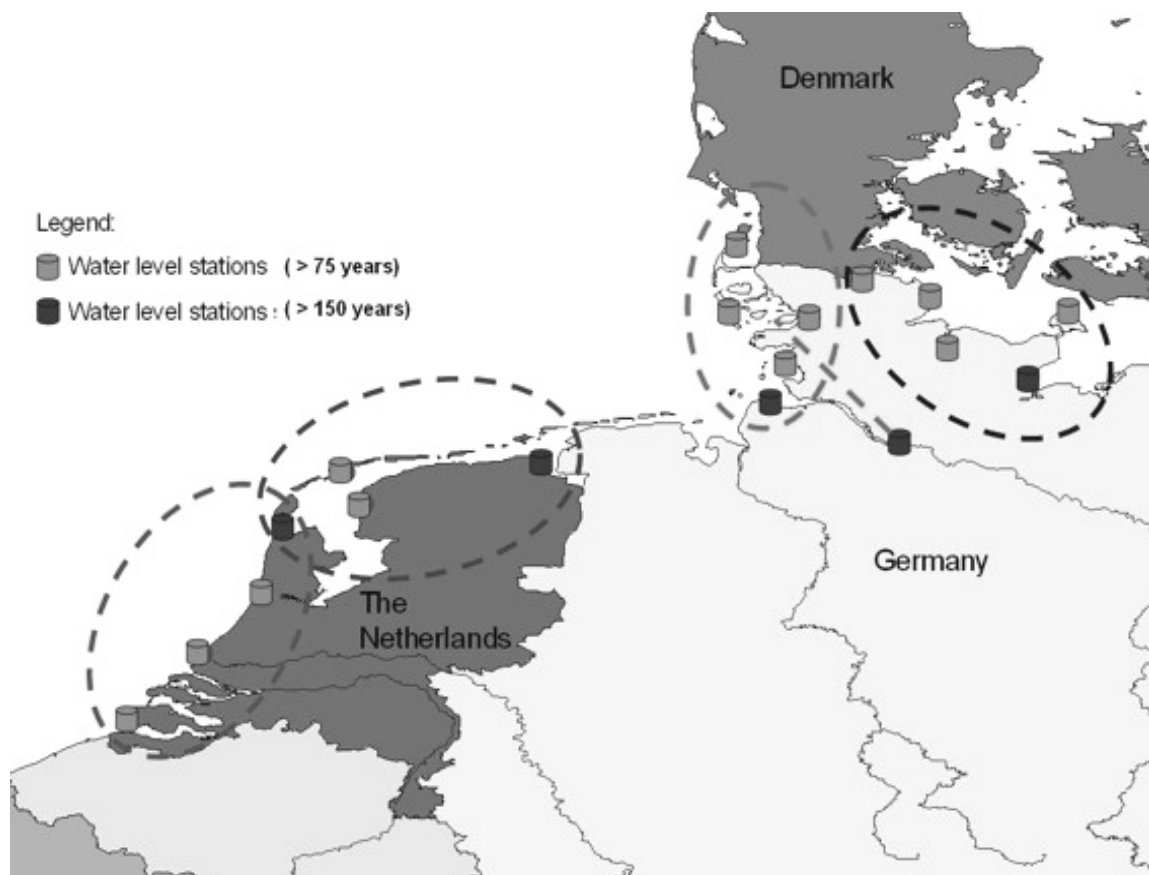


Abb. 2: Übersichtskarte mit den benutzten Langzeitpegeln

Es stellte sich heraus, dass der Langzeitpegel Hamburg St. Pauli eine stark von den übrigen Pegeln abweichende Entwicklung des mittleren Meeresspiegels aufweist. Die negative Entwicklung – es wurde ein linearer Trend von  $-0,26 \text{ cm/J}$  ermittelt – hängt kausal mit den künstlichen Eingriffen in der Unterelbe zusammen. Zu nennen sind insbesondere die Elbvertiefungen und die Abdämmungen der Nebenflüsse, die zu überproportionalen Absenkungen der Tideniedrigwasserstände geführt haben. Der Pegel Hamburg St. Pauli wurde daher für die weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Beispielhaft dargestellt in Abb. 3 ist die Meeresspiegelentwicklung für die fünf untersuchten Pegel der Ostküste von Schleswig-Holstein seit 1925. An den Pegeln sind geringfügige Unterschiede in den jährlichen Wasserständen und deren Entwicklungen erkennbar. Perioden mit größeren Unterschieden, zum Beispiel in den 70er Jahren, wechseln sich mit Phasen mit nur geringen Abweichungen wie zu Anfang der 50er Jahre ab. Diese Varianz hängt sicherlich mit lokalen Faktoren, zum Beispiel der Exposition zur vorherrschenden Windrichtung, zusammen. Klar erkennbar ist ein gemeinsamer positiver Trend im mittleren Meeresspiegel.

In Abb. 4 ist die Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1900 für die vier untersuchten Regionen (Abb. 2) dargestellt. Hierzu wurde aus den Jahreswerten aller Pegel einer Region der Mittelwert gebildet. Für eine klare graphische Darstellung wurden den Regionen jeweils unterschiedliche Nullhorizonte zugeordnet. Zusätzlich sind die durch die Jahresmittelwerte errechneten linearen Regressionen abgebildet. Mit Ausnahme des schleswig-holsteinischen



Wattenmeeres ( $R^2 = 0,37$ ) zeigen alle Kurven einen signifikanten linearen Trend ( $R^2 = 0,63$  bis  $0,82$ ). Der errechnete Trend schwankt zwischen  $0,13$  cm/J für die schleswig-holsteinische Ostküste und  $0,22$  cm/J für die holländische Küste. Auffällig sind die stark herabgesetzten Mittelwerte der Jahrgänge 1947 und 1996. Diese Jahre wurden durch stabile Hochdrucksysteme über Skandinavien mit vorherrschenden Ostwinden gekennzeichnet. Beides, hoher Luftdruck und Ostwinde, führen zu abgesenkten Wasserständen. Im Winter 1995/1996 war die Ostsee zum letzten Mal großflächig zugefroren.

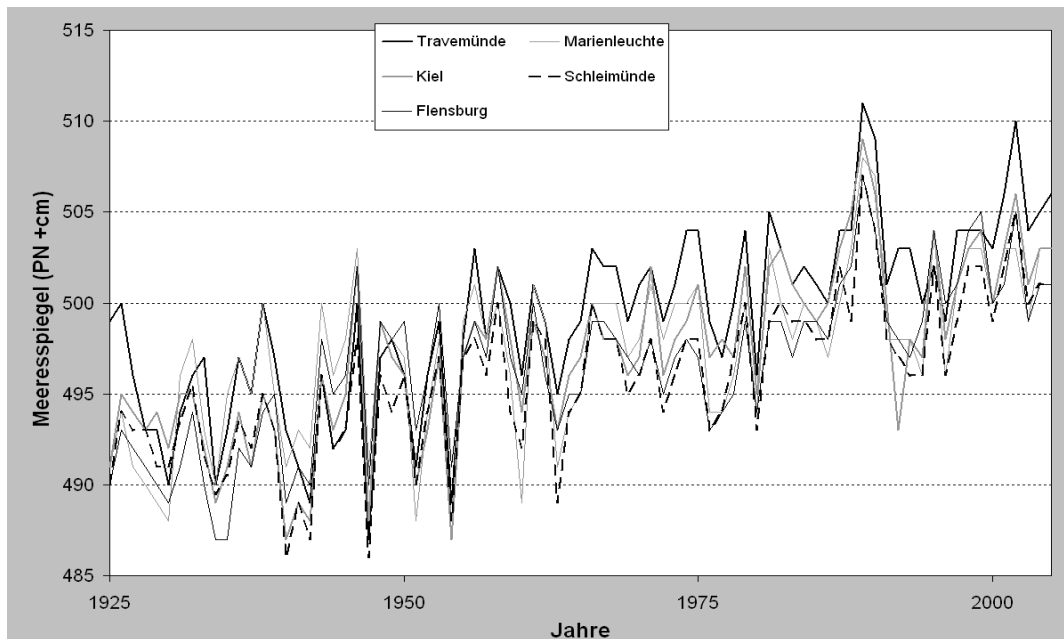


Abb. 3: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1925 an fünf deutschen Ostseepegeln

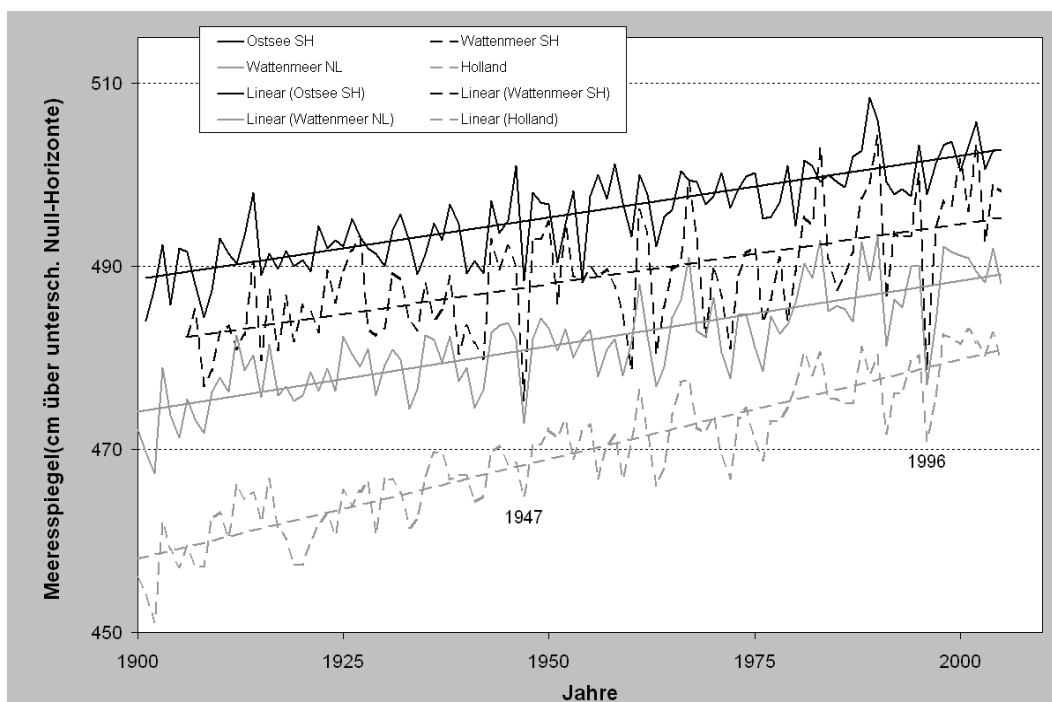


Abb. 4: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1900 in den vier Regionen (Abb. 2) mit den jeweiligen linearen Regressionen

Abb. 5 zeigt die Meeresspiegelentwicklung an den vier Langzeitpegeln Travemünde, Cuxhaven, Delfzijl und Den Helder seit 1850 sowie die über die vier Pegel gemittelte Entwicklung. Auch hier wurden unterschiedliche Nullhorizonte gewählt. Die zusätzlich dargestellte polynomische Funktion durch die Mittelwerte zeigt auf, dass sich der mittlere Meeresspiegel zwischen 1850 und etwa 1885 kaum änderte. Die Aussage, wonach der Meeresspiegel sich seit mehreren Jahrhunderten kontinuierlich anhebt, lässt sich nicht halten (siehe hierzu auch Hofstede 1991). Erst einige Jahrzehnte nach Ende der sog. „Kleinen Eiszeit“ in Europa fing der Meeresspiegel an, erneut zu steigen. Seitdem erhöht er sich an den vier Langzeitpegeln um durchschnittlich 0,17 cm pro Jahr.

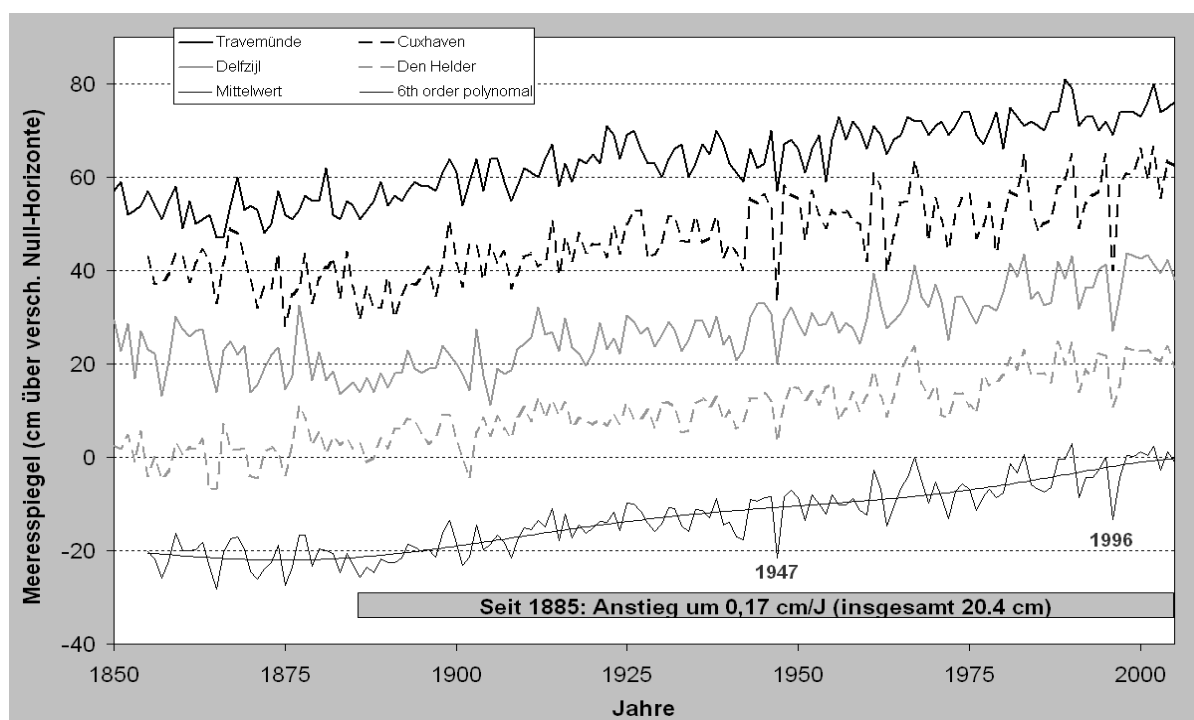


Abb. 5: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1850 an vier Langzeitpegeln sowie deren Mittelwert

#### 4 Entwicklung der Sturmfluten

Entgegen der Meeresspiegelentwicklung zeigen die Sturmfluten eine regional stark unterschiedliche Entwicklung. Während der Meeresspiegel in erster Linie durch den globalen Temperaturanstieg gesteuert wird, wird die Entwicklung der Sturmfluten von vielen regional unterschiedlich wirksamen Faktoren geprägt. Im Hinblick auf die Aufgabenstellung (Zwischenüberprüfung der Deichsicherheit in Schleswig-Holstein) wurden daher nur Pegel aus Schleswig-Holstein analysiert.

Die jährliche Verweildauer von Sturmwasserständen an einer Pegelstation stellt einen guten Indikator für die lokale Sturmflutintensität dar. In Abb. 6 ist die jährliche Verweildauer von Sturmwasserständen (höher als 2 m über Normal Null) am Pegel List auf Sylt seit 1900 dargestellt. Auffällig sind die großen Schwankungen in den Jahreswerten, die mit den auslösenden meteorologischen Prozessen zusammenhängen. Trotz dieser jährlichen Schwankungen zeigt die eingezeichnete polynomische Annäherungsfunktion auf, dass die Sturmflutintensität an der Westküste von Schleswig-Holstein von etwa 1910/20 bis um 1990 zunahm. Danach deutet sich eine Beruhigungsphase an, die allerdings im Hinblick auf eine statistische Signifikanz noch zu kurz ist. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass nicht für den säkularen Meeresspiegelanstieg korrigiert wurde. Eine solche Korrektur würde zu leicht verringerten Anstiegstendenzen führen.

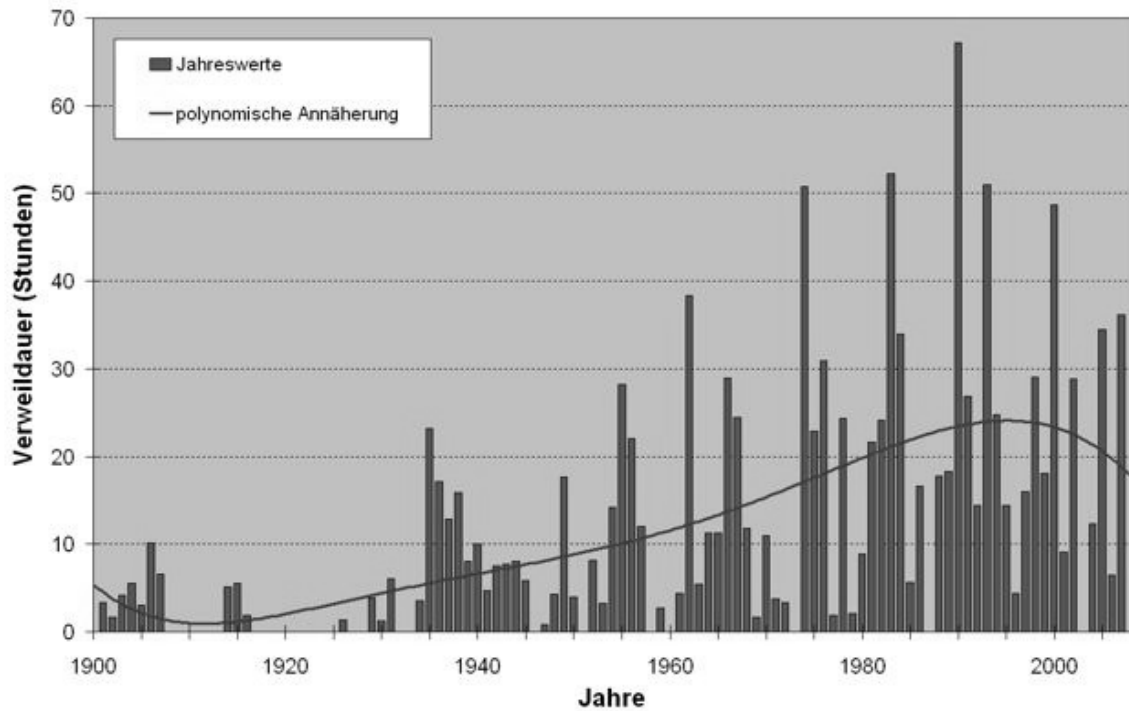


Abb. 6: Entwicklung der jährlichen Verweildauer von Sturmwasserständen (> NN +2 m) am Pegel List seit 1900

Eine begrenzt ähnliche Entwicklung zeigen die in Abb. 7 dargestellten Jahreshöchstwasserstände am Pegel Husum seit 1868 – als weiterer Indikator für die Sturmflutintensität – auf.

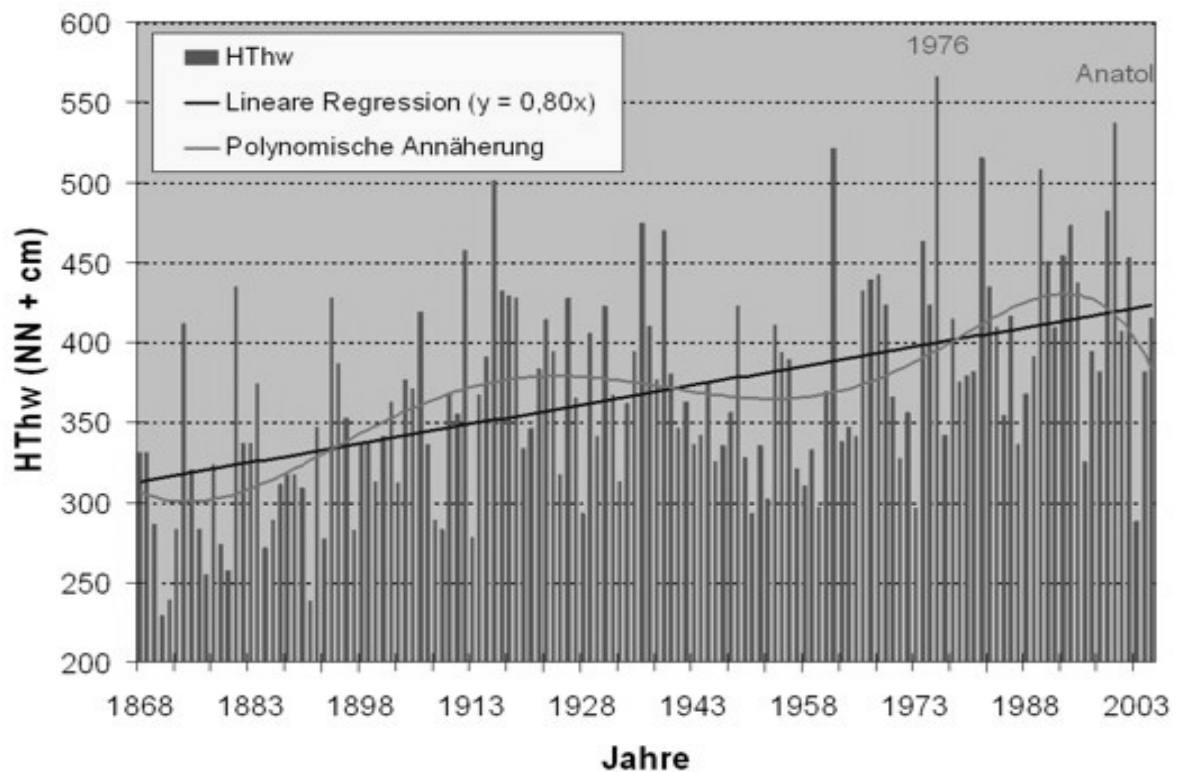


Abb. 7: Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände am Pegel Husum seit 1868

Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, unterliegen die Jahreshöchstwasserstände in Husum seit Anfang der Aufzeichnungen im Jahre 1868 einem stark ansteigenden Trend. Um die Entwicklung der Sturmflutintensität nachzuzeigen, müsste dieser Trend um den säkularen Meeresspiegelanstieg reduziert werden. Dem mit der linearen Regression dargestellten Trend aufgesetzt ist eine durch die polynomische Annäherungsfunktion angedeutete zyklische Entwicklung mit einem letzten Maximum um 1990. Auch dieser Indikator weist also ab Anfang der neunziger Jahre auf eine Beruhigung der Sturmflutintensität an der Westküste von Schleswig-Holstein hin.

Naturgemäß nicht vergleichbar mit der Entwicklung an der Westküste ist die Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände an der Ostküste von Schleswig-Holstein, wie beispielhaft in Abb. 8 für Pegel Travemünde seit 1826 dargestellt. Hier wird das Signal vom singulären Hochwasserereignis im Jahre 1872 dominiert. Der generelle leichte Anstieg in den Jahreswerten erklärt sich mit dem säkularen Meeresspiegelanstieg seit etwa 1885 (Abb. 5). Insgesamt ist über den gesamten Zeitraum kein signifikanter Trend erkennbar.

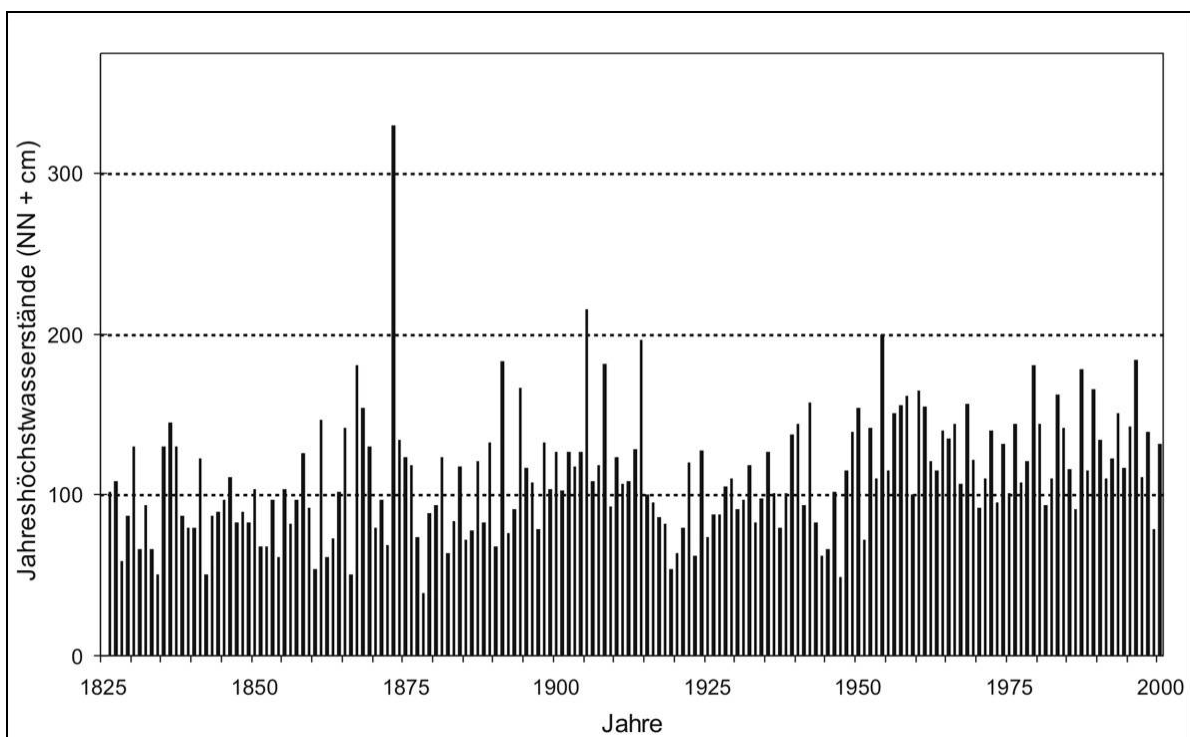


Abb. 8: Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde seit 1826

## 5 Diskussion

Seit etwa 1885 unterliegt der Meeresspiegel an den untersuchten Pegeln einem linearen Trend. Aus den Abb. 4 und 5 geht klar hervor, dass sich dieser Trend in den letzten Jahrzehnten bzw. Jahren nicht geändert hat. Es ist somit (noch) keine Reaktion im Meeresspiegelsignal auf den seit Mitte der siebziger Jahre beobachteten anthropogenen Temperaturanstieg (Abb. 1) erkennbar. In dieser Hinsicht ist es interessant, dass auch der zyklische Temperaturanstieg zwischen etwa 1907 und 1944 nicht zu einem Trendwechsel im Meeresspiegelsignal geführt hat. Es gibt scheinbar Rückkoppelungsmechanismen die dazu führen, dass der zyklische Temperaturanstieg sich in einem linearen Meeresspiegelanstieg bemerkbar macht.

Rahmstorf et al. (2007) hat nach Auswertung von Satelliten- und Pegelmessungen des globalen Meeresspiegels auf eine deutliche Beschleunigung der Anstiegsraten seit 1993 hingewiesen. Er sieht dies als Hinweis dafür, dass die oberen Vorhersagewerte des IPCC (2007) mit 60 cm bis 2100 eher

noch als zu niedrig eingestuft werden müssen. Allerdings weist er darauf hin, dass die Stichprobe von 13 Jahren (1993 – 2005) eigentlich für Extrapolationen über längere Zeiträume (ein Jahrhundert) zu kurz ist.

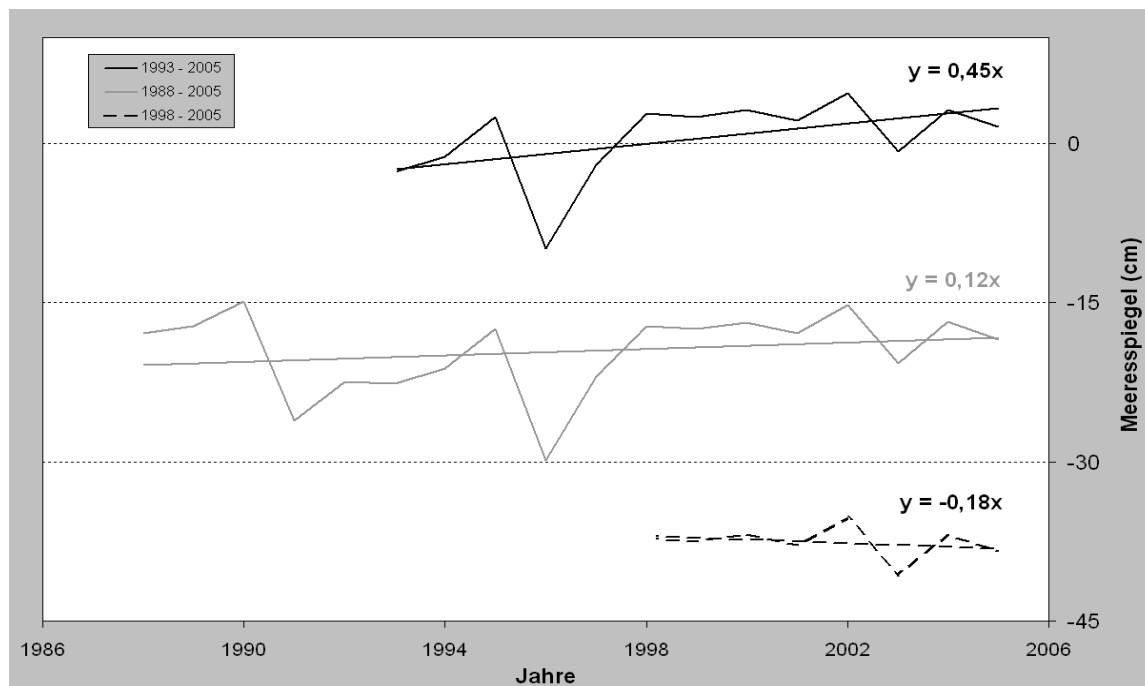


Abb. 9: Mittlere Meeresspiegelentwicklung (17 Pegel aus Abb. 2) für unterschiedliche Zeiträume

Die Abb. 9 mag dies verdeutlichen. Dargestellt ist die über den 17 Pegeln gemittelte Entwicklung des mittleren Meeresspiegels für drei Zeiträume: 1993 bis 2005, 1988 bis 2005, und 1998 bis 2005. Demnach stieg der Meeresspiegel für den Zeitraum 1993 bis 2005 im Schnitt um 0,45 cm pro Jahr an. Allerdings verringert sich der mittlere Anstiegswert auf nur noch 0,12 cm pro Jahr, wenn die 18-jährige Stichprobe (1988 – 2005) zugrunde gelegt wird. Nimmt man den kürzesten Zeitraum, erhält man sogar einen negativen Trend von -0,18 cm pro Jahr. Dies zeigt die übergeordnete Bedeutung von möglichst langen Zeitreihen für statistische Analysen und Prognosen auf.

Der Korrelationskoeffizient zwischen Temperatur- und Meeresspiegelanstieg seit 1855 (Abb. 2 und 5) beträgt 0,81 und ist somit relevant. Beide Parameter unterliegen einem ansteigenden Trend. Während die Temperatur jedoch eher zyklisch ansteigt, verläuft die Meeresspiegelentwicklung an den untersuchten Pegeln bis heute linear. Wie für den Zeitraum 1907 – 1944 (siehe oben) hat sich der anthropogene Faktor im Klimasignal (1955 bis heute gemäß IPCC 2007) noch nicht im hydrologischen Signal bemerkbar gemacht. Möglicherweise hängt dies mit der Trägheit der Ozeane und Landeiskappen zusammen, weshalb sich der anthropogene Teil des Temperaturanstieges erst mit großer Verzögerung im Meeresspiegelsignal zeigt. Entsprechend setzte der moderne Meeresspiegelanstieg um 1885 erst einige Jahrzehnte nach Ende der sog. Kleinen Eiszeit“ ein.

Eine Gegenüberstellung der Temperatur- und Sturmflutentwicklung an den deutschen Küsten macht klar, dass es bisher keinen direkten Zusammenhang zwischen beiden Parametern gibt. An keinem der untersuchten Pegel (Abb. 6 bis 8) konnte ein Trendwechsel zu Anfang der anthropogenen Beeinflussung um die Mitte der fünfziger Jahre festgestellt werden. Die in den Medien (und von manchen Wissenschaftlern) nach jeder schweren Sturmflut gerne suggerierte Korrelation zwischen anthropogenem Klimawandel und Zunahme der Sturmfluten ist somit in den Daten bisher nicht nachweisbar bzw. wird durch diese widerlegt. In diesem Zusammenhang sei darauf hinzuweisen, dass der Meeresspiegelanstieg automatisch zu höheren Sturmfluten führt, da deren Ausgangshöhe zunimmt.

## Schlussbemerkungen

Für die Zukunft steht fest, dass sich der anthropogene Klimawandel auch in den Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten erkennbar machen wird. Wie in der Einführung erwähnt, haben Woth et al. (2006) anhand von Modellstudien Aussagen zu künftig möglichen Sturmfluthöhen an den Küsten der Nordsee für verschiedene Szenarien des menschlichen Handelns gemacht. Demnach könnten die Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste gegen Ende dieses Jahrhunderts 20 bis 40 cm höher auflaufen als heute. Die höchsten Werte wurden entlang der Westküste von Schleswig-Holstein errechnet. Für die deutsche Ostseeküste liegen leider noch keine vergleichbaren Studien vor. Das IPCC (2007) rechnet für dieses Jahrhundert mit einem global gemittelten Meeresspiegelanstieg zwischen 18 und 59 cm. Unsicherheitsfaktoren sind die Eiskappen auf Grönland und in der Antarktis. Würde die Eiskappe Grönlands schneller schmelzen als bisher vermutet, könnte der globale mittlere Meeresspiegel in diesem Jahrhundert um bis zu 20 cm zusätzlich ansteigen. Vermehrter Schneefall über der Antarktis kann zu einer Reduzierung des globalen Meeresspiegelanstieges führen. Einen Wert für diesen Faktor gibt das IPCC nicht. Des Weiteren können Faktoren wie geänderte Meeresströmungen zu regionalen Abweichungen von den globalen Mittelwerten führen. Schließlich muss in Schleswig-Holstein noch mit Landsenkungen in der Größenordnung von 0 bis maximal 10 cm pro Jahrhundert gerechnet werden.

Hinsichtlich des Küstenschutzes ist die Situation ernst und sollte nicht unterbewertet werden. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig erhöhten Belastungen ausgesetzt sein. Auf der Basis der neuesten IPCC-Werte ist eine Anpassung der heutigen Strategie für den Küstenhochwasserschutz in Schleswig-Holstein jedoch nicht erforderlich. Der im Generalplan Küstenschutz festgelegte „Klimazuschlag“ von 50 cm (Nordsee und Elbe) bzw. 30 cm (Ostsee) bei der Bemessung der Deichverstärkungen an der Nordsee und in der Elbe bestätigt sich nunmehr als vorausschauende Maßnahme. Die vorgesehenen regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen auf Basis neuester Erkenntnisse und mit modernsten Verfahren gewährleisten darüber hinaus ein zeitnahes und flexibles Reagieren auf künftige Entwicklungen. Es ist somit möglich, den Schutz der Küsten auch langfristig auf dem heutigen Niveau zu gewährleisten. Wir müssen uns aber mittelfristig auf zunehmende Anstrengungen einstellen. Für die Küstensicherung (Schutz vor Landabbruch) ist eine differenzierte Betrachtung nötig, da der Abbruch insbesondere von der jährlichen Meeresspiegelanstiegsrate sowie einer möglichen Änderung der Sturmflutintensität (Häufigkeit und Stärke) abhängt. Grundsätzlich nimmt der Küstenabbruch mit erhöhten Anstiegsraten zu. Ab wann der Meeresspiegel verstärkt ansteigen wird, kann nicht vorhergesagt werden – derzeit ist keine Beschleunigung feststellbar. Es ist jedoch zu bedenken, dass eine Meeresspiegelanstiegsrate von 0,3 bzw. 0,5 cm pro Jahr bereits eine Verdoppelung bzw. Verdreifachung der heutigen Rate darstellt. In der Konsequenz muss spätestens in einigen Jahrzehnten mit verstärktem Küstenabbruch gerechnet werden – dann auch an Stellen, die heute stabil sind. Hinsichtlich dieser Herausforderung ist es wichtig, rechtzeitig Überlegungen über mögliche Anpassungsstrategien anzustellen. Hinsichtlich des flächenhaften Küstenschutzes (Sicherung der Stabilität des Wattenmeeres) wird schließlich auf die Ergebnisse einer trilateralen Expertengruppe hingewiesen (CPSL 2001), wonach ein Meeresspiegelanstieg von bis zu 0,5 cm pro Jahr mittels Sedimentumlagerungen noch ausgeglichen werden kann. Durch Erosionen in den tieferen Rinnen und an der Außenküste würde ausreichend Material zur Verfügung stehen, um die Wattflächen zu erhöhen. Erst bei noch stärkeren Meeresspiegelanstiegsraten würden die Wattflächen signifikant abnehmen bzw. würde eine Entwicklung in Richtung Küstenlagunen einsetzen. Die Folge wären verstärkte Wellenangriffe an den Landesschutzdeichen. In Anbetracht dieses Fazits behält die Schlussbemerkung des Generalplanes Küstenschutz (MLR 2001): „Der Küstenschutz wird somit niemals enden“, nach wie vor seine Gültigkeit.

## Literatur

- CPSL (2001): Final report of the trilateral working group on coastal protection and sea level rise. Wadden Sea Ecosystem, 13, 63 p.
- Hofstede, J.L.A. (1991): Sea level rise in the Inner German Bight (Germany) since AD 600 and it's implications upon tidal flats geomorphology. In: Brückner H. & U. Radke (eds.): From the North Sea to the Indian Ocean. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, pp. 11-27.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001, the scientific basis - summary for policy makers. <http://www.ipcc.ch>, 18 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007, the physical science basis - summary for policy makers. <http://www.ipcc.ch>, 21 p.
- MLR (Ministerium für ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Hrsg.) (2001): Generalplan Küstenschutz – integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein. Landesregierung Schleswig-Holstein, Kiel: 76 S.
- Rahmstorf, S., A. Cazenave, J.A. Church, J.E. Hansen, R.F. Keeling, D.E. Parker & R.C.J. Somerville (2007): Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709.
- Woth, K., R. Weisse & H. von Storch (2006): Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dynamics* 56, 3-15.

## Adresse

Dr. Jacobus Hofstede  
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein  
Postfach 50 09  
24062 Kiel

[jacobus.hofstede@mlur.landsh.de](mailto:jacobus.hofstede@mlur.landsh.de)



## Veränderungen der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands von 1777 bis 2002

Börge Pflüger

Institut für Geographie, Universität Hamburg

### Abstract

A long time series of ice charts of the south cape of Greenland is made from historical shipjournals, archived and published charts as a work of several years. It starts in 1777 and ends in 2002. The Cape Farvel ice index (KFI) is determined from the ice condition in June and July. It delivers an overview of the ice condition during the past. A running mean shows the trends. Comparing with other time series of the arctic, clear similarities can be seen, so it is justified to state a clear decrease of ice in the northern hemisphere. Most of the decrease is settled in the first three decades. There is a clear maximum of ice at the turns of the 19th and 20th centuries. In the period between glaciation is weaker. There is another decrease of sea-ice in the second half of the 20th century which is stronger than the decrease of the 19th century.

### 1 Einleitung

Die Klimakatastrophe kommt – diesen Eindruck erwecken die Medien gerne, unabhängig davon, ob eine Jahreszeit zu warm, zu kalt, zu nass oder zu trocken ist. Naturkatastrophen werden als Folge menschlichen Einflusses auf die Atmosphäre oder mindestens als Vorschau für den Normalzustand in der Zukunft herausgestellt.

Doch trotz langjähriger Forschung stellt sich immer noch die Frage, wieviel wir wirklich vom Klima und seiner Veränderlichkeit wissen. Aufwändige Klimamodelle geben Prognosen für die Zukunft und beschreiben Prozesse der Gegenwart. Die Aufgabe der Geowissenschaften ist es dabei, neben den Zukunftsprognosen auch einen Rückblick in die Vergangenheit zu liefern und frühere Klimaprozesse zuverlässig zu beschreiben. Die Vergangenheit ist gerade im Bereich der Klimaforschung der Schlüssel zur Zukunft. Sind die Veränderungen tatsächlich Ausdruck eines klimatischen Trends oder nehmen wir die Veränderung vielleicht nur verstärkt wahr? Welcher Teil der Veränderung lässt sich mit normalen Klimaschwankungen erklären, die natürlicherweise stets vorkommen, und welcher Teil spricht für einen anthropogenen Einfluss? Bilden die komplexen Klimamodelle die Wirklichkeit realistisch ab (vgl. Glaser 2001)?

Für die Polargebiete sagen die meisten Klimamodelle eine besonders signifikante Erwärmung voraus (z.B. Rahmstorf & Ganopolski 1999). Problematisch ist dabei die Tatsache, dass die klimatischen Kenntnisse in der Arktis und Antarktis besonders dürftig sind. Klimadaten liegen nur von wenigen Stationen über einen langen Zeitraum vor. Viele Bereiche der Polargebiete waren sehr lange weiße Flecken auf der Landkarte und noch viel mehr weiße Flecken auf einer Klimadatenkarte. Wenn synoptische Daten fehlen, greift die Paläoklimatologie, zu der auch die Klimageschichte gemeinhin gerechnet wird, auf sogenannte Proxydaten zurück – natürliche Gegebenheiten, die mehr oder weniger direkt mit Wetter, Witterung oder Klima in Verbindung stehen.

Zu den Proxydaten gehört die Stärke der Vereisungsverhältnisse. Hier kann man nur in den dicht besiedelten Mittelbreiten auf Beobachtungen vom Land zurückgreifen. In der Arktis fehlen diese weitgehend, wenn man von Island absieht, wo Eisbeobachtungen bis in das Jahr 1000 n. Chr. zurückzuführen sind (Koch 1945, Berthórsson 1969, Ogilvie 1984).



Die in dieser Arbeit vorgestellte Zeitreihe beschäftigt sich mit dem Eis an der Südspitze Grönlands. Aus historischen Manuskripten, handgezeichneten und publizierten Karten konnte eine 226jährige Zeitreihe mit nur wenigen Lücken erstellt werden. Diese reicht weit in den vorsynoptischen Bereich hinein und liefert klimarelevante Informationen auch über den Eistransport durch die Framstraße. Des Weiteren soll hier ein Überblick über die Besonderheiten des Eises an der Südspitze Grönlands gegeben werden.

Die Methodik der Rekonstruktion von Eisdaten aus historischen Schiffslogbüchern wurde bereits in den Artikeln Pflüger (2001) und Pflüger (2001a) ausführlich dargestellt. Daher wird an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick gegeben. Die Zusammenführung der verschiedenen Quellen zu einer langen Zeitreihe und das Ergebnis der Forschung ist Gegenstand dieses Artikels.

## **2 Das Eis an der Südspitze Grönlands**

Das Meereis wurde dort nur zu einem sehr kleinem Teil autochthon gebildet. Der weit größere Anteil ist Drifteis des Ostgrönlandstroms. Dieser entstammt als Driftstrom dem Nordpolarmeer, das er durch die Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen verlässt.

Über die Eisdrift im Norpolarmeer gewann man die ersten Erkenntnisse durch den Verlust von Schiffen im Eis, deren Trümmer teilweise Jahre später an der Südwestküste Grönlands wieder gefunden wurden (Herrmann 1949). Die berühmte Forschungsdrift von Fridtjof Nansen mit der „Fram“ 1893-1896 im Transpolaren Driftstrom erbrachte weitere Erkenntnisse. Es folgten weitere Schiffsdriften und das Aussetzen russischer Eisdriftstationen. Flächendeckende Eisbojen verdichtete die Erkenntnis der Eisdrift bis zu ihrem heute bekannten Bild. Man stellte zwei Hauptströme der Eisdrift im Arktischen Ozean fest, den Beaufort-Wirbel und die Transpolardrift (vgl. IABP 2000).

Der Beaufort-Wirbel, früher auch als Pazifischer Wirbel bezeichnet, dreht sich in der Beaufortsee im Uhrzeigersinn und benötigt im Durchschnitt 5 Jahre für eine Umdrehung, wobei die effektive Umlaufzeit vom Radius der Bahn abhängt: außen etwa 9-10 Jahre, im Inneren etwa 3-4 Jahre. Die Transpolardrift transportiert das an der sibirischen Küste gebildete Eis durchschnittlich innerhalb von drei Jahren an Spitzbergen vorbei durch Framstraße und Barentssee in die Grönlandsee. Von dort wird das Eis weiter bis zur Südspitze Grönlands und teilweise auch darum herum in die Davisstraße hinein verfrachtet (Thorndike 1986).

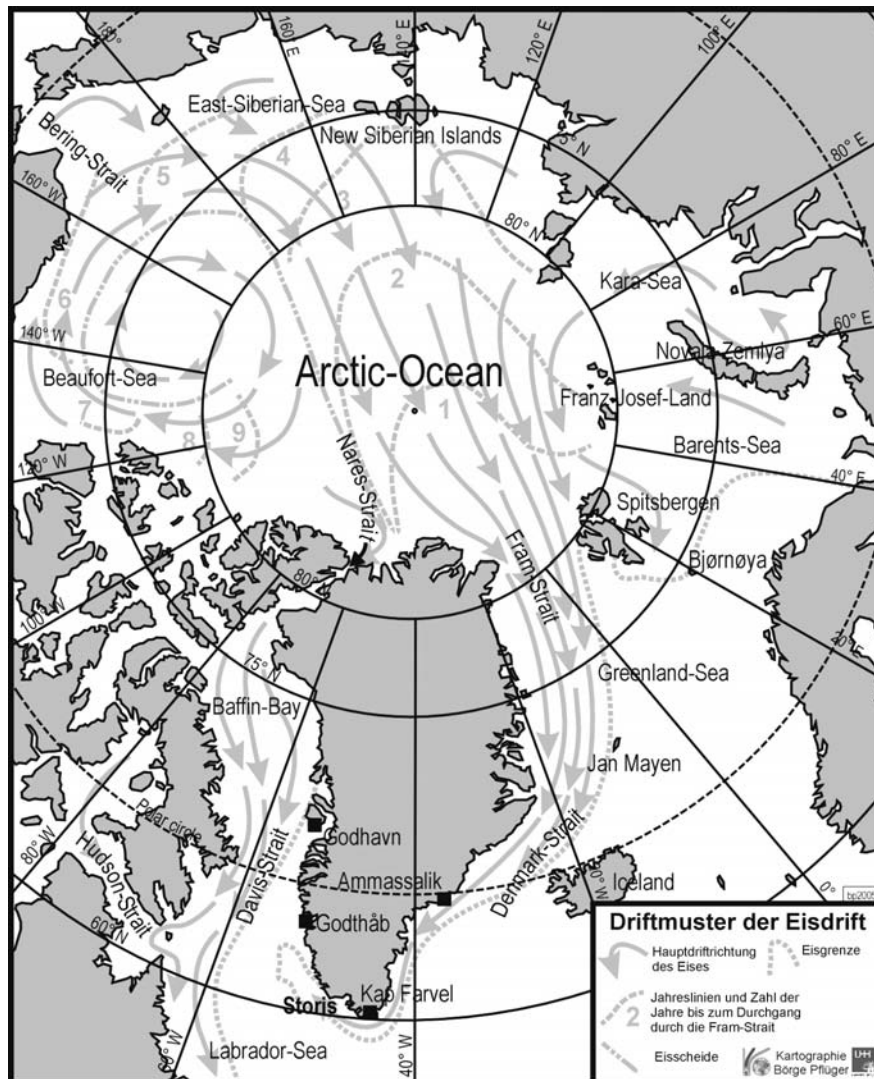


Abb. 1: Die Eisdrift der Arktis (nach IABP 2000)

Mit der Transpolardrift verlassen jährlich etwa 20 % des Eises den Arktischen Ozean. Dabei passieren rund  $300 \text{ km}^2/\text{Tag}$  die 325 m breite Grönland-Spitzbergen Passage (Thorndike 1986), die sogenannte Fram Strait. Mit dieser Drift werden ständig Eismassen aus dem Nordpolarmeer in die Grönlandsee transportiert. Dort driftet das Eis als Verlängerung der Transpolardrift im Ostgrönlanddriftstrom parallel zu der Ostküste Grönlands nach Süden bis dessen Südspitze und um das Kap Farvel herum. Zeitweise erreicht das Meereis die Küsten Islands und verschließt die Denmark Strait. Auf dem Weg nach Süden schmilzt das Meereis durch den Einfluss wärmerer Luftmassen und den Kontakt mit wärmerem Wasser.

Für die rund 1600 m lange Strecke von der Fram Strait zum Kap Farvel benötigt das Eis etwa 5-6 Monate (Koch 1945). Pflüger & Dreves (unveröffentlicht) berechneten aus den Bojen-Läufen des International Arctic Buoy Programme (IABP 2000) eine durchschnittliche Laufzeit der Bojen von 4,5 Monaten vom Durchgang durch die Fram Strait bis in die Irmingersee. Das Eis driftet dann weiter um die Südspitze Grönlands herum und an dessen Westküste nordwärts. Hier wird es als „Storis“ bezeichnet, was sich auf die Mächtigkeit der Eisschollen bezieht, bei denen es sich überwiegend um Eis aus dem zentralen Nordpolarmeer handelt (Koch 1945). In der Walfängersprache wurde der Ostgrönlanddriftstrom bei Spitzbergen als das „Westeis“ bezeichnet, im Fahrwasser der Davis Strait zuweilen als „Südeis“.

Im Jahrgang hat das Eis an der Südspitze Grönlands sein Maximum in den Monaten Mai bis Juli. Da das Eis von der Fram Strait zur Südspitze Grönlands etwa 4-5 Monate benötigt, handelt es sich bei dem Eis im August um das Eis, welches in den Wintermonaten das Nordpolarmeer verlassen hat. Maximal erreicht es etwa Nuuk (Godthåb), teilweise aber auch weit nach Westen in die Davis Strait hinein.

Zwischen September und Dezember ist die Südspitze Grönlands meist eisfrei. Im Januar und Februar driften häufig Eis um die Südspitze herum. Vereinzelt verbindet es sich dann mit dem Eis, das von Norden aus der Davis Strait kommt. Im März ist die Wahrscheinlichkeit hierfür am höchsten, da die Vereisung der Davis Strait noch stark ist, während das Drifteis deutlich zunimmt.

### 3 Zur Verfügung stehende Quellen

Für die Erstellung der Zeitreihe der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands standen vier verschiedene Quellentypen zur Verfügung.



Abb. 2: Eiskarte des Dänischen Meteorologischen Instituts für den Juni 1932. Quelle: Isforholdene i de arktiske Have (1932)

Bereits ab dem Jahr 1893 liegen, veröffentlicht vom Dänischen Meteorologischen Institut (DMI), Eiskarten für die sommerlichen Eisverhältnisse in der Arktis vor, wobei bis 1900 der Schwerpunkt in der europäischen Arktis lag. Das Dänische Meteorologische Institut erhielt 1899 durch den 7. Internationalen Geographenkongress den Auftrag, sämtliche verfügbaren Meldungen über die Eisverhältnisse in den arktischen Gewässern zu sammeln und auszuwerten (Strübing 1967).

Die Eiskarten des Dänischen Meteorologischen Instituts wurden in einer Publikationsreihe unter dem Titel „Isforholdene i de arktiske Have – The state of the Ice in the Arctic Seas“ als Jahrbücher veröffentlicht. Neben einem Textteil enthalten sie Karten für die arktischen Gewässer (Abb. 2).

In den frühen Jahren wurden Schiffs- und Landobservationen ausgewertet und die Karten am Ende der Schifffahrtssaison zusammengestellt. Sie dienten damals nicht zur Navigation im Eis. Diese Methodik der Erstellung der Eiskarten änderte sich bis 1956 nicht, auch wenn in den frühen 1950er Jahren zu den Schiffs- und Landobservationen gelegentlich Eisobservationen durch Flugzeuge hinzukamen. Die Zahl der Flugzeugobservationen stieg im Laufe der Jahre.

Es wurde so eine ganzjährige Beobachtung ermöglicht. Das DMI veröffentlichte detailreiche wöchentliche Karten. Durch den steigenden Schiffsverkehr stieg auch die Belastung des DMI. Die Flut der Daten veranlasste das Dänische Meteorologische Institut sich ab 1957 auf die grönländischen Gewässer zu beschränken. Das Augenmerk sollte sich verstärkt auf die Erstellung von zeitnahen Navigationskarten für die Schifffahrt richten. Die Zusammenfassung war ein zusätzlicher Aufwand. Nach 1966 fasste man die Eisverhältnisse in Monatsendkarten zusammen, die in den „Isforholdene i de Grønlandske Farvande“ oft mit erheblicher Zeitverzögerung erschienen.

Eine weitere Verbesserung der Datenlage erreichte man durch Satelliten gestützte Eisbeobachtungen. Dies begann in den 1960er Jahren und wurden schrittweise ausgebaut. Ab 1982 erschienen die Monatsendkarten der Isforholdene nicht mehr. Für die Fortführung der Zeitreihe wurden daher die operationellen Eiskarten verwendet, die dem Verfasser durch das DMI dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden (Abb. 3). Für die jüngsten Jahre stellte das DMI wieder Übersichtskarten zur Verfügung, die im Internet veröffentlicht wurden.

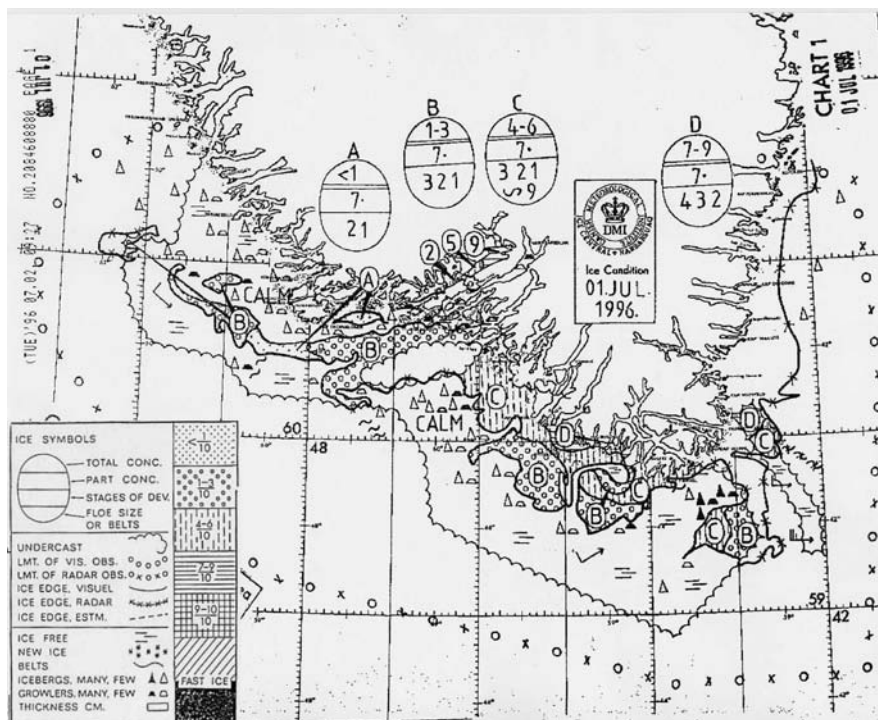


Abb. 3: Das Eis an der Südspitze Grönlands am 1. Juli 1996. Nach 1982 erschienen nur noch die operationellen Eiskarten des Dänischen Meteorologischen Instituts.

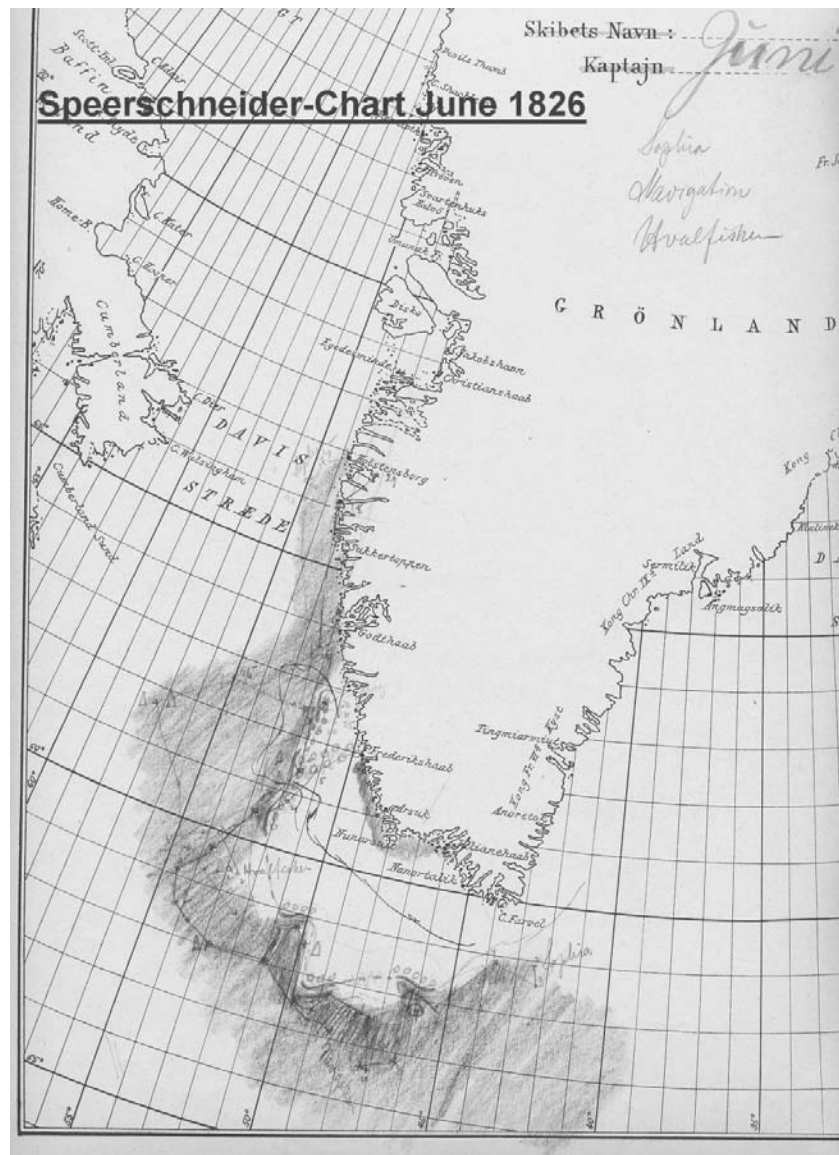


Abb. 4: Die von Speerschneider gezeichnete Originalkarte für Juni 1826 überdauerte in den Archiven des DMI. Quelle: Pflüger (2005)

Die Eiskartenzeitreihe des DMI begann 1893. Doch bereits vor dieser Zeit herrschte ein intensiver Schiffsverkehr zu den grönländischen Kolonien. Die Versorgung und der Handel mit diesen lag als Monopol seit 1774 in der Hand des „Kongelige Grønlandske Handel, Hvalfiskefangst og Robbeslagtning“ (Königlich Grönländischer Handel, Walfischfang und Robbenschlachtung – KGH) (Gad 1982). Auf den eigenen und gecharterten Schiffen wurden Schiffsjournale (Logbücher) geführt, die bis heute erhalten blieben und überwiegend im Reichsarchiv in Kopenhagen archiviert sind.

Der erste, der diese Schiffsjournale bezüglich der Eisverhältnisse auswertete war Speerschneider (1931), welcher die Eisverhältnisse am Kap Farvel der Jahre 1820-1889 aus den Schiffsjournalen des KGH rekonstruierte. Methodisch gesehen ist die Arbeit von Speerschneider der hier vorliegenden sehr ähnlich. Auch Speerschneider entnahm die Eissichtungen den Schiffsjournalen und trug sie in Karten ein. Mit Hilfe dieser Observationen rekonstruierte er die Eisverhältnisse über diesen langen Zeitraum. Wegen der Schwierigkeiten in der Positionsbestimmung unterblieb die Auswertung der Schiffsjournale der Jahre 1777-1802, die erst durch den Verfasser stattfand (vgl. auch Pflüger 2001). Die von Speerschneider gezeichneten Eiskarten überdauerten glücklicherweise die Zeiten in den Keller-Archiven des Dänischen Meteorologischen Instituts (DMI) und konnten hier ausgewertet werden.

Für den älteren Zeitraum wurden die originalen Schiffsjournale des KGH aus dem Reichsarchiv in Kopenhagen ausgewertet. Die Eisobservationen wurden in Karten eingetragen und zu den Eisgrenzen rekonstruiert. Durch die oft fehlerhaften Positionsangaben in den Schiffsjournalen ergibt sich keine exakte Position des Eisrandes. Es lässt sich aber ein guter Eindruck über die Eisverhältnisse in den jeweiligen Jahren gewinnen.

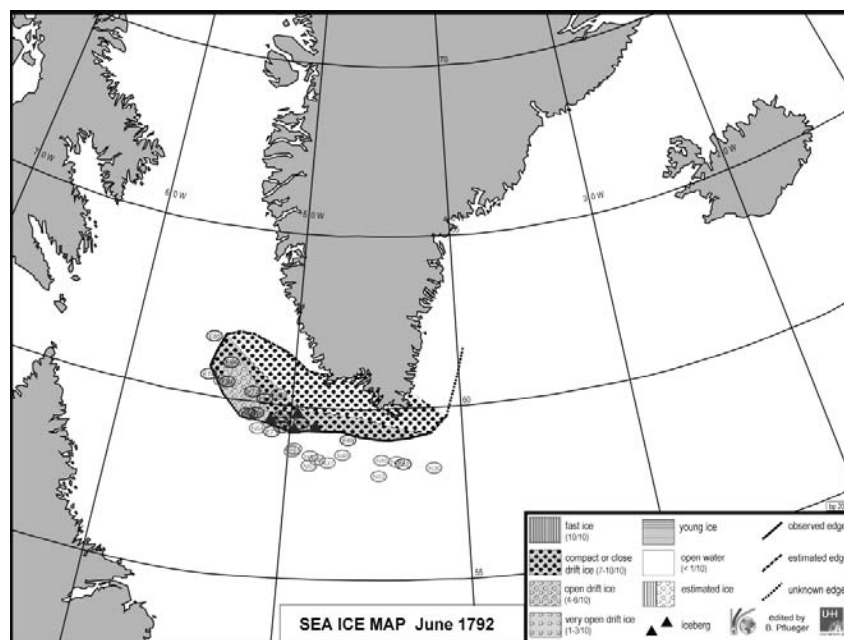


Abb. 5: Die aus Schiffsjournalen rekonstruierten Eisverhältnisse im Juni 1792. Die mit E gekennzeichneten Observationen stehen für die Eintragungen in den Journalen mit Eissichtungen, mit N für Schiffspositionen ohne Eissichtung.

#### 4 Bildung des Kap Farvel – Eisindex (KFI)

Aus den solchermaßen zusammengestellten Karten lässt sich eine 226 Jahre umfassende Zeitreihe bzgl. der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands erstellen. Diese ist zwar an einigen Stellen unterbrochen, gibt dafür aber auch Auskunft über die Eisverhältnisse in voroperationeller Zeit.

Chapman & Walsh (1993) erwähnen die Wahrscheinlichkeit von Inhomogenitäten in den Zeitreihen vor 1961. Sie analysieren daher lediglich den Zeitraum 1961 bis 1990. Grundsätzlich ist dem Vorwurf der Inhomogenität zuzustimmen. Die Zeitreihe der Eisverhältnisse weist erhebliche Lücken auf, hinzu kommen die unterschiedlichen Beobachtungstechniken über die Jahrhunderte hinweg: von der Eisbeobachtung „nebenbei“ in gewöhnlichen Schiffstagebüchern über die gezielten Eisbeobachtungen von Schiffen, insbesondere ab dem späten 19. Jh., den Eisobservationsflügen, die mit dem Aufkommen von Flugzeugen verbreiteter wurden, bis hin zu den Satelliten gestützten Eisobservationen, wobei hier auch die Spanne der Observationen von gewöhnlichen Satellitenbildern verschieden hoher Auflösung über passive Mikrowellen-Sensoren zu aktiven Radarsatelliten geht. Selbst hier gibt es durchaus Probleme bei der Interpretation des Signals.

Der Kritikpunkt der Inhomogenität sollte allerdings nur dazu führen, eine gewisse Vorsicht im Umgang mit den historischen Daten walten zu lassen. Fehler sind in diesen Analysen nicht auszuschließen und bedauerlicherweise auch nicht immer erkennbar. Wenn man jedoch eindeutige Veränderungen erkennen will, muss man diese Fehlerrisiken in Kauf nehmen, da fehlerfreie – oder besser: mit geringen Fehlern behaftete – Zeitreihen nur für kurze Zeiträume vorliegen, in denen aber klimatische Schwankungen unmöglich eindeutig erkennbar sind.

Zur Erstellung eines Eisindex bietet sich eine Flächenanalyse an, da sich aus der eisbedeckten Fläche die Eismenge abschätzen lässt. In ihr werden die jeweiligen Teilflächen entsprechend ihrer Eisbedeckung bewertet. Auf die gleiche Art und Weise stellte das National Snow and Ice Data Center (NSIDC 2000) ihre digitalisierten Eiskarten her. Die Auswertungen von Walsh & Johnson (1979) und Chapman & Walsh (1993) erfolgten ebenfalls nach dieser Methode, wobei die dort verwendete Auflösung deutlich geringer ist als die hier verwendete.

Für diese Analyse wurde ein Gitternetz von  $0,5^\circ$  Breite und  $1^\circ$  Länge verwendet. Aufgrund der Polnähe ergibt sich daraus ein  $55 \text{ km} \times 55 \text{ km}$  großes Gitternetz. Eine genauere Auflösung des Bearbeitungsgebietes wäre theoretisch denkbar, würde aber nicht zwangsläufig zu besseren Ergebnissen führen, da dann insbesondere die historischen Eiskarten überinterpretiert würden. Weil diese überwiegend monatlich sind, die Satelliten gestützten Daten hingegen wöchentlich vorliegen, wurde zur Fortführung des Index die jeweils letzte Eiskarte eines Kalendermonats verwendet, in Analogie zu den Eiskarten des DMI von 1965 bis 1981 sowie zur Bearbeitung von Chapman & Walsh (1993).

Aus Schiffsobservationen lässt sich nur in geringem Ausmaß auf die Geschlossenheit der Eisdecke hinter der Eiskante schließen. Daher wurde bei der Rekonstruktion eine geschlossene Eisdecke angenommen. Bei der Ermittlung des Eisindex aus den rezenten Datensätzen des Danske Meteorologiske Institut wurden Lücken im Eis hinter der Eiskante nicht berücksichtigt und als bedeckt angenommen.

Um die Eiskarten in ein einheitliches System zu überführen, wurden die Karten graphisch vereinheitlicht und in ein vierstufiges System gebracht. Jedem Gitternetzpunkt wurde je nach Bedeckungsgrad ein Wert zugeteilt. 0 steht für eisfrei, 1 für sehr gering bedeckt, ca.  $0\text{-}1/3$ , 2 für mittlere Bedeckung ( $1/3\text{-}2/3$ ) und 3 für weitestgehende Bedeckung mit Eis ( $2/3\text{-}3/3$ ). Eine größere Genauigkeit bezüglich der Konzentration ist aus den hier gemachten Rekonstruktionen bzw. aus den meisten Quellen nicht zu entnehmen. Um die „Unschärfe“ einheitlich zu halten, wurde für die jüngeren Eiskarten die gleiche Klassifikation gewählt wie für die historischen Karten, obwohl zweifelsohne eine genauere Einteilung in den jüngeren Jahren möglich gewesen wäre.

Aus der Eisbedeckung wurde die Eisfläche  $A_{\text{KFE}}$  über die Flächen der jeweiligen Gitternetzfelder abgeleitet. Aus der Summe der Eisflächen jedes Feldes ergibt sich die Menge des Eises. Die um die Südspitze Grönlands herum gedriftete Eismenge ist somit aus den Karten bestimmbar.

Dies ist jedoch mit einer Einschränkung verbunden: Der  $A_{\text{KFE}}$ -Wert ist ein mathematisch exakt bestimmbarer Wert. Er reagiert aufgrund seiner Genauigkeit auf jede noch so kleine Veränderung in einzelnen Gitternetzfeldern. Damit täuscht er eine Genauigkeit der Eisflächenermittlung vor, die so weder aus den historischen Karten noch aus den Rekonstruktionen zu rechtfertigen wäre. Daher wurde der Kap Farvel – Index (KFI) aus dieser Fläche berechnet und ein ganzzahlig gerundeter Wert geschaffen, der weniger sensibel auf kleine Änderungen in den Gitternetzfeldern reagiert. Der Kap

Farvel - Index wird bestimmt über 
$$\left[ \frac{A_{\text{KFE}}}{A_{\text{ges}}} \cdot 100 \right]_{\text{gerundet}} = \text{KFI} \quad (\text{mit } A_{\text{ges}} = \text{gesamte}$$

Bearbeitungsfläche). Somit ist der KFI ein prozentualer Wert der Bedeckung des gesamten Bearbeitungsgebietes. Bei vollständiger Bedeckung ergäbe sich ein Wert von 100. Dieser Wert ist allerdings unrealistisch, da er weder in den Beobachtungen vorkam noch zu erwarten ist.

Der so ermittelte Indexwert lässt sich für die Sommermonate fast durchgehend von 1777 bis 2002 bilden. In dieser Zeitreihe sind bedauerlicherweise einige Lücken. Teilweise sind es einzelne Jahre, für die nicht ausreichend Schiffsobservationen zur Verfügung standen. Es gibt aber auch Lücken, die als Folge von kriegerischen Auseinandersetzungen entstanden. Die Lücke 1803-1819 zu schließen dürfte ein schwieriges Unterfangen werden, da die Schiffsjournale dieses Zeitraums wohl verloren gingen. Inwieweit der Napoleonische Krieg dazu geführt hat, ist nicht zu klären. Die Lücke von 1940 bis 1945 ist auf die deutsche Besetzung Dänemarks zurückzuführen.

Die Zahl der Observationslücken ist von Monat zu Monat unterschiedlich. Gerade in den frühen Jahren fehlen häufig Daten von Einzelmonaten. Die qualitativ besten Zeitreihen finden sich für Juni und Juli, weil für diese Monate die meisten Schiffsobservationen vorliegen und die Zahl der Jahre mit 181 für Juni und 183 für Juli am höchsten ist. Um die Lücken zu verringern, wurde aus der Juni- und Juli-Zeitreihe eine Mittelzeitreihe gebildet. Diese Monate weisen nämlich mit einer Korrelation von 0,71 eine relativ hohe Übereinstimmung auf. Da das Maximum der Eisbedeckung im Jahresgang in diesen Monaten erreicht wird, sind Juni und Juli dafür auch aus dieser Sicht besonders geeignet. Fehlt einer der beiden Monate, wurde der Median der Differenz (-2) beider Monate herangezogen und der fehlende Wert berechnet. Somit wurde bei fehlendem  $KFI_{\text{Juli}}$ -Wert dieser durch  $(KFI_{\text{Juni}} - 2) = KFI_{\text{Juli}}$  ergänzt bzw. der fehlende  $KFI_{\text{Juni}}$  durch  $(KFI_{\text{Juli}} + 2) = KFI_{\text{Juni}}$ . Dies geschah für die Jahre: 1784 - 1786, 1795, 1797, 1799, 1828, 1831, 1834, 1836, 1843, 1848, 1853, 1861, 1867, 1869 und 1889.

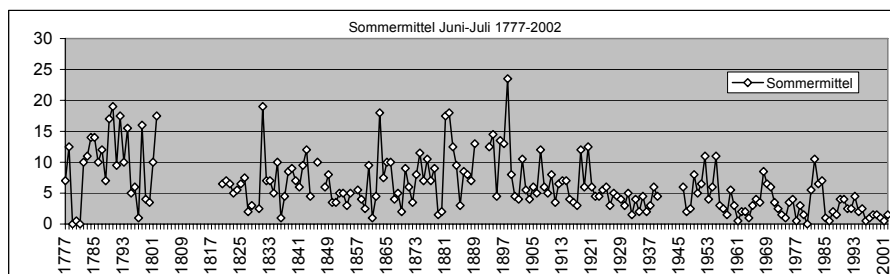


Abb 6: Zeitreihe des Sommermittels 1777-2002 aus den KFI-Werten für Juni und Juli ermittelt bzw. interpoliert, teilweise unter Verwendung des KFI-Wertes für Mai. Gegenüber den Einzelzeitreihen zeigt sie gedämpfte Spitzen.

In einigen Jahren fehlen die Werte des KFI für beide Monate, sind allerdings für den Mai vorhanden. Zwar ist die Korrelation mit 0,63 geringer, dennoch wurden in diesen Fällen die Werte durch  $KFI_{\text{Mai}} = KFI_{\text{Juni}}$  (entsprechend dem Median der Differenzen) ergänzt, entsprechend dann  $(KFI_{\text{Mai}} - 2) = KFI_{\text{Juli}}$ . Dies geschah nur in wenigen Jahren: 1827, 1841, 1846 und 1868. Dadurch konnte die Datendichte auf 195 KFI-Jahre erhöht werden. Das Sommermittel berechnet sich somit aus dem Mittelwert zwischen

Juni- und Juli-Wert (inklusive der Ergänzungen) über 
$$\frac{KFI_{\text{Juni}} + KFI_{\text{Juli}}}{2} = KFI_{\text{Sommer}}$$
.

Auch für diesen Wert lässt sich eine Zeitreihe bilden. Das so entstandene „KFI-Sommermittel“ ist deutlich weniger anfällig gegenüber Ausreißern in den Einzelmonaten als die Einzelmonate und hat eine verringerte Anzahl Datenlücken.

Für alle Zeitreihen wurden der 10- und der 30jährige gleitende Median berechnet und graphisch dargestellt. Der 30jährige gleitende Median zeigt zwei Maxima: Das erste im Zeitraum 1777-1802 mit einem abrupten Abfall, welcher auf die Datenlücke zwischen 1802 und 1820 zurückzuführen ist, das zweite zwischen 1870 und 1905, in denen die Eismenge ebenfalls deutlich erhöht war (Abb. 7). Zwischen 1820 und 1875 ist die Vereisung nahezu konstant, mit einem leichten Minimum zwischen 1840 und 1870. Eine starke Eismengenreduktion liegt zwischen 1905 und 1925 vor, ein Trend, der sich, wenn auch mit geringerer Steigung, bis in die Gegenwart fortsetzt.

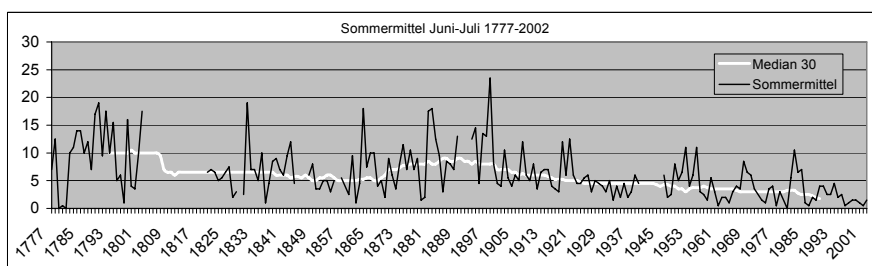


Abb 7: 30jähriger gleitender Median des Sommermittels der Zeitreihe 1777-2002



Der gleitende 30jährige Median des Sommermittels ist gegenüber den Einzelmonaten deutlich weniger anfällig gegen kurzfristige Maxima. Beispielsweise sind die zwischen 1825 und 1840 sowie um 1980 in der Juni-Zeitreihe erkennbaren im Sommermittel weniger ausgeprägt. Das Minimum der Juli-Zeitreihe um 1935 entfällt ebenfalls. Insofern ist die Sommermittel-Zeitreihe weniger anfällig gegenüber früh bzw. spät kommendem Eis.

Insgesamt ist die Zeitreihe somit sicherer als die Einzelzeitreihen im Vergleich mit anderen globalen Zeitreihen, da die Ankunft des Eismaximums durchaus von kurzfristigen atmosphärischen Ereignissen verursacht sein kann, deren globale Bedeutung gering ist.

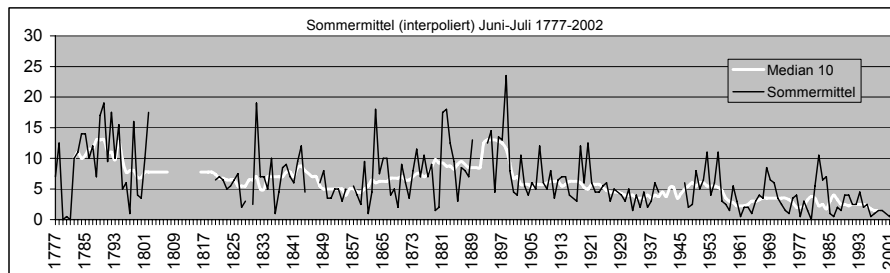


Abb. 8: 10jähriger gleitender Median des Sommermittels mit deutlichen Maxima um 1790, 1840, 1895 und 1950. Beeindruckend ist das Maximum zwischen 1893 und 1900 und der rasche Rückgang danach. Die Spitze des Medians in der Datenlücke hat ihre Ursache in dieser, ist also nicht wirklich vorhanden. In der Datenlücke 1803-1819 wurden konstante Werte in dieser Darstellung angenommen, da dies die Medianausreißer um 1802 verhindert.

Der gleitende 10jährige Median zeigt kurzfristigere Maxima und Minima (Abb. 8). Je ein Maximum ist um 1790, 1840, 1895 und 1950 zu erkennen. Beeindruckend ist das Maximum zwischen 1893 und 1900 im 10jährigen Median. Es stellt den Kernzeitraum des auch im 30jährigen Median zu erkennenden Maximums dar. Im Anschluss geht die Eismenge drastisch zurück. Dies verdient beachtet zu werden, da sich innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums etwas im Klima oder aber in den generellen Zirkulationsmustern geändert haben muss.

Bei normaler Rechnung ergibt sich eine Spitze am Beginn der Datenlücke, da diese länger ist als der Zeitraum des gleitenden Median und am Anfang nur der hohe Wert von 1802 in die Medianermittlung fällt. Durch Interpolation in der Form, dass der Median des Zeitraums 1777-1850 die Datenlücke ersetzt, wurde diese Spitze geglättet. Der Nachteil, dass eventuell randliche Extrema wegfallen, muss dabei in Kauf genommen werden.

## 5 Gesamtbetrachtung des KFI

Generell zeigt der KFI von April bis August für die Jahre 1777-2002 in allen Monaten einen eindeutigen Trend nach unten, insbesondere im 20. Jahrhundert. Allerdings sind die hohen KFI-Werte um die Jahrhundertwende zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert als deutliche Anomalie zu verstehen. Denn die KFI-Werte sind im Rekonstruktionszeitraum 1777-1802 etwas höher gewesen als die Werte um die Jahrhundertwende zum 20. Jh. Es ist davon auszugehen, dass dabei eine leichte Überschätzung vorliegt, die aus den Problemen bei Positionsangaben und Observationstechniken resultiert.

Die Sommermittel-Zeitreihe zeigt ein deutliches Maximum während des Rekonstruktionszeitraums. Die deutlich lückenhaftere Mai- und August-Zeitreihe lässt kein eindeutiges Maximum erkennen. In allen Zeitreihen ist das 19. Jahrhundert bis 1860 eher eisarm, gemessen am Rekonstruktionszeitraum 1777-1802 und dem deutlichen Anstieg gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Alle Zeitreihen zeigen dieses starke Ansteigen der Eismenge.

Die Eisverhältnisse bleiben bis in die erste Dekade des 20. Jahrhunderts auf diesem sehr hohen Niveau. In den Monaten Juni und Juli (und damit auch im Sommermittel) sind die Eisverhältnisse

allerdings etwas schwächer als im Rekonstruktionszeitraum. Geht man von einer methodisch bedingten Überschätzung im Rekonstruktionszeitraum aus, so ist anzunehmen, dass die Eisverhältnisse ähnlich stark waren wie bei der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert. In der ersten und zweiten Dekade des 20. Jahrhunderts fallen die KFI-Werte deutlich ab, im Allgemeinen auf ein Niveau, das dem des 19. Jahrhunderts bis 1860 entspricht, teilweise sogar unter diesem liegt (insbesondere im Juli und August). Bis Mitte des 20. Jahrhunderts bleiben die Werte einigermaßen konstant.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sinkt der KFI weiter ab. Die Zahl der eisfreien Jahre im Juli und August nimmt deutlich zu. Wenn man die Zeitreihen im jüngsten Abschnitt verfolgt, so ist eine weitere Abnahme des KFI-Wertes in den Monaten Juni und Juli erkennbar. Der 10jährige gleitende Median zeigt kurzzeitige Maxima in den 1950ern. Zuvor ist ein Minimum in der zweiten und dritten Dekade des 20. Jahrhunderts zu erkennen, ein weiteres Minimum folgt dem Maximum in den 1960ern.

Die Trends aller Zeitreihen zeigen eine Abnahme über ihren Berechnungszeitraum. Berechnet für einen linearen Trend ergibt sich eine negative Steigung von  $-0,03$  über dem Gesamtzeitraum für das Sommermittel. Bei der Betrachtung von Zeitreihen ist wohl kaum ein Verfahren so problematisch wie eine Trendanalyse. Insbesondere die (gemeinhin mindestens im Kopf durchgeführte) Extrapolation ist eine unzulässige Schlussfolgerung eines Trends. Verschiedene Trendanalysen des Sommermittels über drei verschiedene Zeiträume zeigten, dass als Trends deutlich unterschiedliche Ergebnisse errechenbar sind.

Betrachtet man den Trend genauer, stellt man fest, dass ein Großteil der Eismengenreduktion zwischen 1900 und 1930 stattfand – über 50 %. Dies spricht gegen die Berechnung eines linearen Trends. Die Trendanalyse zeigt allerdings auch, dass es unzureichend ist, bei der Betrachtung der Veränderung der Eisverhältnisse nur einen sehr kurzen Zeitraum zu verwenden, da die langfristigen Schwankungen die kurzfristigen doch erheblich überlagern.

Betrachtete man den Zeitraum, in dem gemessene Klimadaten zur Verfügung stehen, so ergibt sich – durch die Maximal-Periode um 1900 – eine drastische Verringerung der Eismengen. Das Hinzunehmen des Zeitraumes davor zeigt, dass es sich bei dem Zeitraum 1865-1900 um ein Maximum handelte, das als Startpunkt einer linearen Trendanalyse ungeeignet ist.

Es zeigt sich aber auch, dass alle Zeitreihen auf ein Minimum hinsteuern, offenbar sogar noch geringer werdend im jüngsten Zeitraum. Es wäre überzogen, aus dieser Untersuchung den anthropogenen Treibhauseffekt als Ursache zu identifizieren, doch liegt diese Vermutung nahe.

## 6 Vergleich mit weiteren Eis-Zeitreihen

Bei der Erstellung einer Zeitreihe aus historischen Daten ergibt sich generell das Problem der Überprüfbarkeit. Je weiter die Zeitreihe zurückreicht, desto weniger Ver- und Abgleichsmöglichkeiten sind gegeben. Selbst wenn Zeitreihen aus dem gewünschten Zeitraum existieren, so müssen diese mit der hier vorliegenden Zeitreihe in Zusammenhang stehen, um einen sinnvollen Vergleich durchführen zu können. Daneben müssen diese Zeitreihen in einer vergleichbaren Form existieren bzw. zur Verfügung gestellt werden. Das ist nur in einigen wenigen Fällen wirklich gegeben.

Speerschneider (1931) erstellte für den Zeitraum 1820-1930 aus den von ihm rekonstruierten Eiskarten und den vom DMI publizierten eine Zeitreihe. Interessant ist natürlich, wie sich beide Zeitreihen zueinander verhalten, da sie die gleichen Daten verwenden. Der Speerschneider-Index ist ein Gesamt-Sommerindex, insofern ist die beste Übereinstimmung mit dem KFI-Sommermittel zu erwarten. Der Speerschneider-Index besteht allerdings zu einem guten Teil aus der Addition nicht exakt nachvollziehbarer Werte. Daher ist es nicht verwunderlich, dass es Unterschiede zwischen beiden Zeitreihen gibt. Die von Speerschneider durchgeführten Abschätzungen sind insofern akzeptabel, als es stets derselbe Bearbeiter war – nämlich der in der Eisbeobachtung sehr erfahrene Speerschneider.

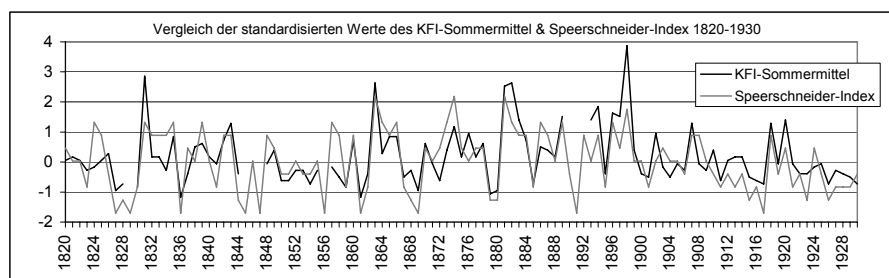


Abb. 9: Der Vergleich zwischen den Werten des standardisierten KFI-Sommermittels und denen des Speerschneider-Index

Der Vergleich der standardisierten Werte zeigt eine recht gute Übereinstimmung (Abb. 9). Lediglich 1831 und 1898 fallen als Ausreißer ins Auge.

Fabricius et al. (1995) arbeiteten ebenfalls mit den Karten von Speerschneider. Sie verwendeten die nördlichste Ausdehnung des Storis an der Westküste Grönlands zur Bestimmung der Eisschwere zwischen 1820 und 1994. Ob sich dies wirklich eignet, um die Eismenge zu bestimmen, darf bezweifelt werden. Denn in einigen Jahren reicht die Eiszunge langgestreckt mit geringer westlicher Ausdehnung weit nach Norden, in anderen Jahren ist sie hingegen weit nach Westen ausgedehnt, reicht dafür aber nicht sehr weit nordwärts. Generell ist allerdings auch in dieser Zeitreihe ein ähnliches Muster zu erkennen.

Ein Vergleich mit der von Koch (1945) erstellten Zeitreihe für Island ergibt ein ähnliches Muster in beiden Zeitreihen. Insbesondere Maxima und Minima in den zehnjährigen gleitenden Mittelwerten haben eine ähnliche Struktur. Beide zeigen ein Minimum in der Eismenge in den 1840er Jahren und das lange deutliche Maximum im Zeitraum 1855-1910. Allerdings liegen die Spitzen nicht exakt zeitgleich. Betrachtet man die von Ogilvie & Jónsdóttir (2000) aufgestellte Zeitreihe für Island, so findet sich dort ebenso wie im KFI ein Maximum um die Jahrhundertwende vom 18. in das 19. Jahrhundert. Die zeitliche Überschneidung zwischen beiden Zeitreihen ist allerdings relativ kurz (1777-1850).

Die Erweiterung des Koch'schen Eisindex bis in die Gegenwart bei Wallevik & Sigurjónsson (1998) und Ogilvie & Jónsson (2001) zeigt Übereinstimmung, allerdings weniger in den Einzeljahren als vielmehr bzgl. der Maxima. Das deutliche Maximum um die vorletzte Jahrhundertwende findet sich auch hier, das deutliche Maximum von 1965 bis 1971 in Island ist in der KFI-Zeitreihe allerdings nur schwach ausgeprägt.

Auch die von Vinje (2001) aus den historischen Aufzeichnungen von Adolf Hoel rekonstruierte Zeitreihe der Eisverhältnisse der Gewässer um Spitzbergen nach 1850 gehört zum Ostgrönlandstrom-Eisregime. Wie bisher alle Zeitreihen, so stellt auch Vinje (2001) einen Rückgang insbesondere in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts fest. Dies deckt sich mit den Beobachtungen aus der KFI-Zeitreihe. Besonders ausgeprägt ist dies bei Vinje (2001) im westlichen Untersuchungsgebiet, das zum gleichen Eisregime wie Island und Südgrönland gehört.

Die zu einem anderen Eisregime gehörende Zeitreihe des Eises um Neufundland von Hill (1998) zeigt bei den gleitenden Mittelwerten ähnlichen Verlauf mit einem Maximum um die Jahrhundertwende zwischen 19. und 20. Jahrhundert.

## 7 Abschließende Betrachtung der Zeitreihe

In der vorliegenden Arbeit, einem Exzerpt aus Pflüger (2005), konnte mit dem Kap Farvel Eisindex (KFI) eine der bisher längsten Zeitreihen der Eisverhältnisse der Arktis erstellt werden. Die jeweiligen Monatszeitreihen und das Sommermittel des KFI geben die Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands über einen 226jährigen Zeitraum hinweg an, nämlich von 1777 bis 2002.

Der Vergleich des KFI-Sommermittels mit anderen Eis-Zeitreihen der Arktis zeigt, dass zwar die einzelnen Jahre in den jeweiligen Gebieten deutlich voneinander abweichen, die generellen Trends aber Ähnlichkeiten aufweisen, wie dies stellvertretend 10- und 30jährige Mittelwerte bzw. Mediane belegen. Da es bei solitär vorkommenden Zeitreihen schwierig ist, eine Qualitätsanalyse durchzuführen, ist die Ähnlichkeit sowohl rechnerischer als auch zeichnerischer Art in den Kurven eine Maßgabe für die Qualität der durchgeführten Arbeiten.

Deutlich zu erkennen sind zwei Maxima-Strukturen in den KFI-Zeitreihen, teilweise auch in den übrigen Zeitreihen, die sich um die Wende zum 19. und die Wende zum 20. Jahrhundert abzeichnen. Eine Minimastruktur liegt zwischen diesen beiden Maxima, unterbrochen von einer Periode etwas stärkerer Vereisung in den 1830er Jahren.

Das 20. Jahrhundert verhält sich in allen analysierten Zeitreihen ungewöhnlich, was aber auch in den besseren Observationstechniken begründet sein kann. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass dies ausschließlich als Ursache für den drastischen Abfall der Eisverhältnisse im 20. Jahrhundert heranzuziehen ist.

Die stärkste Eismengenreduzierung findet deutlich vor 1920 statt, je nach Zeitreihe sogar noch früher. Die Reduktion der Eismenge setzt sich auch nach 1920 fort, jedoch weniger stark, liegt dafür aber deutlich unter dem Niveau des 19. Jahrhunderts. Da sich dieses Muster des Eismengenverlusts in allen Zeitreihen wiederfindet, ist davon auszugehen, dass es sich um ein generelles Klimaphänomen der Nordhemisphäre handelt.

Zwar sind die rekonstruierten Meereiszeitreihen sicherlich mehr oder weniger großen Fehlern unterworfen, sie geben aber einen generellen Überblick über die Stärke der Vereisung im Bereich des Ostgrönlandstromes. Somit stellt die KFI-Zeitreihe eine weitere Möglichkeit zum Vergleich von Klimadaten dar, die als Qualitätsstütze für andere Zeitreihen dienen können, sofern sie mit dieser in Relation stehen.

Ob die starke Reduktion der Eisverhältnisse im 20. Jahrhundert ein kurzer Trend ist oder sich für die Zukunft eine weitere Reduktion erwarten lässt, lässt sich hier genau so wenig beantworten wie die Frage, ob der Mensch für diese Veränderung verantwortlich zeichnet. Letztlich handelt es sich bei dem Eistransport um einen Ausdruck des Klimageschehens, der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation. Wie sich dadurch die Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands weiter entwickeln werden, lässt sich nicht eindeutig prognostizieren.

Die generelle Ähnlichkeit der Trends in den Zeitreihen belegt unzweifelhaft, dass die Eismenge über einen langen Zeitraum hinweg tatsächlich weniger geworden ist, insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gegenüber den belegbaren Zeiträumen zuvor. Es ist allerdings auch deutlich zu erkennen, dass um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert ein Maximum vorlag. Bisherige lange Eiszeitreihen beginnen überwiegend in oder nach ihm. Sie können diese Maximumstruktur daher nicht erkennen und registrieren stattdessen nur eine mehr oder weniger kontinuierlich rückläufige Tendenz. Die vorliegende Studie zeigt, dass die größte Eismengenreduktion der Arktis im 20. Jahrhundert bereits in dessen erstem Drittel stattfand.

## Literatur

- Bergthórsson, P. (1969): An Estimate of Drift Ice and Temperature in 1000 Years. In: *Jökull* 19, 94-101.
- Chapman, W.L. & J.E. Walsh (1993): Recent Variations of Sea Ice and Air Temperature in High Latitudes. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 74 (1), 33-47.
- Fabricius, J.S., K. Frydendahl & P. Frich (1995): Polar Sea Ice off West Greenland. A Review. In: Nixon, W.A., D.S. Sodhi & N.K. Sinha (eds.): *Proceedings of the 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 1995.
- Gad, F. (1982): *The History of Greenland III 1782-1808*. Copenhagen.

- Glaser, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Darmstadt.
- Herrmann, E. (1949): Das Nordpolarmeer. Das Mittelmeer von Morgen. Berlin.
- IABP (2000): International Arctic Buoy Programme and Arctic Buoy Data 1979-1999. CD-Rom-Version 1.0. Marine Environmental Data Service, Ottawa.
- Koch, L. (1945): The East Greenland Ice. København.
- Nautisk-Meteorologische Observationer 1897, Danske Meteorologiske Institut, Kjøbenhavn 1898.
- NSIDC (eds.) (2000): Sea Ice Atlas for the Arctic Ocean. Environmental Working Group, Joint U.S. Russian Sea Ice Atlas. Version 1.0, 1 September 2000, Boulder, Colorado.
- Ogilvie, A.E.J. & I. Jónsdóttir (2000): Sea Ice, Climate, and Icelandic Fisheries in the Eighteenth and Nineteenth Centuries. *Arctic* 53, 383-394.
- Ogilvie, A.E.J. & T. Jónsson (2001): „Little Ice Age“ Research. A Perspective from Iceland. *Climatic Change* 48, 9-52.
- Ogilvie, A.E.J. (1984): The Past Climate and Sea-Ice Record from Iceland. P. 1: Data to A.D.1780. *Climatic Change* 6, 131-152.
- Pflüger, B. (2001): Rekonstruktion von Meereisgrenzen aus historischen Logbüchern des 18. Jahrhunderts. *Bamberger Geographische Schriften* 20, 169-181.
- Pflüger, B. (2001a): Das Meereis der südlichen Davis Strait 1798-1801. *Hamburger vegetationsgeographische Mitteilungen* 14, 59-77. Hamburg.
- Pflüger, B. (2005): Das Meereis um Südgrönland 1777-2002. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg*, Band 97. Hamburg.
- Pflüger, B. & A. Dreves (2006): Is the Drift Ice at Cap Farvel Formed in the Central Arctic Basin? Check of a Hypothesis. Hamburg. (im Druck).
- Rahmstorf, S. & A. Ganopolski (1999): Long-Term Global Warming Scenarios Computed With an Efficient Coupled Climate Model. *Climatic Change* 43, 353-367.
- Sammlung der Eiskarten des DMI (Danske Meteorologiske Institut, Kopenhagen). Diese Karten wurden einzeln für die Schifffahrt als Navigationshilfe und synoptische Detail-Eiskarten publiziert.
- Speersneider, C.I.H. (1931): The State of the Ice in Davis-Strait 1820-1930. København (Publikationer fra det Danske Meteorologiske Institut. Med. 8).
- Strübing, K. (1967): Die Eisführung des Ostgrönland-Stroms in Abhängigkeit von der Atmosphärischen Zirkulation über dem Nordpolarmeer. Dipl.-Arb. im Fach Geographie, Universität Hamburg, Math.-Nat. Fakultät.
- Thorndike, A.S. (1986): Kinematics of Sea Ice. In: Untersteiner, p. 489-551.
- Vinje, T. (2001): Anomalies and Trends of Sea-Ice Extent and Atmospheric Circulation in the Nordic Seas During the Period 1864-1998. *Journal of Climate* 14 (3).
- Wallevik, J.E. & H. Sigurjónsson (1998): The Koch Index. Formulation, Correction and Extension. Reykjavík.
- Walsh, J.E. & C.M. Johnson (1979): An Analysis of Arctic Sea Ice Fluctuations, 1953-77. *Journal of Physical Oceanography* 9, 580-591.

## Adresse

Dr. Børge Pflüger  
 Institut für Geographie  
 Universität Hamburg  
 Bundesstrasse 55  
 D-20146 Hamburg

pflueger@colecc.de



## Quantifizierung des Hochwasserrisikos für die Stadt Bremen

Heiko Spekker

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover

### Abstract

The Joint Research Project INNIG (Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft) tried to find solutions and possible ways for a better communication of "Risk" and "Vulnerability" between public and governmental services in flood protection and coastal risk management. The project is divided in five work package from engineering and social science. Work Package 1 „Risk Analysis and Risk Management“ studied the probability of simultaneously approaching storm surges and flood events in the Weser Estuary. The probability of failure and related damages were simulated for three districts of the City of Bremen (Werderland, Seehausen and Blockland) using a 2D-model for flooding after a failure of the coastal protection system. The vulnerability was also studied for a scenario of climate change, were water level increase is about 55 cm. This paper presents main results of the project and gives an impression about the vulnerability of the City of Bremen.

### 1 Einleitung

Das Ziel des Verbundprojektes INNIG ist, die Hochwasserrisiko-Kommunikation zu verbessern, um dem geringen Bewusstsein der Bevölkerung und Politik in Bezug auf Hochwassergefährdung entgegenzuwirken. Das Verbundprojekt besteht aus fünf Teilprojekten aus den Ingenieur- und Sozialwissenschaften.

Ziel des Teilprojektes 1 „Risikoanalyse und –steuerung“ war die Analyse des Zusammentreffens von schweren Sturmfluten mit extremen Hochwässern der Weser im Stadtbereich Bremen. Hierzu wurden Tidehochwasserstände und Abflüsse für die Unter- und Mittelweser, ihre Korrelationen untersucht und mit dem Deutschen Wetterdienst diskutiert.

Ein weiterer Schwerpunkt des Teilprojektes war die verbesserte Quantifizierung des Hochwasserrisikos für die Stadt Bremen und ihr Umland. Zur Ermittlung des Risikos wurden die Versagenswahrscheinlichkeiten von Hochwasserschutzanlagen sowie die Folgeschäden, die aufgrund dieses Versagens im Hinterland auftreten, berechnet. Hierfür wurden drei Fokusflächen (Werderland, Seehausen und Blockland) ausgewählt und mit Hilfe von 2D-Überflutungssimulationen mit anschließender detaillierter Schadensanalyse das bestehende Risiko bestimmt. Das Risiko wird hier definiert als das Produkt der Versagenswahrscheinlichkeit und dem zu erwartenden Schaden in der betroffenen Region. Für die Fokusflächen wurden Überflutungssimulationen für das Szenario des Zusammentreffens einer 100jährigen Sturmflut mit einem 100jährigen Hochwasser sowie für ein Klimaszenario mit einem um 55 cm erhöhten Wasserstand durchgeführt.

Die Randbedingungen für dieses fiktive Szenario wurden mit Hilfe eines am Franzius-Institut betriebenen Flussgebietsmodells der Weser ermittelt, mit dem auch die Wasserstände entlang der Unterweser bei verschiedenen Sturmflut/Hochwasser-Kombinationen bestimmt wurden. Des Weiteren wurden Strategien zur Risikominderung durch die Schaffung von zusätzlichem Flutraum untersucht und darauf aufbauend Schadensanalysen für ein gewähltes Reaktionszenario durchgeführt.

## 2 Methodischer Ansatz

Der methodische Ansatz entspricht im Wesentlichen dem Vorgehen von Mai (2004). Entscheidend ist, dass die Randbedingungen für die Simulation der zweidimensionalen Ausbreitung in das Hinterland nach einem Versagen des Küstenschutzbauwerkes aus einem instationär betriebenen Ästuarmodell der Unterweser (Spekker et al. 2006) gewonnen wurden. Dieses Modell beinhaltet alle wichtigen Nebenflüsse und die im Sturmflut- bzw. Hochwasserfall zu steuernden wasserbaulichen Anlagen (Wehre, Sturmflutsperrwerke). Diese wurden entsprechend ihrer Betriebspläne gesteuert.

## 3 Zusammentreffen von extremen Sturmfluten und extremen Oberwasserabflüssen

Für die Korrelation von extremen Sturmfluten und Binnenhochwasser wurden Tidewasserstände am Pegel Vegesack bzw. am Pegel Bremerhaven, Alter Leuchtturm (Abb. 1) den Durchflüssen am Pegel Intschede gegenüber gestellt.

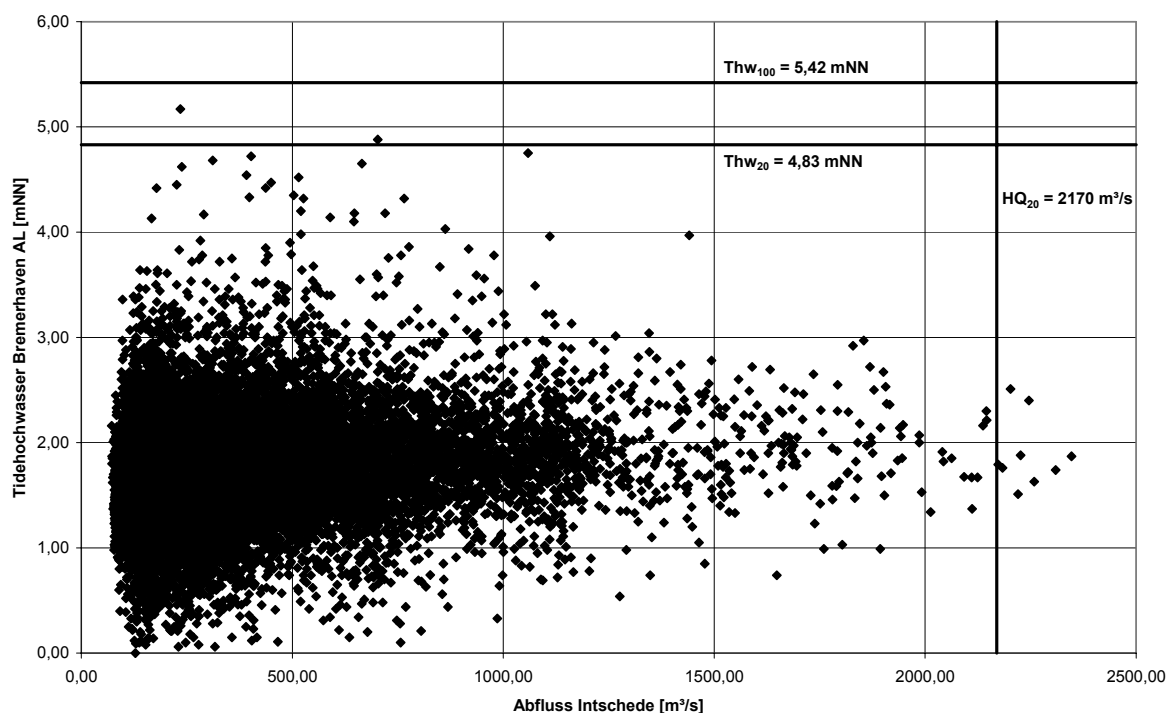


Abb. 1: Gegenüberstellung der Tidehochwasserstände am Pegel Bremerhaven und der Abflüsse am Pegel Intschede zwischen 1950 und 2003

Die Korrelationskoeffizienten  $r = 0,25$  (Vegesack/Intschede, 1950-2003) bzw.  $r = 0,13$  (Bremerhaven AL/Intschede, 1965-2004) weisen darauf hin, dass extreme Tidehochwasserereignisse nicht zeitgleich mit extremen Binnenhochwässern auftreten. Diese Erkenntnis ist meteorologisch nachvollziehbar, da bei zentralen Westlagen die Sturmflut bereits abgeklungen ist, bevor das Hochwasser aus dem Binnenland das Ästuar erreicht. Da die Ereignisse unkorreliert sind, ergibt sich die Gesamtwahrscheinlichkeit für Tidehochwasserstand und Abfluss aus dem Produkt der beiden Einzelwahrscheinlichkeiten.

## 4 Risikopotential im Stadtgebiet von Bremen

Das Risikopotential im Stadtgebiet wurde für die Fokusflächen Werderland (Deichbruch in Höhe der Moorlosen Kirche), Seehausen (Deichbruch in Seehausen) und Blockland (Deichbruch bei Dammsiel) untersucht. Für die Untersuchung des Blocklandes wurde angenommen, dass das Lesumsperrwerk nicht geschlossen werden kann.

Für alle Fokusflächen wurde eine Deichlücke von 40 m Breite angenommen, die unmittelbar nach dem Deichbruch bis auf Höhe des Vorlandes entsteht. Vergleichende Betrachtungen mit einem gekoppelten 1D-2D-Modell haben gezeigt, dass die in das Hinterland einströmende Wassermenge von der angesetzten Versagensart (Zeitdauer für den Abtrag bis auf Vorlandniveau und Vergrößerung bis auf die maximale Breite) nahezu unabhängig ist.

Ergebnisse der Untersuchungen sind beispielhaft für die Fokusfläche Seehausen in Abb. 2 bis Abb. 4 und Tab. 1 dargestellt.

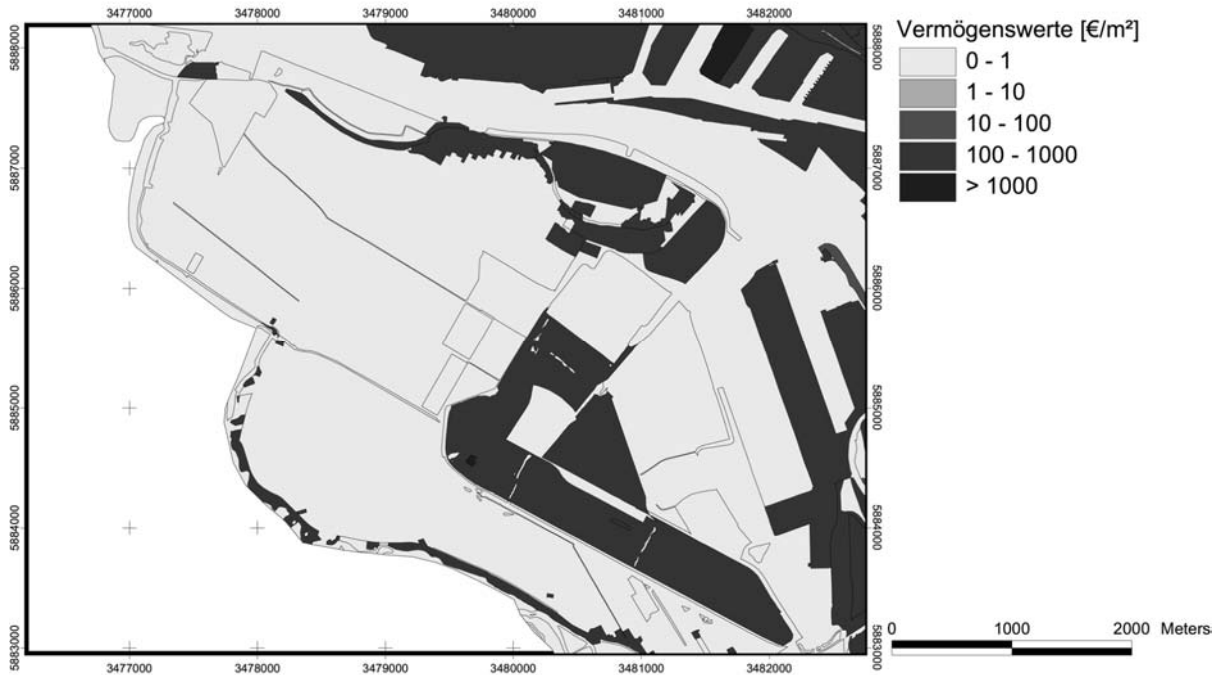


Abb. 2: Vermögenswerte im Bereich der Fokusfläche Seehausen

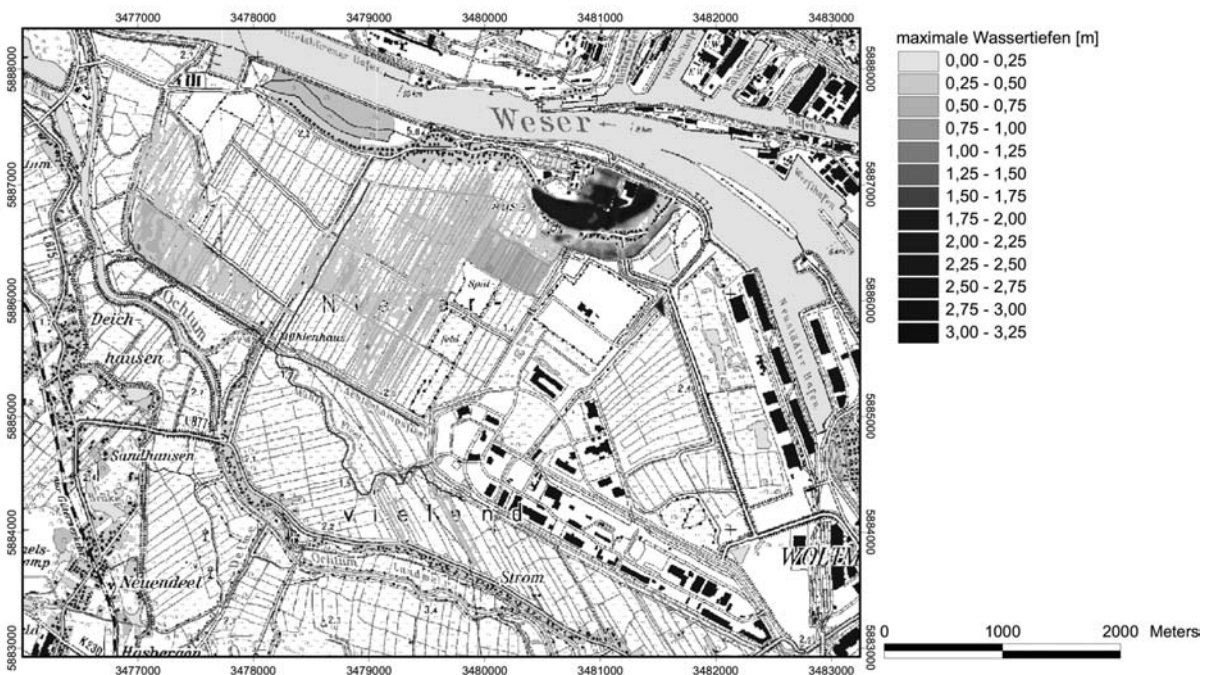


Abb. 3: Maximale Wassertiefen beim Szenario  $Thw_{100}/HQ_{100}$  in der Fokusfläche Seehausen



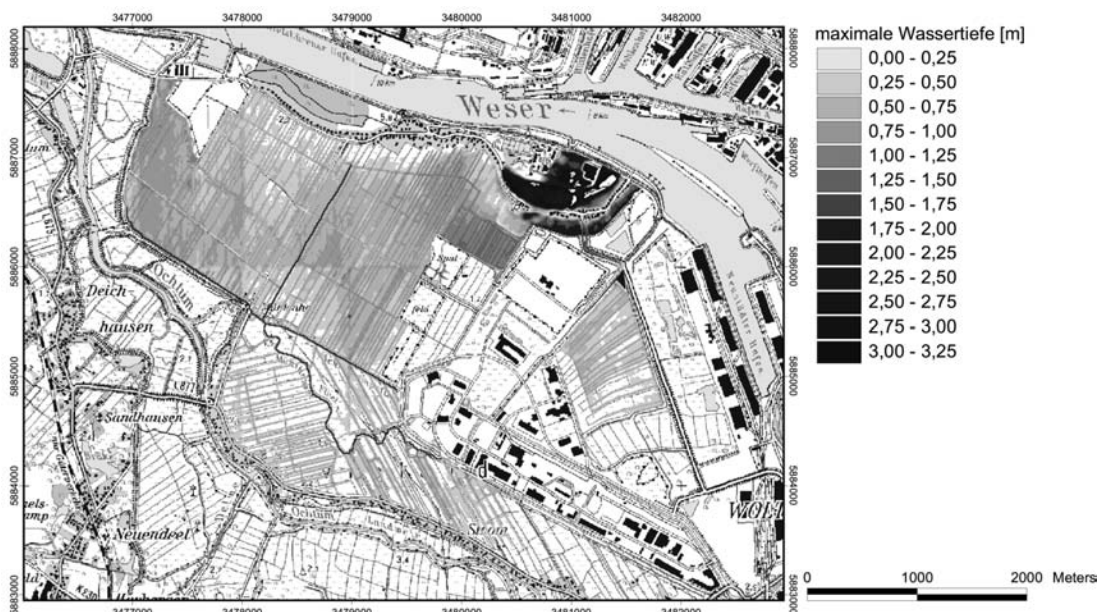


Abb. 4: Maximale Wassertiefen beim Szenario Thw<sub>100</sub>/HQ<sub>100</sub> und einem Anstieg des Meeresspiegels um 55 cm (Klimaszenario) in der Fokusfläche Seehausen

Tab. 1: Schäden nach Flächennutzung in der Fokusfläche Seehausen beim Szenario Thw<sub>100</sub>/HQ<sub>100</sub> und einem Anstieg des Meeresspiegels um 55 cm (Klimaszenario)

Art der Fläche	betroffene Fläche [ha]	Schaden [Mio. €]
Wohnbaufläche	9,78	8,40
Kläranlage, Deponie	17,30	13,61
Flächen mit gemischter Nutzung	13,89	19,14
Grünland	649,68	0,19
sonstige Flächen (z.B. Sportanlage)	3,17	1,87
	<b>693,82</b>	<b>43,21</b>

Anhand der ermittelten Versagenswahrscheinlichkeiten und der ermittelten Schäden kann das Risiko für die Fokusflächen Werderland, Seehausen und Blockland für die simulierten Deichbruchszenarien ermittelt werden. In Tab. 2 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die drei Fokusflächen im Ist-Zustand und bei Klimawandel (um 55 cm erhöhter Meeresspiegel) aufgeführt. Für die Fokusfläche Blockland wurde angenommen, dass das Lesumsperrwerk aufgrund einer Störung die Sturmflut nicht kehren konnte. Dieses Versagen wurde bei der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit und somit auch bei der Risikoanalyse nicht berücksichtigt.

Tab. 2: Risiko der Fokusflächen im Ist-Zustand und bei Klimawandel

Fokusfläche	Küstenschutzelement	Versagenswahrscheinlichkeit [1/a]		Schaden infolge des Versagens [Mio. €]		Risiko [€/a]	
		Ist- Szenario	Klima-Szenario	Ist- Szenario	Klima-Szenario	Ist- Szenario	Klima-Szenario
Werderland	Deich	1/6150	1/1800	10,77	16,40	1.748	9.161
Seehausen DB1	Deich	1/1050	1/280	19,63	27,84	18.289	100.705
Seehausen DB2	Deich	1/1050	1/280	32,98	43,21	30.727	156.302
Blockland	Deich	1/30*	1/5*	11,24*	12,52*	361.415*	2.686.695*

\*bei Versagen des Lesumsperrwerks

## 5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass Schäden in den Fokusflächen zum größten Teil auf landwirtschaftlich genutzten Flächen entstehen und dementsprechend gering sind (Tab. 1 und 2). Vorhandene Gewerbe- bzw. Industrieflächen in den Fokusflächen liegen höher und sind nicht betroffen. Die Untersuchung zeigt auch, dass mögliche Stellen eines Versagens der Küstenschutzsysteme schwierig zu finden sind. Im Falle des Werderlandes muss für ein Versagen des Deiches an der Moorlosen Kirche auch die in den Deich eingelassene Spundwand versagen. Für extreme Wasserstände bei Niederblockland muss ein Versagen des Lesumsperrwerkes vorausgesetzt werden.

Die monetär zu bewertenden Schäden sind in allen Fokusflächen überschaubar. Die Fließzeiten bis zum Erreichen der maximalen Ausbreitungsflächen lassen Spielraum für Maßnahmen des Katastrophenmanagements. Eine wirkliche Gefahr für Leib und Leben besteht in unmittelbarer Nähe der Deichbruchstellen (<300 m), da hier die Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertiefen zu groß sind. Entscheidend für eine Gefährdung ist hier nicht die Wassertiefe, sondern die Wassertemperatur.

Die wird außerdem deutlich, dass auch bei einem Meeresspiegelanstieg um 55 cm (Bremerhaven Alter Leuchtturm) die Ausbreitungsflächen nur unwesentlich größer werden. Das Risikopotential im Stadtgebiet von Bremen ist somit überschaubar, da der wirkliche Siedlungsbereich nicht gefährdet ist. In den gefährdeten Bereichen kann durch einfache Maßnahmen (Aufklärung, Ausarbeitung von Fluchtplänen, gezielte Umleitung von eindringendem Wasser etc.) die Gefährdung merklich reduziert werden.

## Literatur

- Mai, S. (2004): Klimafolgenanalyse und Risiko für eine Küstenzone am Beispiel der Jade-Weser-Region. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Heft 91.
- Spekker, H., A. Matheja, A. Verworn & C. Zimmermann (2006): Einfluss von Entlastungspoldern auf die Wasserstände bei Sturmfluten und extremen Hochwässern in Ästuaren. Int. Konf. „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes, Tangermünde, 23.-25. November 2006.
- Spekker, H., A. Matheja & C. Zimmermann (2006): Risikosteuerung bei Hochwässern in Tideflüssen. *Acqua Alta 2006*, 3. Internationale Fachmesse für Hochwasserschutz, Klimafolgen und Katastrophenmanagement, Hamburg.
- Franzius-Institut (2007): Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft (INNIG) - Teilprojekt 1: Risikoanalyse und -steuerung - Förderkennzeichen: 0330693A, Endbericht.

## Adresse

Dipl.-Ing. Heiko Spekker  
Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen  
Leibniz Universität Hannover  
Nienburger Straße 4  
D-30167 Hannover

[hsp@fi.uni-hannover.de](mailto:hsp@fi.uni-hannover.de)





## **Jade-Weser-Region heute und in 2050: Skizzen zu möglichen Zukünften**

Dietmar Kraft & Frank Ahlhorn

Institut für Chemie und Biologie des Meeres, AG Integrative Modellierung

### **Abstract**

The publication of the current results of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) intensifies the discussion on the possible impacts of climate change, on sufficient mitigation measures and on adequate adaptation strategies. Existing (use) conflicts in the coastal zones can develop even worse under climatic change. The aim is to create new approaches and to identify adaptation strategies concerning existing as well as possibly occurring future problems is a challenge: We have to create flexible and new development options which are able to reduce the conflicts – tomorrow and in the future.

This article describes the current state of existing characteristics of different user perspectives and their natural boundary conditions. Furthermore, the existing conflicts between certain user perspectives will briefly be described. Intended projects are combined with the scenarios provided by the IPCC to possible development options for the Jade-Weser region in the northwestern part of Lower Saxony. Finally, these development options will be discussed regarding their capability as resolution for the year 2050.

### **1 Einleitung**

Die Bekanntgabe der aktuellen Studie des IPCC zum Klimawandel und dessen Folgen hat die Diskussion um Vermeidungs- und Anpassungsstrategien intensiviert. Die Feststellung, dass sich die Folgen des Klimawandels global sehr unterschiedlich ausprägen können, hat zur Folge, dass sich beispielsweise küstennahe Regionen zunehmend mit diesem Thema auseinandersetzen. Mögliche Anpassungsstrategien sind nicht nur Gegenstand wissenschaftlicher Forschung, sondern finden auch vermehrt konkreten Eingang in die aktuellen Planungen. Anhand dreier aus den Emissionsszenarien des IPCC (Special Report on Emissions Scenarios (SRES)) abgeleiteten Nutzungs-Szenarien werden anhand typischer Konfliktlinien in der Jade-Weser-Region exemplarisch mögliche Entwicklungsoptionen und deren Auswirkungen beschrieben und diskutiert.

### **Fragestellung**

Im vorliegenden Artikel wird die aktuelle raumplanerische Situation der Jade-Weser-Region umrissen und mögliche Entwicklungen bis ins Jahr 2050 skizziert. Ziel der Arbeit ist es, exemplarisch zu hinterfragen, inwieweit heutige, sektorale Handlungsoptionen in Zukunft greifen. Stellen sich bestehende Konflikte in Zukunft weiterhin ein, werden sie intensiver oder heben sie sich möglicherweise auf? Inwieweit können durch die Umsetzung einiger Optionen neue, bisher nicht relevante Konflikte entstehen?

Jeder Gruppe von Nutzern, hier exemplarisch auf die Sektoren verkehrliche Infrastruktur, Häfen, Energie und Wirtschaft, Küstenschutz und Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Naturschutz sowie Tourismus fokussiert, wird eine eigene, charakteristische Nutzung einer Landschaft zugesprochen. Diese Nutzerperspektiven beschreiben typische, räumliche wie auf bestimmte Ressourcen konzentrierte Nutzungsschwerpunkte. Zwischen den Nutzerperspektiven bestehen landschaftstypische Wechselwirkungen, die sich in Konflikten oder auch Synergien manifestieren können. Einzelne oder

auch mehrere unterschiedliche Nutzer richten ihre Nutzungsansprüche strategisch auf einen Nutzungsstrang aus. Entwicklungsoptionen dienen der Anpassung einzelner Nutzungsstränge.

Zwischen natürlichen Standortbedingungen und ökonomischen Standortfaktoren bestehen typische Wechselwirkungen. Jede Veränderung eines Faktors kann sich unmittelbar auf alle anderen Bedingungen auswirken, wobei, je nach Blickwinkel und Bewertungskriterium, positive oder negative Effekte resultieren können. In einzelnen Sektoren bilden sich so typische Konfliktlinien aus.

An dieser Stelle kann nur skizzenhaft auf die bestehenden Konfliktlinien eingegangen werden; eine umfassende Beschreibung und Aufzählung würden den Rahmen dieses Artikels sprengen.

## 2 Jade-Weser-Region: Standortfaktoren und aktuelle Konfliktlinien

Die Jade-Weser-Region befindet sich im Nordwesten Niedersachsens und umfasst die Ästuar von Jade und Weser (Abb. 1). Die ländlich geprägte Region befindet sich in einer ausgewiesenen Randlage zu den Oberzentren Bremen und Oldenburg. Landwirtschaft und Tourismus bilden lokal die Haupteinnahmequellen. Handel, Dienstleistung und Industrie ist in den Städten Nordenham, Varel und Wilhelmshaven verortet, seeschifftiefe Häfen befinden sich in Bremerhaven, Brake und Wilhelmshaven (Kraft & Steinecke 1999). Die Landwirtschaft ist durch Grünlandnutzung charakterisiert, es dominieren Wiesen und Weiden sowie Grasäcker; zunehmend werden Maisäcker zum Energiepflanzenanbau angelegt. Der Küstenschutz in der Region besteht ausschließlich aus einem Hauptdeich und Sperrwerken an den Nebenflüssen der Weser, streckenweise sind Sommerdeiche vorgelagert. Vor den Deichen finden sich Abschnitte mit breitem Vorland, bevor sich unmittelbar das Wattenmeer anschließt. Die größtenteils unter dem Meeresspiegel liegenden, sehr intensiv landwirtschaftlich genutzten Marschen müssen durch aufwendige Wasserwirtschaft entwässert werden.

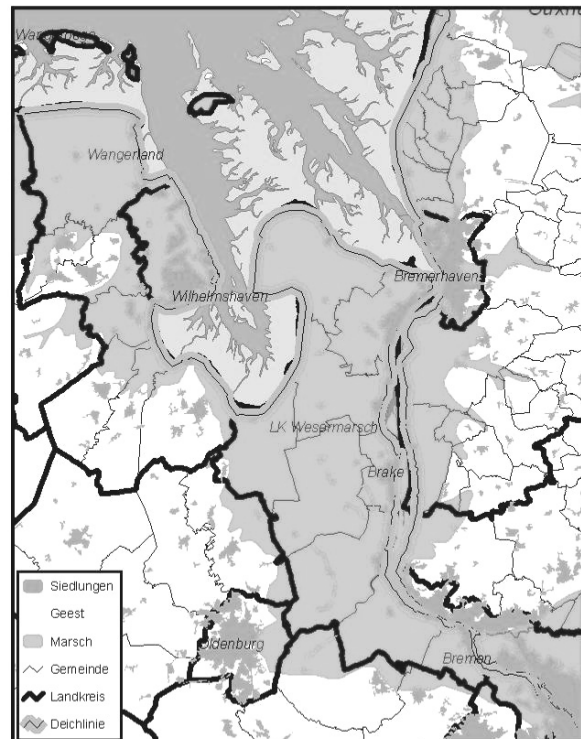


Abb. 1: Karte der Jade-Weser-Region, bestehend aus den Landkreisen Wesermarsch, Friesland und Ammerland mit den Städten Wilhelmshaven und Bremerhaven, Quelle: CLC u.a.

### Natürliche Standortbedingungen

Vor dem Hintergrund hoher Grundwasserstände, einer sehr flachen Topographie und der unmittelbaren Küstenlage sind das regionale Klima und die Lage des Meeresspiegels zwei wesentliche natürliche Randbedingungen, die die Nutzung der Jade-Weser-Region bestimmen. Jede andauernde Veränderung der natürlichen Randbedingungen kann entsprechend die vorhandenen Nutzungsmöglichkeiten verändern.

### Klima

Die Jade-Weser-Region ist der feucht-gemäßigten Westwindzone der Nordhalbkugel zuzurechnen. Küstennah ist das aktuelle Klima durch ganzjährig hohe Niederschläge, kräftige Winde und durch die ausgleichende Wirkung der Nordsee durch vergleichsweise gemäßigte Jahresmittel der Lufttemperatur bei milden Wintern und kühlen Sommern bestimmt. Die für Zentraleuropa typischen unbeständigen

Wetterlagen führen auch im Untersuchungsraum zu großer Unbeständigkeit und Variabilität der Witterung und teilweise extremen Wettersituationen (Kraft & Steinecke 1999). Ausgewählte meteorologische Kenngrößen sowie der Meeresspiegel werden nachfolgend kurz dargestellt und beschrieben.

Typische meteorologische Kenngrößen wie Sonnenscheindauer, Niederschlagshöhe, Lufttemperatur und Windstärke weisen in der Region deutliche Variabilität auf, was sich gut in den Streuungen der Jahres- und Jahreszeitenwerte ablesen lässt. Während im Frühjahr z.B. die Sonnenscheindauer weitestgehend homogen ist, ist die Spannweite im Sommer und Herbst deutlich größer. Im Jahr 2002 fiel insgesamt fast doppelt so viel Niederschlag wie in 2006. Der meiste Niederschlag fällt in der Regel im Sommer, allerdings ist die Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten sehr inhomogen und auch die Spannweiten, besonders im Sommer und Herbst sehr hoch. Bis auf den Frühling weisen die Niederschlagswerte einen sehr leichten negativen Trend auf (Abb. 2). Die Jahres- wie Jahreszeitenmittel der Lufttemperatur fallen vergleichsweise stetig aus und sind jahreszeitentypisch. Demgegenüber fallen die Spannweiten der Windstärke jahreszeitentypisch sehr unterschiedlich aus: Im Winter, der Jahreszeit mit den höchsten Windstärken, schwanken die Werte deutlich, während im Frühjahr vergleichsweise stetige Winde wehen.

Auch der rekonstruierte mittlere Meeresspiegel am Pegel Cuxhaven zeigt neben einem langjährigen positiven Trend auch dessen deutliche Varianz. Jahresspannweiten von 40 bis hin zu 80 cm sind keine Seltenheit und bilden sich entsprechend auch in den Höhen der mittleren Hoch- und Niedrigwasserstände ab (Abb. 3).

Unabhängig von den noch zu erwartenden zukünftigen Veränderungen sind heute bereits Trends und deutliche Spannweiten in einigen Kenngrößen des Klimas (wie auch des Meeresspiegels) zu verzeichnen. Sowohl die für die landwirtschaftliche Nutzung relevanten Kenngrößen, insbesondere Niederschlag und Temperatur, aber auch der für die Bewirtschaftung des Be- und Entwässerungssystems der Marschen relevante Meeresspiegel sind deutlichen, „natürlichen“ Schwankungen unterworfen. Die aus Sicht des Tourismus möglicherweise bedeutende Sonnenscheindauer wie auch die für die Energiegewinnung in der Region bedeutsame Windstärke weisen solche Schwankungen auf. Bereits heute, als das Ergebnis kontinuierlicher Maßnahmen, verfügt die Region über ein Spektrum von Anpassungsmöglichkeiten an Schwankungen der natürlichen Standortbedingungen.

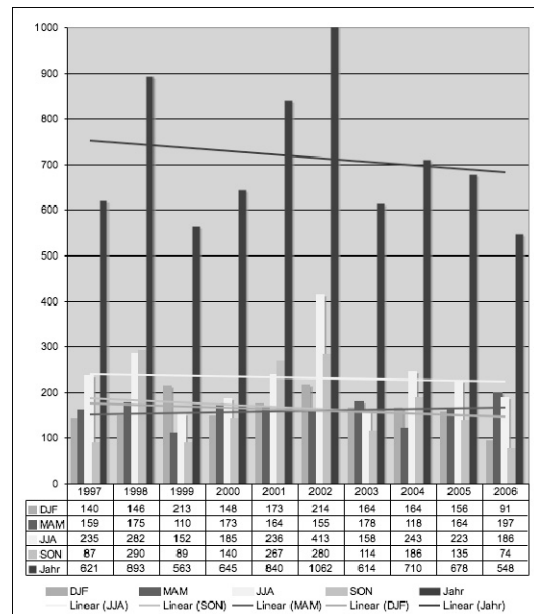


Abb. 2: Jahres- und Jahreszeitenmittel der Tagesniederschlagshöhen in Bremen-Flughafen mit Trend; hervorzuheben sind die deutlichen Schwankungen, vor allem der Sommerwerte (Quelle: DWD)

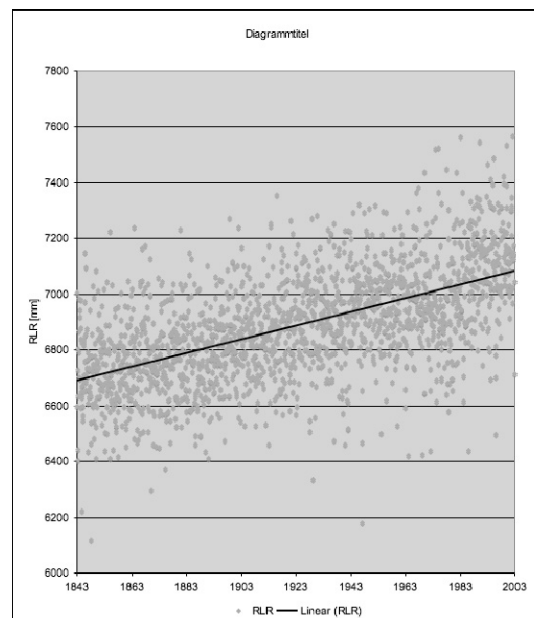


Abb. 3: Mittlerer Rekonstruierter Meeresspiegel am Pegel Cuxhaven (Quelle: PMPSSL)

## Standortfaktoren und aktuelle Konfliktlinien

### Verkehrliche Infrastruktur

Die verkehrliche Infrastruktur wird durch den Eisenbahn- und Straßenverkehr sowie durch die Seeschiffahrtsstraßen Jade und Weser bestimmt. Die beiden Hafenstädte Wilhelmshaven und Bremerhaven werden durch Autobahnen und Eisenbahnlinien an das Hinterland angebunden. Bremerhaven hat mit der Weser auch eine Anbindung an das Binnenwasserstraßennetz in Deutschland, was für Wilhelmshaven bisher nicht gegeben ist. Die Entwicklung der Containerschiffe hin zu immer größerer Ladekapazität (bis zu 12.000 TEU) bedingt eine entsprechende Tiefe der Seewasserstraßen Jade und Weser. Für die Außenweser ist auf Grund der neueren Entwicklung eine Anpassung auf -13,50 m NN geplant. Für die Unterweser sind Anpassungen bis Brake von -12,80 m NN und bis Bremen auf -11,10 m NN geplant (PG Weseranpassung 2006). Das Jadefahrtwasser von Wangerooge bis Wilhelmshaven hat zurzeit eine schiffbare Tiefe von ca. -18 m NN und genügt somit den heute gestellten Anforderungen.

Konflikte auf dem Gebiet verkehrliche Infrastruktur werden bei der Anpassung der Fahrrinnen der Schifffahrtsstraßen deutlich. Zum einen haben z.B. Begradigungs- und Vertiefungsmaßnahmen Auswirkungen auf das Strömungsverhalten und somit auf die Strömungsgeschwindigkeit in den Gewässern. Dies kann z.B. zu höheren Wasserständen in den Oberläufen der Flüsse führen, welches eine erhöhte Belastung und evtl. Anpassung küstenschutz-technischer Bauwerke nach sich ziehen könnte. Zum anderen wirken sich diese Anpassungen auch auf die Flussökologie und ganz allgemein auf die Güte des Fließgewässers aus. Die Anpassungen greifen, insbesondere im Bereich der Außenweser, in das Strömungsregime ein. Ist der Arm der Außenweser in den vergangenen Jahrhunderten zwischen der Bremerhavener und der Butjadinger Küste mäandriert, so ist dies durch die Festlegung der Außenweser als Fahrrinne nicht mehr möglich. Die Vertiefungen der letzten 100 Jahre und der Bau eines Dammes zu Langlütjen (einer Insel in der Außenweser) führten dazu, dass die südlich gelegene Rinne immer mehr versandet und z.T. nicht mehr schiffbar ist (siehe z.B. Homeier 1959, Homeier 1967).

### Häfen, Energie und Wirtschaft

In der Jade-Weser-Region befinden sich zwei Seehäfen und mehrere tidebeeinflusste Binnenhäfen. Die oben angesprochene Entwicklung bei den Containerschiffen bedingt auch eine Erweiterung der Ladekapazitäten der Häfen. Als Reaktion darauf wird in Bremerhaven der Container Terminal IV (CT IV) gebaut. Die heute ca. 3,5 km lange Stromkaje wird auf über 5 km ausgebaut (Vollstedt & van Barga 2005). Die Stellflächen für die angelandeten Container müssen in gleichem Zuge erweitert werden. Das erweiterte Hafengelände umfasst ca. 90 ha. Als bremisch-niedersächsische Reaktion auf die Containerschiffe der neuen Generation mit bis zu 12.000 TEU soll in 2010 der Containerhafen Wilhelmshaven (JadeWeserPort) fertig gestellt werden. Die Kaje wird im ersten Bauabschnitt eine Länge von 1,7 km haben, womit ein Umschlag von ca. 2,7 Mio TEU geleistet werden soll (Snippe 2003).

Die Energiewirtschaft in der Region wird durch ein Kernkraftwerk und zwei Kohlekraftwerke, die der Unterweser bzw. der Jade zur Kühlung Brauchwasser entnehmen, bestimmt. Zudem ist das Potenzial für Windenergiegewinnung groß. Im Gegensatz zu Gebieten in Ostfriesland sind in der nördlichen Wesermarsch relativ wenige Windparks entstanden, eine mehr dezentrale Verteilung solcher Anlagen prägt die Landschaft. Im aktuellen Landesraumordnungsprogramm (LROP) ist für den Bereich Nordergründe vor der Wurster Küste ein Near-Shore Windpark eingeplant.

Die Anpassungen der Flüsse sind erforderlich, weil immer größere Containerschiffe die deutschen Häfen erreichen sollen. Dies wiederum hat zur Folge, dass auch die Häfen ihre Infrastruktur den neuen Gegebenheiten anpassen müssen. Erweiterungen des Bremerhavener Hafens und der Neubau eines Containerterminals in Wilhelmshaven ziehen Konsequenzen für die Umwelt nach sich. Z.B. werden in

beiden Fällen ehemalige Wattflächen aufgespült und versiegelt. Die Anpassungen der Fahrrinne aber auch der Häfen erfordern z.T. Erhöhungen und Verstärkungen im Küstenschutz. Ausgleichsmaßnahmen für die Hafenerweiterungen bzw. -neubauten werden an der Küste durchgeführt und greifen in das bestehende Schutzsystem ein. So soll z.B. für den Jade-Weser-Port eine Polderfläche im nördlichen Butjadingen geöffnet werden; diese Fläche wird derzeit durch einen Polderdeich geschützt. Eine Öffnung des Polderdeiches, um die Fläche wieder dem Tideinfluss auszusetzen, würde aber auch Baumaßnahmen am Hauptdeich nach sich ziehen. Konflikte mit der Energiewirtschaft sind im Untersuchungsraum als wenig gravierend einzuschätzen. Konfliktpotenzial z.B. mit dem Tourismus bestünde für die Errichtung des Near-Shore Windparks in Nordergründe, da dieser innerhalb der 12 sm Zone und damit deutlich in Sichtweite läge und an der Grenze zum Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Die aktuelle Förderpolitik in der Energiewirtschaft begünstigt zudem die Errichtung von Biogasanlagen. In einigen Regionen führt dies zu Veränderungen in der landwirtschaftlichen Nutzung der vorhandenen Fläche, indem Grünlandflächen zu Ackerbauflächen umgewandelt werden, um Energiepflanzen anzubauen.

### Küstenschutz und Wasserwirtschaft

Das Niedersächsische Deichgesetz (NDG) regelt den Küstenschutz in Niedersachsen (MU 2004). Das NDG regelt die Organisation sowie die Aufgaben und definiert die Elemente des niedersächsischen Küstenschutzes. Im NDG wird die geschützte Fläche festgelegt, sie beträgt in Niedersachsen ungefähr 6.500 km<sup>2</sup> (NLWKN 2007). Der Hauptdeich ist das Hauptschutzelement im niedersächsischen Küstenschutz. Als weitere Elemente kommen Sperrwerke, Vorländer und Inseln hinzu. Im NDG ist festgehalten, wann und wie Hauptdeiche überprüft und ggf. geänderten Randbedingungen angepasst werden müssen. Der aktuelle Zustand der Küstenschutzelemente, die baulichen Maßnahmen und deren finanzieller Bedarf für einen Zeitraum von ungefähr 10 Jahren werden im Generalplan Küstenschutz beschrieben. Der aktuelle Generalplan Küstenschutz (Festland) ist aus dem Jahre 2007 (NLWKN 2007) und wurde zusammen mit dem Bundesland Bremen erstellt. In Niedersachsen müssen ca. 125 km Hauptdeiche erhöht bzw. verstärkt werden. In Bremen sind es ca. 55 km, was 74 % der Landesschutzdeiche entspricht. Ein Schwerpunkt für die Erhöhung und Verstärkung von Deichen liegt im Untersuchungsgebiet Jade-Weser: Am süd-östlichen Jadebusen. Dort hat der Hauptdeich eine Fehlhöhe von bis zu 1 m. Der Küstenschutz muss sich heute schon Herausforderungen vielfältiger Art stellen: Erhöhung der Deiche erfordert in der Regel mehr Raum und erhöhten Materialbedarf. Auf der anderen Seite gibt es Stellen, insbesondere am süd-östlichen Jadebusen, an denen der Untergrund eine schlechte Tragfähigkeit aufweist. Hier müssen geeignete Strategien für die Baumaßnahmen gefunden werden. In Abb. 4 ist ein Querschnitt für den Bereich des süd-östlichen Jadebusen mit erforderlichem Baubedarf dargestellt.

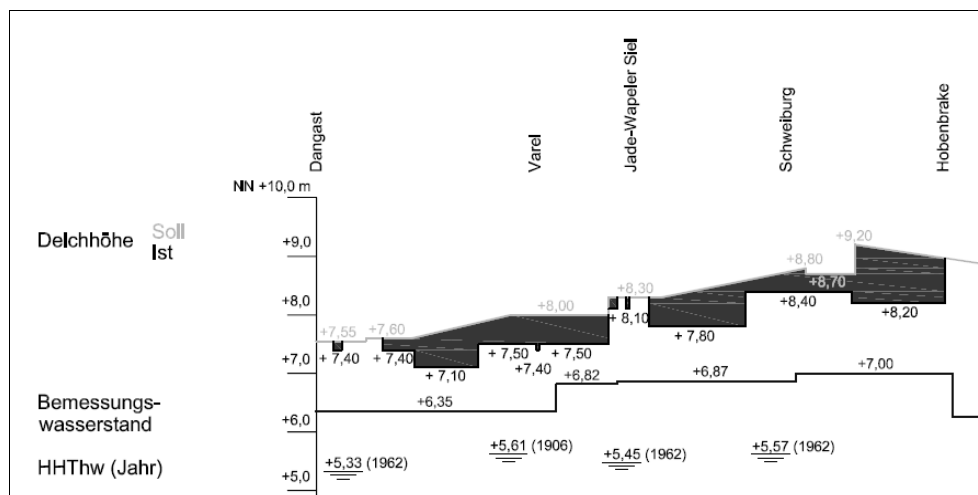


Abb. 4: Querschnitt und Darstellung des Baubedarfs für die Hauptdeichlinie am süd-östlichen Jadebusen in der Jade-Weser Region, Quelle: NLWKN 2007



Mit dem beginnenden Deichbau vor ca. 1.000 Jahren war auch die Entwässerung des Hinterlandes verbunden. Die Deiche halten nicht nur Sturmfluten ab, sondern unterbinden den natürlichen Übergang vom Land zur See. Dabei hat sich das Höhengniveau der Marsch deutlich abgesenkt, so dass heute weite Teile sogar unter NN liegen. Die hauptsächlich landwirtschaftliche Nutzung der Marsch machte eine Entwässerung des Bodens ebenso notwendig. Diese Entwässerung wird durch ein weit verzweigtes System aus Gräben und Vorflutern gewährleistet, die über Siele und Schöpfwerke in die Nordsee entwässern. Vermehrter Niederschlag im Hinterland führt zu erhöhten Abflussmengen und somit zu einem erhöhten Bedarf an Sielzugzeiten oder verlängerten Schöpfzeiten. Auf der anderen Seite ist die Bewässerung in den Marschen im Sommer zur Viehtränke notwendig. Das Trinkwasser der Region wird überdies größtenteils aus der Region selber gewonnen.

Niedersachsen muss, wie oben beschrieben, ca. 125 km Hauptdeiche erhöhen bzw. verstärken. Nach traditioneller Art bedeutet dies, dass die Deichkrone erhöht wird. Eine Erhöhung hat eine Ausweitung des Deichfußes zur Folge und darüber hinaus einen hohen Bedarf an Baumaterial (Sand und Klei). Der zusätzliche Raumbedarf ist an vielen Stellen der Küste nicht mehr vorhanden, da bebaute Infrastruktur zu nah an den Deich herangerückt ist. Der zusätzliche Materialbedarf an Klei kann nicht wie in früheren Jahren aus dem Vorland gewonnen werden, da dort der Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer errichtet wurde und diese Nutzung verboten worden ist. Ansätze, diesen Konflikt zu lösen, sind mit den „10 Punkten für einen effektiveren Küstenschutz“ (MU 2006) erstellt worden, doch führte dies zu erneuten Konflikten. Nach dem der Klei nicht mehr im Vorland gewonnen werden kann, muss er im Binnenland gewonnen werden. Dies ist aber nur an ganz bestimmten Stellen möglich, in denen eine andere Nutzung bereits existiert. Ein weiterer Konfliktpunkt besteht zwischen dem Küstenschutz und dem Naturschutz, weil die Erweiterungen des Deichfußes in der Regel nach vorne durchgeführt werden. Die Kosten für das Ausbauprogramm für Niedersachsen werden auf 520 Mio. € veranschlagt, wobei ca. die Hälfte für die Maßnahmen am Jadebusen verplant ist.

### **Landwirtschaft und Naturschutz**

Art und Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung der potenziell ertragreichen Marschböden sind und waren starken Schwankungen unterlegen. Wurden noch in den 1960er Jahren auf fast einem Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche Getreide angebaut und dominierte in den 1990er Jahren Rindermast die zunehmend flächengroßen Betriebe, ist heute vor allem Milchwirtschaft anzutreffen. Mit der Intensivierung der Landwirtschaft gingen in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Meliorationsmaßnahmen einher. Zahlreiche, vormals naturnahe, so genannte Grenzertragsstandorte wurden durch Drainage und Tiefumbruch in Grasäcker verwandelt, Wiesen und Weiden mussten Intensivgrünland weichen. Neben den teilweise sehr wertvollen landwirtschaftlichen Nutzflächen des Binnenlandes ist für den Naturschutz das Vorland von herausragender Bedeutung (Landschaftsschutz-, Naturschutz- und NATURA 2000-Gebiete). Am seeseitigen Deichfuß beginnt der Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer, welcher in drei unterschiedliche Schutzzonen aufgeteilt ist. Deren Schutzstatus reicht von besonders stark geschützten Zonen bis zu Zonen, in denen dem Tourismus Vorrang gegeben wird. Der Jadebusen, die Rückseitenwatt und die offenen Watten im Weserästuar sind Bestandteile des Nationalparks.

### **Tourismus**

Der Tourismus ist eine der wichtigsten Nutzergruppen in den Küstenlandkreisen und wurde in den letzten Jahren verstärkt ausgebaut. Steigende Übernachtungszahlen und ein diversifiziertes Angebot an Freizeitaktivitäten sollen die Attraktivität der Region erhöhen. Typisch für die Jade-Weser-Region sind Wochenausflügler, die, von Meer und Küste angezogen, Kurzurlaub an der See machen. Der Fremdenverkehr ist deutlich saisonal und von individuellen Vorlieben geprägt. Von entscheidender Bedeutung ist die verkehrliche Erreichbarkeit der Region, insbesondere aber auch die schnelle Anbindung an attraktive Oberzentren. Durch den grundlegenden Wandel des Arbeitsmarktes in der Region kommt dem Tourismus zunehmende Bedeutung als Wirtschaftsfaktor zu. Die Entwicklung der

unmittelbaren Küstenregion als Fremdenverkehrsstandort wird auch kommunal stark gefördert. Der lokale Tourismus reagiert sehr empfindlich auf regionale Veränderungen und starken wetter-, aber auch konjunkturbedingten Fluktuationen in positiver wie auch negativer Richtung.

### 3 Zukunftsoptionen

Vor dem Hintergrund der in Kasten 1 beschriebenen *Zukünfte* werden hier nun regionale Entwicklungsoptionen skizziert. Aus den SRES-Storylines werden unter Berücksichtigung aktueller Planungen für die potenzielle Wirtschaftsentwicklung der Jade-Weser-Region beschrieben und daraus Zukunftsoptionen entwickelt. Auch hier ist der Diskussionsbedarf sicher hinreichend groß.

#### IPCC-Szenarien

Grundlage der Modellrechnung des IPCC sind so genannte Storylines, in den charakteristische Emissionsszenarien zusammengestellt sind. Diese sind im Special Report on Emissions Scenarios (SRES) zusammengefasst. Nachfolgend werden die wichtigsten Kriterien für die drei hier zur Anwendung kommenden Beispielszenarien vorgestellt. Dabei wurden die globalen SRES nach bestem Wissen an die regionalen Gegebenheiten angepasst, im Detail besteht hier sicherlich noch Diskussionsbedarf.

##### **A2: Zukunft A**

Zukunft A, *Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung*, leitet sich aus der SRES-Storyline A2 «heterogeneous world» ab.

A2 beschreibt eine Szenariofamilie, die sich an den Zielen *Eigenständigkeit* und *Erhalt der lokalen Identität* orientiert. Der demoskopische Wandel in der Region setzt sich unverändert fort, die Bevölkerung nimmt kontinuierlich ab. Die ökonomische Entwicklung konzentriert sich auf regionale Entwicklung; Wirtschaftswachstum und Technikwandel gestalten sich heterogen und wenig dynamisch.

##### **B2: Zukunft B**

Zukunft B, *Regionale Nachhaltigkeit*, leitet sich aus der SRES-Storyline B2 «local solutions economic, social, and environmental sustainability» ab.

B2 beschreibt eine Szenariofamilie, die sich an lokalen Möglichkeiten zur ökonomischen, sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit ausrichtet. Auch hier setzt sich der Demoskopische Wandel fort, jedoch langsamer als in Zukunft A. Die ökonomische Entwicklung richtet sich an Umweltschutz und Sozialer Gerechtigkeit aus; das Wirtschaftswachstum fällt noch geringer als in Zukunft A aus und der Technikwandel ist vielgestaltiger.

##### **B1: Zukunft C**

Zukunft C, *Globale Nachhaltigkeit*, leitet sich aus der SRES-Storyline B1 «global solutions to economic, social, and environmental sustainability» ab.

B1 beschreibt eine Szenariofamilie, die sich an globaler ökonomischer, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit und Fairness orientiert. Globales Bevölkerungswachstum und regionaler demoskopischer Wandel setzen sich nicht anhaltend fort. Es erfolgt eine rapide Entwicklung hin zu einer Informations- und Service-Ökonomie; Wirtschaftswachstum erfolgt mit deutlich effektiverer Nutzung vorhandener Ressourcen, der Technikwandel erfolgt schnell.

## Optionen für Zukunft A: Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung

Zukunft A orientiert sich an regionalisierter Wirtschaftsentwicklung und kann als Fortsetzungen der aktuellen Entwicklungen betrachtet werden. Die Regionen sind vorrangig auf die Optimierung ihres regionalen wirtschaftlichen Potenzials aus. Auf die Nutzung von Synergieeffekten wird weitestgehend verzichtet.

Für den Untersuchungsraum würde das bedeuten, dass die verkehrliche Infrastruktur deutlich ausgebaut wird. Die heute schon in Planung befindliche A22 (Küstenautobahn) wird gebaut, die Flüsse als Schifffahrtswege werden kontinuierlich weiter vertieft.

Zunehmende Größen der Containerschiffe wird eine Anpassung der Häfen, die sich im europäischen und internationalen Wettbewerb befinden, nach sich ziehen. Die Energiewirtschaft prosperiert moderat, Windkraft wird an geeigneten Standorten ausgebaut und an bestehenden Standorten wird Repowering durchgeführt. Wirtschaftsbetriebe und deren Förderung konzentrieren sich auf klassisches Wachstum und regionale Weiterentwicklung, innovative Techniken und Strukturen bleiben die Ausnahme. Anhaltender Flächenbedarf und klassische Modernisierung zu Lasten des Arbeitsmarktes halten an.

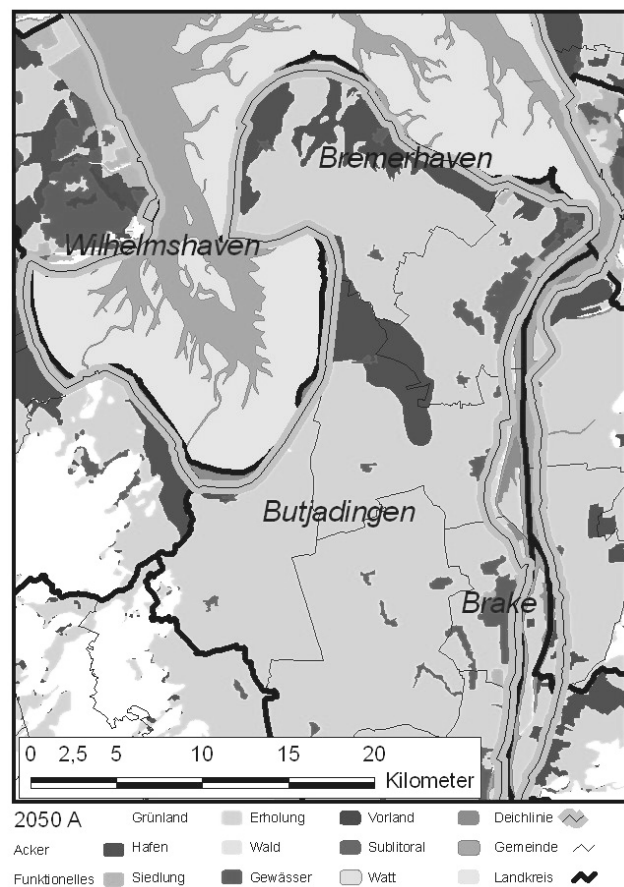


Abb. 5: Mögliche Nutzung in 2050 in Zukunft A (nach Kraft 2004)

Weitere Vertiefungen würden zu erhöhten Anstrengungen im Küstenschutz führen, der hauptsächlich auf die Erhöhung und Verstärkung der bestehenden Hauptdeiche setzt. Das linienhafte Küstenschutzkonzept wird weiter verfolgt, da es an vielen Stellen das wirtschaftlich günstigste zu sein scheint. Die Wasserwirtschaft wird den geänderten Gegebenheiten angepasst, die Siele und Schöpfwerke werden vergrößert bzw. erhalten eine erhöhte Kapazität.

In der Landwirtschaft wird weiterhin bei vereinzelt zunehmendem Energiepflanzenanbau auf intensive Grünlandwirtschaft mit an die ökonomischen Rahmenbedingungen angepassten Milch- oder Mastbetrieben gesetzt. Die Ökonomie der Landwirtschaft ist subventions- und förderungsorientiert.

Der Tourismus steigert seine Erträge durch die Erhöhung der Anzahl der Kurzzeit-Urlauber; Werbeträger sind Küste und Meer. Die Empfindlichkeit auf Veränderungen wie Wandel im Landschaftsbild (Nutzungsveränderungen), Bau von Windparks (Horizontverschmutzung) und Abwandern von Fischern (leere Häfen) ist hoch.

## Optionen für Zukunft B: Regionale Nachhaltigkeit

Die Zukunft B wird als Regionale Nachhaltigkeit beschrieben und weist auf eine veränderte Ausrichtung der räumlichen und wirtschaftlichen Entwicklung hin. Auf regionaler Ebene wird auf Synergieeffekte geachtet; diese werden aufgenommen und umgesetzt, wo es möglich erscheint. Insgesamt hält in Zukunft B der Gedanke der Nachhaltigkeit vermehrten Einzug, was sich durch die

Kooperation einzelner Nutzergruppen untereinander zeigt; die Beteiligung anderer Nutzergruppen und die gemeinsame Entwicklung von Angeboten nehmen zu.

So wird beispielsweise die A22 als Küstenautobahn gebaut, um den transeuropäischen Verkehr neben der überlasteten A1 besser durch Deutschland fließen zu lassen. An einigen Stellen in der Wesermarsch muss der Untergrund verdichtet werden, damit er eine ausreichende Tragfähigkeit besitzt. Dazu werden Sandberge aufgeschüttet. Würden diese dazu genutzt die Autobahn A22 erhöht zu bauen, könnte sie einen zusätzlichen Schutz für das Hinterland nach Deichbrüchen an der Küste bieten.

Die Schifffahrtswege werden den größeren Containerschiffen angepasst; dies geschieht unter der Beteiligung aller relevanten Nutzergruppen mit dem Ziel der gemeinsamen, nachhaltigen Entwicklung der Flüsse, mit möglichst geringen negativen Auswirkungen. Die Energiewirtschaft entwickelt zunehmend dezentrale Energieversorgungskonzepte unter Nutzung klassischer Energieträger, bestehende Windenergieanlagen werden durch effizientere ersetzt. Es werden Biogasanlagen gebaut, die aber nicht nur auf Energiepflanzen angewiesen sind, sondern auch andere natürliche Bestandteile verwerten können. Dies geschieht aber im Einvernehmen mit relevanten Nutzergruppen wie dem Naturschutz, der Landwirtschaft und dem Tourismus. Die wirtschaftliche Entwicklung passt sich den regionalen Strukturen an und unterstützt Maßnahmen zur Minderung der Auswirkungen des demoskopischen Wandels. Auch hier spielt das Einvernehmen mit relevanten Nutzergruppen eine wesentliche Rolle.

Der Küstenschutz setzt das Konzept zusätzlicher Schutzlinien an besonders gefährdeten Stellen um und beginnt einen flächenhaften Schutz aufzubauen. Die Wasserwirtschaft passt ihre Elemente den Gegebenheiten an, nicht alle Siele und Schöpfwerke müssen ausgebaut werden. Zusätzlich geschaffene Polder werden genutzt, um Niederschlagswasser zwischenspeichern und dieses in trockenen Zeiten wieder zur Verfügung zu stellen, ohne dabei in erheblichem Maße auf den Grundwasserleiter zurückzugreifen.

In der landwirtschaftlichen Nutzung werden zunehmend die regionalen Gegebenheiten genutzt und unterstützt. Die nachhaltige Nutzung lokaler Ressourcen hat einen hohen Stellenwert und löst zusehends die rein subventionsorientierte ökonomische Ausrichtung ab. Durch die Stärkung standortgerechter Nutzungen zeigen sich deutliche Synergien zum Naturschutz und Tourismus. Die hohe Bedeutung des Grünlandes für den Vogelschutz wird ergänzt durch naturraumtypische Strukturen an Poldern und auf so genannten Grenzstandorten.

Der Tourismus erweitert sein Angebot und zielt mehr auf die Vermarktung der regionalen Besonderheiten wie Marsch, Wasser und Luft. Der Tourismus erarbeitet nachhaltige Konzepte mit weiteren Nutzergruppen wie Landwirtschaft und Naturschutz.

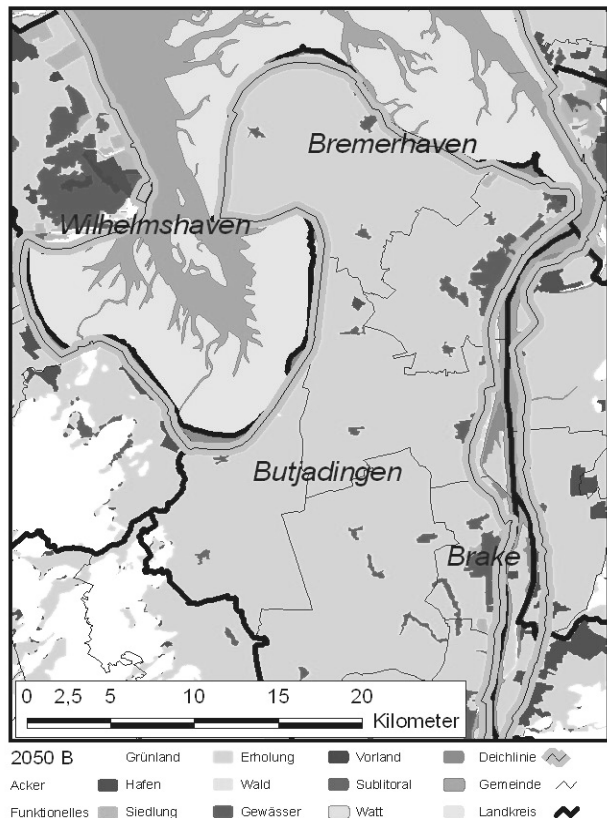


Abb. 6: Mögliche Nutzung in 2050 in Zukunft B (nach Kraft 2004)

## Optionen für Zukunft C: Globale Nachhaltigkeit

Zukunft C ist durch globale Nachhaltigkeit und einer Entwicklung zur Informations- und Servicegesellschaft charakterisiert. Die Entwicklungen nachhaltiger Angebote und Elemente sowie deren Austausch finden weltweit statt, wodurch sich die Möglichkeiten innovativer Entwicklungen um ein vielfaches erweitern.

Beispielsweise könnten auf der neu gebauten A22 von den Häfen zum Abtransport der Container selbst fahrende Lkw eingesetzt werden, die über ein satelliten-gestütztes Navigationssystem zielsicher geleitet werden. Diese Lkw haben Überlängen und transportieren mehr Container als die heutigen Lkw, was zur Verringerung des Verkehrsaufkommen beitragen würde. Die Containerschiffe haben nur eine bestimmte Größe erreicht, um weiterhin an vielen Häfen anlanden zu können. Mit dieser Variante würden die Transporte an Land minimiert bzw. könnten über die erweiterten Kapazitäten der Eisenbahn transportiert werden. Die Motoren der Lkw bestehen aus leichten Verbundstoffen und verbrennen nur erneuerbare Energieträger. Feeder-Verkehr zwischen großen Seehäfen und kleinen Binnenlandhäfen wird über Schiffe mit innovativen, emissionsfreien Antrieben abgewickelt. Denkbar wäre auch ein Zentralhafen (Helgoland?) von dem aus Feeder andere kleinere Häfen bedienen. Ohne weitere Vertiefungen erfolgt eine sukzessive Renaturierung der Flussläufe.

Der Küstenschutz reagiert auf die geänderten Randbedingungen (Material- und Raumbedarf sowie Klimawandel) mit flächenhaften Konzepten, in denen mehrfache Nutzungen stattfinden können. Der vorhandene Raum an der Küste wird gemeinsam unter Einbeziehung aller relevanten Nutzergruppen entwickelt. Die Nutzung von Synergieeffekten wird der innovative Antrieb für die Anpassung der Schutzstrategien im Küstenschutz (RWS 2006, Klenke et al. 2006). Die A22 dient als zusätzlicher Schutz für das Hinterland. Wichtige Straßen werden erhöht im Zuge notwendiger Ausbesserungen und dienen damit als Fluchtwege im Falle einer Katastrophe.

Die Energiewirtschaft hat die bestehenden Windparks mit effizienteren Windenergieanlagen ausgestattet und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Nutzergruppen einen Near-Shore Windpark erstellt. Dieser dient sowohl der Erzeugung regenerativer Energie als auch als Ausflugsziel für Touristen aus der Region. Eine Aussichtsplattform und die Möglichkeit der Vogelbeobachtung erhöhen die Attraktivität dieses Angebotes. Die eingenommenen Gelder fließen zu gleichen Teilen den Beteiligten zu, so dass auch der Naturschutz von dieser Zusammenarbeit profitieren kann.

Die Landwirtschaft verändert, bedingt durch geänderte Förderbedingungen, ihre Bewirtschaftungs- und Ertragsstrukturen hin zu naturraumtypischen Einheiten. Tief gelegene Marschgebiete werden extensiviert und die Wiedervernässung von Flächen durchgeführt. Verminderte Be- und Entwässerung führt zur Entlastung der Wasserwirtschaft. Der Anbau von Energiepflanzen wird durch die Landwirtschaft noch immer betrieben, aber die dezentrale Energieversorgung dominiert zunehmend.

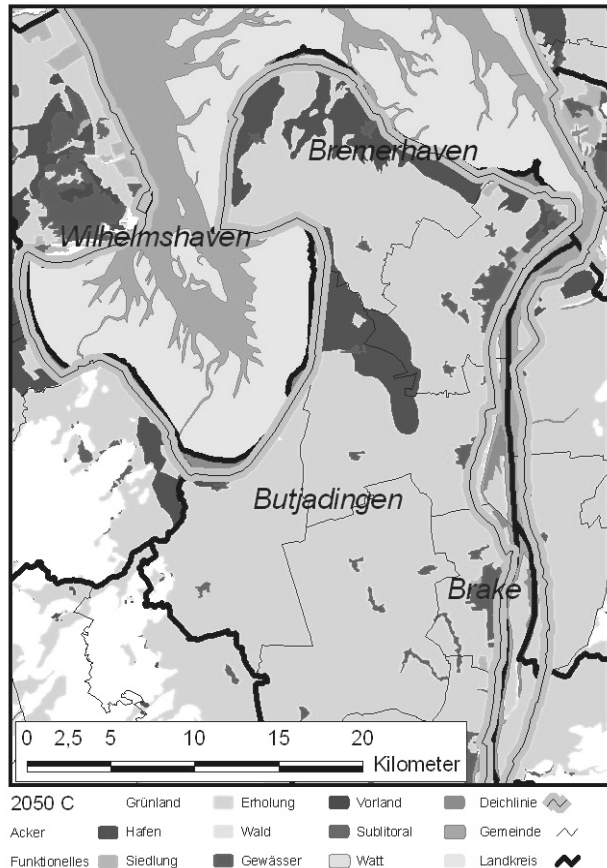


Abb. 7: Mögliche Nutzung in 2050 in Zukunft C (nach Kraft 2004)

Der Tourismus an der Küste ist komplett auf Nachhaltigkeit umgestellt. Schneller Tourismus ist so gut wie nicht mehr zu finden. Die Gäste reisen bis Bremen mit der Bahn und steigen dann in Solarmobile um, die sie an ihren Zielort fahren. Auf dem Near-Shore Windpark bestehen Übernachtungsmöglichkeiten in einem so genannten Windhotel. Ein Shuttle-Service bringt Touristen zu den Off-Shore Windparks in der Nordsee, die in ausgedienten Ölbohrplattformen nicht nur ihre technische Zentrale, sondern auch diverse touristische Angebote beherbergen (Unterwasseraquarium, Hotel, Surferplattform, etc.).

#### **4 Potentielle Konfliktlinien**

Die Beschreibung der drei Zukünfte und ihre Entwicklungsoptionen zeigen mögliche ökonomische Entwicklungen vor dem Hintergrund natürlicher Standortbedingungen auf. Zu jeder dieser möglichen Zukünfte werden nun nachfolgend potentielle Konfliktlinien dargestellt.

##### **Konfliktlinie Zukunft A: Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung**

Die Entwicklungsoptionen aus Zukunft A werden entsprechend der regionalisierten Wirtschaftsentwicklung weitestgehend zu einer Fortschreibung der heutigen Entwicklung führen. Der Ausbau der Häfen und die Vertiefungen der Flüsse führen zur Verschärfung heutiger Konflikte. Europäische Instrumente wie die Wasserrahmenrichtlinie werden der wirtschaftlichen Entwicklung der Region untergeordnet. Mögliche Synergieeffekte wie z.B. beim Bau der A22 werden nicht genutzt, auch wenn dort z.B. anliegende Gemeinden zu profitieren versuchen. Vergleichbare Entwicklungen haben bereits in anderen Regionen stattgefunden und auch dort nur geringen Erfolg gezeigt. Beispielsweise hat der Bau der A29 von Oldenburg nach Wilhelmshaven nur in geringem Maße die wirtschaftliche Entwicklung der nordwestlichen Region Niedersachsens vorangetrieben. Auch die in diesem Zusammenhang durchgeführten Aufspülungen von Industrieflächen im Norden Wilhelmshavens haben nicht zu den gewünschten Effekten geführt (siehe z.B. Buchwald 1990). Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich nach Bau des Wesertunnels, von dem sich die umliegenden Gemeinden einen Schub in der Ansiedlung von Gewerbe in neu errichteten Gewerbegebieten erhofften.

Die anhaltende Weiterentwicklung der Häfen wird mutmaßlich mit anhaltendem Landschaftsverbrauch, zunehmender Belastung der Infrastruktur und den Folgen des erhöhten Verkehrsaufkommens zu andauernden Konflikten mit Anwohnern, Naturschutz und auch dem Tourismus führen. Auch die Fortführung der klassischen Energiepolitik wird in der Region eher zur Festigung vorhandener Konflikte wie z.B. durch Horizontverschmutzung und Veränderung des Landschaftsbildes durch Energiepflanzenanbau führen. Demgegenüber sind die positiven Auswirkungen der regionalisierten Wirtschaftsentwicklung für die Region nur punktuell von Bedeutung.

Die Fortführung der heutigen Strategie für den Küstenschutz wird in Zukunft zu verschärften Konflikten um die Ressourcen Baumaterial und Raum führen. Eine Erhöhung der Deiche führt zu erweitertem Raumbedarf, der andere Nutzungen einschränkt oder ausschließt. Für eine Erhöhung wird zusätzliches Material benötigt, das dann sowohl aus dem Binnen- als auch aus dem Vorland gewonnen werden muss. Beispielsweise sind nach heutiger Bauweise ca. 330 m<sup>3</sup> Material für 1 m Deich erforderlich. Die Deicherhöhung am östlichen Jadebusen z.B. hatte eine Verbreiterung des Deichfußes um ca. 30 m auf 100 m zur Folge. Die Kosten für Deicherhöhungen belaufen sich auf 5-8 Mio. € pro Deichkilometer (Blischke 2001). Für die Wasserwirtschaft verschärfen sich die Bedingungen insofern, als dass sich bei einem Ansteigen des Meeresspiegels die für den Sielzug wichtigen Perioden zwischen Hoch- und Niedrigwasser verringern können. So könnten die Sielzugzeiten nicht mehr ausreichend sein, um das gesamte Hinterland zu entwässern. Das würde bedeuten, dass mehr oder größere Schöpfwerke gebaut werden müssen, mit entsprechenden Eingriffen in den Naturhaushalt.

Durch anhaltende Intensivierung wird das Konfliktpotenzial zwischen Landwirtschaft und Naturschutz verstärkt. Andauernde (subventionierte) Intensivierung der Landwirtschaft führt zu einer Zunahme der ackerbaulich genutzten Fläche (Grasacker, Maisacker) einerseits, Grenzstandorte werden (subventioniert) aus der Nutzung genommen. Durch diese Nutzungsveränderungen wandelt sich Landschaft zusehends von Grünland zu Acker und Brache, vormals schutzwürdige Biotope (Feuchtgrünland) verschwinden kontinuierlich, Rast-, Nahrungs- und Brutflächen für Vögel verschieben sich.

Mit einer anhaltenden Wirtschaftsentwicklung wie heute, werden auch die Konflikte im Tourismus fortauern. Eine ständige Veränderung des Landschaftsbildes einerseits und die starke Fokussierung des Tourismus auf idealisierte Landschaftsbilder andererseits sind voller Konfliktpotential. Ähnlich wie der heutige Tourismus wird in Zukunft A die Tourismusedwicklung stark kommunal subventioniert werden müssen.

### **Konfliktlinie Zukunft B: Regionale Nachhaltigkeit**

Die Einbeziehung von Nutzergruppen in Planung und Entwicklung der Region stellt in Zukunft B den wesentlichen Schritt zur Regionalen Nachhaltigkeit dar.

Die Einbeziehung von Nutzergruppen in die Entwicklung der regionalen verkehrlichen Infrastruktur führt zwar zur Verringerung von Konflikten und die Nutzung von Synergieeffekten wie der Nutzung der A22-Trasse als zweite Deichlinie erhöht deren Akzeptanz. Diese Maßnahmen können jedoch nicht die grundlegenden Probleme, insbesondere die des Gütertransportes auflösen.

Die zunehmende Entwicklung von Verkehr, Häfen und Wirtschaft verursachen anhaltend Flächenverbrauch und Umweltbelastung. Dabei stoßen die Ziele der regionalen Nachhaltigkeit an sektorale Grenzen; insbesondere die Entwicklung der Häfen und Schifffahrtsstraßen stellen hohe Anforderungen an die Kompromissbereitschaft der beteiligten Akteure, beispielsweise durch verminderte Flussvertiefungen und verstärkte Spezialisierung einzelner Häfen. Auch die Energiewirtschaft muss Kompromisse eingehen: Repowering, verstärkte Nutzung von einfacher Biomasse als Energieträger und moderne Steuerungstechnik als Zugeständnis an Naturschutz und Tourismus und Vorteil für die Landwirtschaft.

Standortangepasster, weniger linienorientierter Küstenschutz und flexible, auf lokale Anforderungen konzentrierte Wasserwirtschaft ergänzen sich mit Landwirtschaft und Naturschutz, können aber auf Grund beschränkter Finanzen nicht alle Konflikte aufheben.

Zwischen der nachhaltigen Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen und deren Ökonomie besteht, insbesondere wegen anhaltender Subventionen, nach wie vor eine mehr oder weniger große Differenz. Vor allem die nachhaltige, für Tourismus und Naturschutz besonders synergetische Grünlandnutzung ist oft unwirtschaftlich.

Die Erweiterung der Ziele des Tourismus erhöht dessen Attraktivität, macht ihn aber mutmaßlich anfälliger für Veränderungen des Landschaftsbildes. Zudem stellt sie insgesamt höhere Anforderungen an die Infrastruktur.

### **Konfliktlinie Zukunft C: Globale Nachhaltigkeit**

Die Entwicklungsoptionen aus Zukunft C Globale Nachhaltigkeit sind sehr ambitioniert.

So kann zwar der Einsatz selbstfahrender Lkws das regionale Verkehrsaufkommen bei weiter steigendem Containerumschlag optimieren, es führt aber nicht zu dessen Reduzierung. Ein Zentralhafen würde die Eingriffe an den heutigen Standorten minimieren und auf einen Ort konzentrieren, die Auswahl an seeschifftiefen Fahrrinnen ist jedoch beschränkt. Positiv würde sich die Umstellung auf den Feeder-Verkehr auswirken, da für die kleineren Schiffe keine weiteren Vertiefungen der Fahrrinnen notwendig wären und sogar Renaturierungen der Flüsse möglich erscheinen. Diese Feederschiffe sollten dann allerdings nicht mit herkömmlichen Dieselmotoren angetrieben sein, sondern auf alternative, umweltverträglichere Techniken zurückgreifen. Die lokale

und dezentrale Energieerzeugung fördert die gezielte Versorgung von Haushalten und anderen Energieabnehmern, doch birgt es die Gefahr der Versorgungssicherheit. Es ist zu gewährleisten, dass, wenn ein dezentraler Knotenpunkt ausfällt (durch technische Probleme oder Rohstoffmangel), andere die Versorgungslücke schließen können.

Für den flächenhaften Küstenschutz bestünden Konfliktlinien immer noch im Bereich des Material- und Raumbedarfs. Eingriffe in Natur und Landschaft sind für den Bau von Deichen, auch als zweite Schutzlinien, weiterhin unausweichlich. Auch eine intensive Wasserwirtschaft ist unerlässlich.

Eine Wiedervernässung und verminderte Entwässerung der Marschen kann zu Versalzen in den tidebeeinflussten Bereichen führen. Die Versalzung wirkt sich auf die ackerbaulichen Aktivitäten der Landwirte und auf die Trinkwassergewinnung aus. Aus Sicht des Naturschutzes sind die Synergieeffekte hoch.

Die Entwicklung des Tourismus ist vor dem Hintergrund der anhaltenden Attraktivitätssteigerung sehr positiv, allerdings sind wahrscheinlich hohe Subventionen zu deren Umstrukturierung notwendig.

## **5 Diskussion: Sind heutige Optionen zukunftstaugliche Lösungsansätze?**

Inwieweit heutige sektorale Handlungsoptionen in Zukunft greifen werden, ist, vor allem bei der großen Unsicherheit aller Prognosen (hinsichtlich Ökologie, Klimatologie oder Ökonomie), aber auch bei Berücksichtigung der Vielfalt an denkbaren Handlungsoptionen extrem schwer vorhersehbar. Dennoch erschien es uns im Rahmen eines solchen Beitrags erlaubt, über mögliche Zukünfte und denkbare Konfliktlinien nachzudenken und exemplarisch zu diskutieren, insbesondere um aufzuzeigen, wo aktuelle Konflikte in Zukunft bestehen bleiben, wo möglicherweise neue Konfliktlinien entstehen und wo Synergien möglich erscheinen.

Auf dem Sektor verkehrlichen Infrastruktur treten eine Reihe heute bereits typischer Konflikte auch in Zukunft auf. Allen Zukunftsszenarien liegt ein anhaltendes Wirtschaftswachstum zu Grunde, dessen Antrieb auch in Zukunft für diese Region vorrangig in den Hafenstädten und den dortigen Wirtschaftsbetrieben zu suchen ist. Insbesondere der Warenumsatz und -transport verursacht hier negative Effekte wie Landschaftsverbrauch und Umweltverschmutzung. Insbesondere die Interessenskonflikte mit Naturschutz und Tourismus sind in allen Szenarien als hoch einzuschätzen, auch wenn deutlich positive Auswirkungen auf den Tourismus zu erwarten sind.

Die Entwicklung von Häfen, Energie und Wirtschaft ist Träger der zukünftigen Ökonomie in der Jade-Weser-Region. Anhaltendes ökonomisches Wachstum wird in allen drei Szenarien angestrebt, jedoch auf unterschiedliche Arten erreicht: In Zukunft A dominiert die sektoral und auf lokales Wachstum ausgerichtete Entwicklung. Die Entwicklung der Häfen hat das gleiche Ziel, wird aber nicht abgestimmt. In Zukunft B wird die Entwicklung der Häfen auf regionale Nachhaltigkeit ausgerichtet, muss sich aber dennoch dem globalen Markt stellen. In Zukunft C hat die globale Nachhaltigkeit den Vorrang, sie setzt auf Information und Service als ökonomisches Standbein. Es handelt sich bei den drei Szenarien um grundsätzlich unterschiedliche Wirtschaftsszenarien, deren Umsetzung ohne Leitfiguren oder stricte politische Vorgaben als schwer umsetzbar erscheinen. In allen drei Szenarien wird sowohl die Kapazität der Häfen erweitert werden müssen, als auch der Beitrag zur Regionalen Energieversorgung gesteigert. Konflikte resultieren hier besonders deutlich aus nicht genutzten Synergien.

Küstenschutz und Wasserwirtschaft machen die Region in der heutigen Form bewohnbar. Vor dem Hintergrund ökonomischer wie auch demographischer und sicherlich auch klimatischer Veränderungen sind die Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit von Küstenschutz- und Wasserwirtschaftsstrategien sicherlich hoch, allerdings zeigt das vorhandene System, dass es bereits sehr flexibel auf starke Schwankungen der natürlichen Standortbedingungen reagieren kann. Somit besteht das größte Potenzial für deren Weiterentwicklung eher in der sehr konsequenten Nutzung von Synergien. Besonders in den auf Nachhaltigkeit abzielenden Zukünften B und C zeigen sowohl die



anhaltenden Konflikte mit dem Naturschutz, aber auch die langfristig anfallenden hohen Kosten, dass ein großes Potenzial für innovative Entwicklungen vorhanden ist.

Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung wie auch Nachhaltigkeit verlangen nach Anpassungsstrategien für die Landwirtschaft. In allen drei Zukünften wird die hohe Abhängigkeit der lokalen Ökonomie landwirtschaftlicher Betriebe von überregionalen Entwicklungen der Agrarpolitik deutlich. Während in Zukunft A die Konflikte mit Naturschutz und Tourismus dominieren, ist in Zukunft B und C der ökonomische Druck für die Betriebe besonders hoch. Insgesamt scheint eine grundlegende Änderung der Wirtschaftsweise jedoch als beinahe unabwendbar. Entsprechend sind deutliche Veränderungen des Landschaftsbilds mit entsprechenden Auseinandersetzungen mit dem Naturschutz zu erwarten. Insbesondere an so genannten Grenzstandorten sind die Interessensunterschiede deutlich.

Dem Tourismus kann zwar in den drei Zukünften das höchste Entwicklungspotential zugesprochen werden, allerdings sind hier auch die Unsicherheiten von Prognosen besonders hoch. Die Orientierung des Fremdenverkehrs an Natur und Landschaft macht diesen Sektor in hohem Maße von der Entwicklung des Landschaftsbildes abhängig. Demnach erscheint es in allen Zukünften zweckdienlich, Synergien mit Landwirtschaft, aber auch Küstenschutz zu suchen. Zudem spielt die Entwicklung der verkehrlichen Infrastruktur eine bedeutende Rolle.

## 6 Fazit

Dass die Fortschreibung einer regionalisierten Wirtschaftsentwicklung, wie in Zukunft A dargestellt, vor dem Hintergrund der heutigen Situation zu anhalten Konflikten führen wird, erscheint immanent. Fokussiert auf lokale Gegebenheiten und fixiert auf sektorale Entwicklung hat die Region wenige Aussichten sich positiv zu entwickeln, d.h. die vorhandenen Konflikte zu minimieren und Synergien zu nutzen. Insbesondere die Konfliktlinie aus Küstenschutz, Naturschutz und Landwirtschaft sind unter den gegebenen naturräumlichen Bedingungen stetige Konfliktpartner, wenn nicht gemeinsame Ziele erkannt und gemeinsame Strategien entwickelt werden. Auch die ökonomische Entwicklung hängt stark von den Interessen der Sektoren, Häfen, Energie und Wirtschaft, ab. Diese sind zwar in der Lage Gemeinsamkeiten zu erkennen, schaffen es aber nicht diese auch mit Landwirtschaft, Tourismus und Naturschutz zusammen zu bringen. Werden hier keine nachhaltigen Lösungen technischer, logistischer oder planerischer Art gefunden, so ist in allen Zukünften mit andauernden Konflikten zu rechnen. Dies wird insbesondere dort deutlich, wo scheinbar offenkundige Synergieeffekte ungenutzt bleiben (Autobahn als zweite Deichlinie) oder Konflikte stagnieren (Küstenschutz und Naturschutz). Dort, wo grundlegende Interessen diametral liegen, ist auch in Zukunft mit Konflikten zu rechnen. Dort, wo jedoch alle Nutzergruppen gemeinsame Interessen erkennen und aufeinander abstimmen, ist das Potenzial groß, etablierte Konflikte aufzubrechen und Synergien nachhaltig zu nutzen.

## Literatur

- Blischke, H. (2001): Küstenschutz im III. Oldenburgischen Deichband. Hrsg. III. Oldenburgischer Deichband und Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, Betriebsstelle Brake.
- Buchwald, K. (1990): Nordsee: ein Lebensraum ohne Zukunft?
- Homeier, H. (1959): Veränderungen der Butjadinger Küste in geschichtlicher Zeit. Teil A: Untersuchungen zum Uferschutz an der Butjadinger Küste, Dienstbericht Norderney.
- Homeier, H. (1967): Das Wurster Watt - Eine historisch-morphologische Untersuchung des Küsten- und Wattgebietes von der Weser- bis zur Elbmündung. Jahresbericht Forschungsstelle Norderney, Band XIX, S. 31-119.
- Klenke, T., F. Ahlhorn & A. Jeschke (2006): Multifunktionale Küstenschutzräume als Baustein eines integrierten Küstenzonenmanagements in Niedersachsen. Wasser und Abfall 9, 15-19.

- Kraft, D. & K. Steinecke (1999): Klima und Naturräumliche Situation in der Unterweserregion. In: Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung 35, 17-42.
- Kraft, D. (2004): Modellierung klimabedingter Nutzungsveränderungen: Bewertung von Klimaveränderungen durch das GIS-gestützte Computermodell BONU. Dissertation, GCA-Verlag, Herdecke.
- MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt (Hrsg.) (2004): Neubekanntmachung des Niedersächsischen Deichgesetzes. In: Nds. GVBl. Nr. 6/2004, ausgegeben am 2.3.2004, Hannover.
- MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt (2006): Entwicklung der zehn Grundsätze für einen effektiveren Küstenschutz. ([www.nlwkn.niedersachsen.de](http://www.nlwkn.niedersachsen.de), Juli 2006).
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland.
- PG Weseranpassung (2006): Teil B Außenweser – Erläuterungsbericht zum Plan für die Anpassung der Bundeswasserstraße Außenweser.
- RWS – Rijkswaterstaat (2006): Innovative Flood Management Solutions and Spatial Development. A Wider Approach in Coastal Management. Publication of the EU Interreg IIIB project ComCoast (Combined Functions in Coastal Defence Zones).
- Snippe, B. (2003): Hafenausbau JadeWeserPort Tiefwassercontainerterminal an der Jade in Wilhelmshaven, Hansa International Maritime Journal 5/2003.
- Vollstedt, H.-W. & U. von Barga (2005): Hafenausbau CT4 – Erweiterung des Container-Terminals in Bremerhaven, Hansa International Maritime Journal 3/2005.

## Adresse

Dr. Dietmar Kraft und Frank Ahlhorn  
Institut für Chemie und Biologie des Meeres  
AG Integrative Modellierung  
Carl-von-Ossietzky Str. 9-11  
D - 26111 Oldenburg

[d.kaft@icbm.de](mailto:d.kaft@icbm.de)  
[ahlhorn@icbm.de](mailto:ahlhorn@icbm.de)





## Analyse von Prozessen im Küstenraum Benins – Grundlage für planerische Steuerung

Ulrike Sturm<sup>1</sup>, Oscar Teka<sup>2,4</sup>, Joachim Vogt<sup>2</sup>, Hans-Peter Bähr<sup>1</sup> & Tillmann Buttschardt<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe (TH)

<sup>2</sup> Institut für Regionalwissenschaft, Universität Karlsruhe (TH)

<sup>3</sup> Institut für Geographie und Geoökologie, Universität Karlsruhe (TH)

<sup>4</sup> Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

### Abstract

Along the entire Bay of Benin in the Gulf of Guinea one finds a tropical coastal ecosystem. Due to population growth and uncontrolled migration, this ecosystem is exposed to extremely growing impacts. Precondition for controlled planning is knowledge about processes and land utilization demands in the region. Their analysis has recently started in an interdisciplinary research approach with several participating institutes of both the Universität Karlsruhe (TH), Germany, and the Université d'Abomey-Calavi in the coastal zone of Benin, West Africa. The coastal area of Benin faces typical problems of the Gulf of Guinea region.

This article outlines the planned research program for a process analysis. Aim is understanding the different land utilization demands and conflicts between stake holders as well as the endangerment of the social and natural systems. Due to increasing density and diversity of use, existing interdependences are destroyed. Ecological and subsequently social consequences arise. Furthermore, it can be assumed that the rising sea level increases the harassment on low lying coastal areas.

The analysis of the participating institutes combines methods of cultural and social sciences, earth system sciences and engineering sciences (remote sensing, GIS), in order to achieve a deeper understanding of the changes and conflicts. The results are intended to support decision makers in taking corrective measures with regard to sustainable development.

### 1 Einleitung

Die Küstenzonen sind die am dichtesten besiedelten Gebiete der Erde. Nach UN-Schätzungen leben rund 60 % der Weltbevölkerung in einem 60 km breiten Streifen zwischen Küstenlinie und Binnenland. Durch Bevölkerungswachstum und steigende Nutzung sowie Übernutzung der Ressourcen stehen sie zunehmend unter Druck.

Dies gilt auch für Benin an der gleichnamigen Bucht in Westafrika. Der Untersuchungsraum umfasst die Kommunen von der Küstenlinie bis ca. 100 km ins Landesinnere, die rund 9 % der Landesfläche bedecken. Knapp die Hälfte (49,5 %) der Landesbevölkerung (insg. 6.750.000, INSAE 2003) finden sich in diesem Raum mit einer zunehmenden Tendenz, so dass er durch große Veränderungen, Nutzungskonflikte und sozioökonomische Probleme charakterisiert wird.

Es zeigt sich der Bedarf an einem integrierten planerischen Ansatz der Steuerung, wie dies bereits in vielen Küstenzonen der Erde zum Teil seit langem praktiziert wird (u.a. Salomons et al. 1999). Durch einen Mangel an Kenntnissen über Ursachen, Dynamik und Tendenzen der Entwicklung dieser Region ist dies jedoch noch nicht möglich. Somit sollen zunächst natürliche und sozioökonomische Prozesse untersucht werden, die diesen Raum charakterisieren und zu Konflikten führen.

## 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet

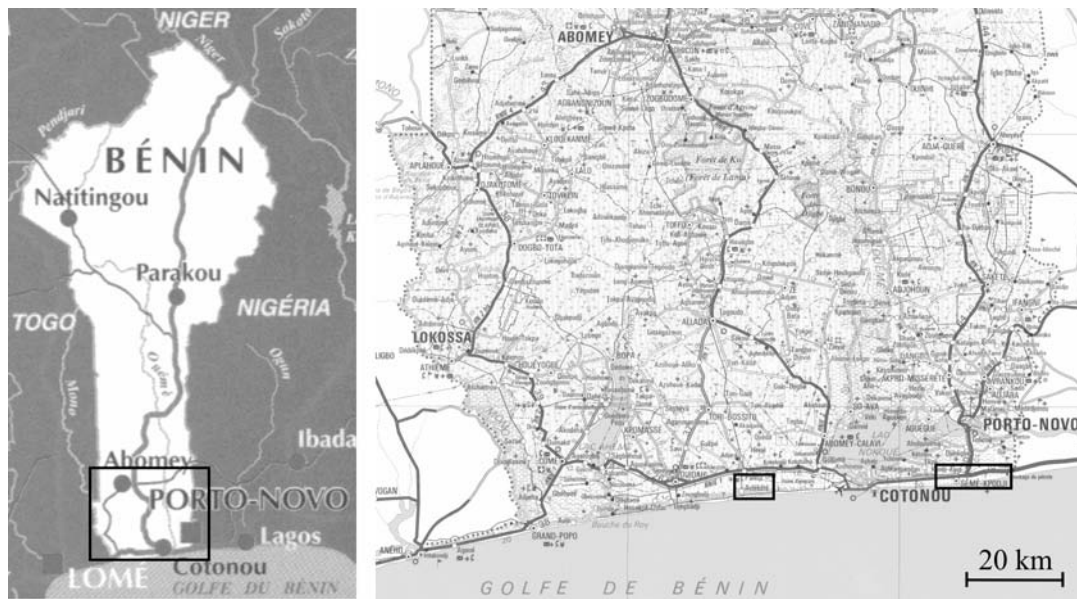


Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit den Testgebieten für die Voruntersuchungen in Avlékété und Sèmè (Quellen: IGN 2000)

Benin liegt an der Westküste Afrikas am Golf von Guinea. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über die 38 küstennächsten Gemeinden der Departements Littoral, Ouémé, Plateau, Atlantique, Mono, Couffo und Zou zwischen 6°10' bis 7°06' nördlicher Breite und von 1°35' bis 2°45' östlicher Länge. Es liegt nach der Klassifikation von Troll in der Zone der tropisch-sommerhumiden Feuchtklimate (Weller 2002) und hat zwei Regen- und Trockenzeiten im Jahresverlauf (Adam & Boko 1983).

Die Küste der Bucht von Benin ist morphologisch eine Ausgleichsküste mit geringer Gezeitenwirkung sowie Nehrungen und Lagunen, die besonders westlich von Cotonou ausgeprägt sind. Die älteren, landeinwärts gelegenen Gebiete der Küstenzone bilden ein komplexes System aus Lagunen, Seen, Sümpfen und Flusstälern. Bedeutend sind die drei großen Flüsse Ouémé, Mono und Kouffo, welche hier indirekt über das Lagunensystem in den Atlantik münden. Weiter landeinwärts folgen sieben Plateaus, durch Flusstäler und die SW-NE-verlaufende Lamadepression voneinander getrennt (Weller 2002). Bezeichnet werden sie als „Terre de Barre“.

Nach Wezel & Böcker (2000) wird das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Vegetation in die Guinea-Congolian Zone und eine schmale Küstenzone im Süden eingeteilt. Die Guinea-Congolian-Zone zeichnet sich durch einen Wechsel von Wäldern und Savannen aus, wobei die natürliche Vegetation größtenteils durch landwirtschaftliche Nutzflächen ersetzt wurde. Wälder, wie die artenreichen Galeriewälder entlang der Flüsse, finden sich nur noch in kleinsten Relikten. Die noch vorhandenen Wälder gehören zu zwei teillaubabwerfenden Waldformationen (Akoegninou 1984 cit. in Adjanohoun et al. 1989). Charakteristisch ist ein Mosaik aus Brache (sekundäre Savanne), Feldfrüchten, Palmen-, Akazien-, Teakanpflanzungen. Auf dem Strandwall direkt an der Küste findet sich noch eine degradierte naturnahe Vegetation, meist von Kokospalmen- oder auch (im Osten Cotonous) von Akazien- bzw. Eukalyptusplantagen abgelöst. Im Bereich der Sümpfe und Lagunen finden sich stark anthropogen beeinflusste Vegetationen. Teilweise werden die Lagunen noch von Mangroven begrenzt (Wezel & Böcker 2000).

Das Untersuchungsgebiet bildet den Bevölkerungsschwerpunkt Benins (Thamm et al. 2005). Direkt an der Küste liegt mit Cotonou die wichtigste Stadt des Landes. Hier ist das Wirtschaftszentrum, vor allem bedingt durch den dort befindlichen Hafen, sowie das Finanz- und Verwaltungszentrum.

Porto Novo, die Hauptstadt, liegt nordöstlich von Cotonou 12 Kilometer landeinwärts. Sie hat eine wesentlich geringere wirtschaftliche Bedeutung.

Während die Bevölkerungswanderungen in ihren Ursachen und Folgen in anderen Teilen Benins gut untersucht sind (Doevenspeck 2005), gilt dies nicht für die Küstenzone, in welcher Intensität und Dynamik am größten sind und die weitest reichenden langfristigen Risiken vermuten lassen. Es besteht ein Handlungsbedarf, der sich auf verlässliche Prozessanalysen stützen muss, die daher einen aktuellen Forschungsbedarf begründen. Da die amtliche Statistik nicht alle erforderlichen Daten zur Erfassung der gemeindlichen Strukturen und Prozesse bereit hält, sind sozioökonomische Datenerhebungen erforderlich, die zentrale Indikatoren der räumlichen Entwicklung erheben. Dies kann, wenn es nicht durch die statistischen Behörden des Landes (INSAE) geschieht, sondern im Rahmen eines Forschungsprojektes erfolgen muss, nur stichprobenhaft durchgeführt werden. Unter den Gemeinden des Küstenraumes wurden daher 13 ausgewählt, die als Beispielgemeinden dienen und unter lagebezogenen Repräsentativitätskriterien in Absprache der beteiligten Forschergruppen ausgewählt wurden.

### 3 Einführung in die Problematik der Analyse und Einordnung des geplanten Untersuchungsprogramms



Abb. 2: Siedlungsdichte in Cotonou zwischen Atlantik und Lac Nokoué; Müllproblematik (Fotos: U. Sturm)

Zunächst sollen anhand einiger Beispiele Ausgangsbedingungen, Probleme und Nutzungskonflikte im Küstenraum Benins aufgezeigt werden, die sich aufgrund fehlender bzw. ineffektiver planerischer Steuerung ergeben.

Von den 6,75 Mio. Beninern leben 35 % in urbanen Räumen. Allein in Cotonou und seinem periurbanen Umland leben 20 % der Bevölkerung auf 1 % der Landesfläche (Doevenspeck 2005). So handelt es sich um einen Siedlungsschwerpunkt mit Problemen wie unregelmäßiger Bebauung auch von überschwemmungsgefährdeten Risikogebieten in Küstennähe durch die räumliche Eingrenzung zwischen Atlantik im Süden und Lac Nokoué, einem Teil des küstenparallelen Lagunensystems, im Norden. In der Regenzeit stehen einige Siedlungsgebiete daher unter Wasser. In diesem Raum führt u.a. ungesteuerte Müllentsorgung zu Verschmutzung, vor allem an den Gewässern (siehe Abb. 2); der Müll wird in die Lagunen und ins Meer gespült.

An der Küste ist derzeit eine beträchtliche Dynamik zu beobachten. Dabei dominiert vor allem östlich von Cotonou die Küstenerosion (Abb. 3 rechts). Es gibt verschiedene Ursachen, die zu dieser Erosion beitragen. Beispiele sind die fehlende Sedimentfracht aus dem Fluss Mono durch den Nangbétodamm in Togo seit 1990, durch Hafenbaumaßnahmen in Cotonou und Lomé in Togo sowie Sandabbau (teils illegal) entlang der Küste (Kaki et al. 2001). Durch die Küstenerosion verringert sich nicht nur die Siedlungsfläche und bestehende Straßenzüge der Küstensiedlungen erodieren; es kommt infolge dessen auch zu einem zunehmenden Nutzungsdruck auf die verbleibenden Nehrungsflächen.



Abb. 3: Ausgleichsküste mit Küstenerosion im Osten Cotonous (Fotos: U. Sturm)

Die natürlichen Mangrovenbestände sind ein küstenstabilisierendes Element der Küstenlagunen, das unter dem zunehmenden Nutzungsdruck immer geringere Flächenanteile einnimmt. Zudem sind sie Brutstätten für Fische und damit indirekt für die Lokalbevölkerung als Nahrungs- und Verdienstquelle wichtig. Ihre Degradierung schreitet fort, obwohl Schutzmaßnahmen bestehen, die auch von der Lokalbevölkerung selbst entschieden wurden.

Ein großes Problem für Planungen sind unklare Bodenrechtsverhältnisse. In Benin ist Boden, wie in vielen afrikanischen Gesellschaften, kein beliebig akkumulierbares Eigentum, sondern nach traditionellem Verständnis die Überlebensgrundlage von Gruppen, die aus Erdgeistern, Ahnen, Lebenden und Ungeborenen besteht (vgl. Doevenspeck 2005). „Insbesondere im extrem dicht besiedelten Süden Benins ist jedoch die Individualisierung und Monetarisierung der Gewohnheitsrechte weit vorangeschritten. (...) Meist werden weder Dauer noch Höhe der Pacht schriftlich fixiert, und die Pächter befinden sich im Konfliktfall in einer schwachen Position, da sie weder gewohnheitsrechtliche Regelungen noch staatliche Rechtsvorschriften in Anspruch nehmen können (Doevenspeck 2005, S. 97).“ Beispiele für Auswirkungen dieser Bodenrechtsproblematik werden in Abschnitt 7 (Voruntersuchungen) vorgestellt.

Die skizzierten Probleme im Küstenraum sind nicht kurzfristig entstanden und nicht neu. Es gibt verschiedene Untersuchungen und Projekte, die sich mit dem Küstenraum befassen. Es sind lokale Studien, meist in einer sektoralen Perspektive erarbeitet. Dabei wird eine Symptomatik beobachtet und – meist negativ – bewertet, was in den meisten Fällen Strategien zur Folge hat, die an diesen Symptomen ansetzen, jedoch nicht an dem komplexen Ursachengefüge. Planungsziele sind zudem nicht verbindlich, sondern können durch bestehende soziale Kontakte außer Kraft gesetzt werden.



Abb. 4: Mangroven und ihre Degradierung (Fotos: U. Sturm)

Außerdem teilen sich die Kompetenzen im Küstenraum auf neun Ministerien und ihre darunter angesiedelten Direktionen auf, so dass es zu teilweise konkurrierenden Zuständigkeiten kommt. Zudem ist zu bemerken, dass nicht immer Fachkompetenz, sondern die sozial geprägte Machtposition bei der Besetzung von Ämtern entscheidet. Im Küstenraum besteht die für Entwicklungsländer typische Ausgangslage, in welcher die Sicherung der eigenen Kompetenz- und damit Entscheidungsfelder Vorrang vor einer ressortübergreifenden Problemanalyse und -lösung hat. Auch wenn die Notwendigkeit von letzterer durchaus innerhalb der Verwaltung gesehen wird (Mepn 2007), stehen ihrer Umsetzung massive Widersprüche entgegen. Die Unterstützung eines solchen querschnittsorientierten Untersuchungs- und Planungsansatzes wird daher als wesentlicher Beitrag der deutschen Partner am Projekt gesehen.

Dies betrifft auch den ressortorientierten Wissenstransfer, der zu widersprüchlichen Entscheidungen und Maßnahmen sowie zu mangelnder Akzeptanz vor Ort führt. Durch den Mangel an miteinander verknüpften Kenntnissen über die Dynamik und Tendenzen der Entwicklung dieser Region erklärt sich ein Großteil der planerischen Ineffizienz. Somit sollen innerhalb des geplanten Untersuchungsprogramms zunächst Landnutzungsansprüche und -konflikte, sowie natürliche und sozioökonomische Prozesse in ihrer wechselseitigen Bedingtheit untersucht werden. Da verschiedene Fachgebiete betroffen sind, ist ein interdisziplinärer Ansatz unabdingbar, bei dem unterschiedliche Arbeitsweisen angewandt und miteinander verknüpft werden. Es handelt sich um die klassische Aufgabenstellung eines integrativen Forschungsansatzes.

Ein zentrales Problem in Entwicklungsländern vor der Integration verschiedener Wissens- und Methodenbestände ist der Mangel an flächenhaften Datensätzen. Dieser ist, z.B. hinsichtlich der amtlichen Statistik, strukturell bedingt und nicht im Rahmen eines Forschungsprojektes zu beheben. Während naturräumliche Daten relativ zuverlässig aufgrund von Fernerkundungsdaten in der Fläche erhoben werden können, gilt dies bislang nicht für sozioökonomische Daten außer der sichtbaren Flächennutzung. Die Folge ist, dass integrierte Ansätze an der defizitären Datenlage der sozioökonomischen Bedingungen scheitern müssen.

An diesem entscheidenden Defizit, setzt das Untersuchungsprogramm an: Seine Leitidee geht von einer zentralen Funktion der Landnutzung aus, die als Abbild der sozioökonomischen Bedingungen interpretiert werden kann. In einer dominant agrarisch geprägten Gesellschaft ist dies plausibel. Wenn es nun gelingt, in repräsentativen Teilräumen die Beziehung zwischen sozioökonomischen Prozessen einerseits und dem Landnutzungsgefüge und seiner Veränderung andererseits zu bestimmen, dann kann geprüft werden, ob, mit Hilfe flächenhaft verfügbarer Landnutzungsdaten und der Landnutzungsdynamik, ein Rückschluss auf sozioökonomische Prozesse im Raum möglich ist und damit die bestehende Datenlücke in den sozioökonomischen Daten geschlossen werden kann (indirektes Schließen). Vorarbeiten für einen solchen Ansatz werden zur Zeit in Kooperation zwischen Instituten der Universität Karlsruhe und der Universität d'Abomey-Calavi in Benin durchgeführt.

#### **4 Datenlage**

Die Datenlage und Dokumentenverfügbarkeit wurde 2007 vor Ort bestimmt. Problematisch erwies sich dabei die starke sektorale Zersplitterung der Datenerhebung und -speicherung, die allen ressortübergreifenden Ansätzen entgegen steht.

Für den Süden Benins sind beim Institut Géographique National (IGN) Karten verschiedener Maßstäbe und Aktualität vorhanden: Flächendeckend im Maßstab 1:200.000 aus dem Jahre 1968; teilweise im Maßstab 1:50.000 (zwischen 1954 bis 1987 veröffentlicht); für den Bereich westlich von Cotonou bis 6° 30' n.Br auch im Maßstab 1:25.000 aus dem Jahre 1991. Uns liegen für den Südtteil Karten im Maßstab 1:50.000 aus dem Jahre 1968 vor, basierend auf Luftbildern aus den 50er Jahren.

Zur Realisierung des verfolgten Ansatzes ist die Verfügbarkeit von Luftbildern und Satellitendaten Voraussetzung. Für den Küstenraum sind flächendeckend bis in eine geographische Breite von 6°45' beim IGN Luftbilder lediglich aus dem Jahre 1995 im Maßstab 1:30.000 verfügbar.



Für den Raum Ouidah existieren s/w-Luftbilder im Maßstab 1:15.000 aus dem Jahre 1986. Für den Raum Porto Novo liegen s/w-Luftbilder (Transparent/Papier) im Maßstab 1:20.000 vor. Für Cotonou gibt es aus dem Jahr 2004 multispektrale digitale Aufnahmen im Maßstab 1:2.000, die jedoch zurückgehalten werden. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Université d'Abomey-Calavi sind vor Ort einige Landsat- und SPOT-Daten verschiedener Jahre zugänglich. Andere oder höher aufgelöste Daten müssen in Auftrag gegeben und über Projekte finanziert werden. Ein Großteil der Landsat-, bzw. SPOT-Szenen existiert lediglich in sehr schlechter Qualität oder mit Wolken und kann nur eingeschränkt oder gar nicht zur Auswertung herangezogen werden. SPOT-Daten liegen für einige Bereiche vor, jedoch mit unklaren Jahresangaben. Auch dies ist eine für Entwicklungsländer durchaus typische Ausgangslage. Ein weiteres Problem ist neben der Datenqualität die räumliche Auflösung der vorliegenden Daten im Zusammenhang mit der Darstellungsgröße von Landbedeckungs- und Landnutzungsphänomenen und der damit verbundenen raumwirksamen Prozessen, denn die Landnutzungsmuster sind sehr kleinräumig. Höher auflösende Bilder und zeitliche Bildsequenzen sind notwendig, um die Prozesse der Landnutzungsänderung großmaßstäbig identifizieren zu können.

Digitale thematische Daten (Geodaten) liegen nur begrenzt im Maßstab 1:50.000 (oder kleiner) vor und sind nicht immer verfügbar. Zum Teil sind sie frei verfügbar, andere müssen vor Ort beschafft werden, wobei sowohl die Verkäuflichkeit als auch die Preise nicht vorgegeben sind und damit als Verhandlungssache der jeweiligen Mitarbeiter staatlicher Ämter interpretiert werden. Thematische Karten in gedruckter Form gibt es zu verschiedenen Fragestellungen. Sie basieren oftmals auf Geodaten, die nicht frei genutzt werden können. Die Verfügbarkeit, auch der thematischen Kartenwerke, ist teilweise wiederum in das Ermessen von Mitarbeitern gestellt, was vor Ort als Legitimation profitorientierter Bewirtschaftung der Daten verstanden wird und eine Nutzung erschwert oder unmöglich macht.

Ähnlich problematisch ist die Nutzung der amtlichen Statistiken, die bei der zuständigen Behörde INSAE vorliegen, jedoch überwiegend beschafft werden konnten. Es handelt sich dabei allerdings nur um einfache statistische Basisdaten wie demographische Daten, mit denen die komplexe sozioökonomische Situation nur unzureichend erfasst werden kann.

Neben dieser Ausgangslage ist eine interdisziplinäre Kooperation für ressortübergreifende Ansätze bisher nicht entwickelt, so dass ein Ansatz wie der hier vorgestellte grundlegender Vorarbeiten entbehrt. Da es sich jedoch um eine typische Ausgangslage handelt, ist sie geeignet, diesen Voraussetzungen angepassten Lösungsansatz zu entwickeln und zu testen.

## 5 Ziele

Das Ziel der gegenwärtigen Untersuchungen ist das Herausarbeiten und der Test eines Konzeptes der Raumanalyse. Diese Raumanalyse ist zunächst auf die Ableitung planerischer Ziele, dann geeigneter Steuerungselemente, in fernerer Zukunft auch auf ein den regionalen Bedingungen angepasstes integriertes Küstenzonenmanagement hin orientiert. Dazu sind ökologische und sozioökonomische Parameter zu erfassen, wobei diejenigen gezielt auszuwählen sind, welchen in der konkreten Situation ein Indikatorenwert beigemessen werden kann. Es wird ein Kennzahlensystem entwickelt, angewandt und getestet, mit dem die Prozesse belastbar erfasst werden sollen.

Teilziele sind:

- a. die Herausarbeitung von relevanten Indikatoren zur Beschreibung des Zustandes und der Entwicklung der Küstenzone Benins;
- b. die Identifikation und Beschreibung der Funktionen der Küstenökosysteme;
- c. die Analyse der Interaktionen Mensch – Umwelt (z.B. Nutzungssysteme der Küste in Abhängigkeit von Interessen und Machtpositionen);
- d. die Identifikation der relevanten Akteursgruppen im Küstenraum und die Analyse ihrer Strategien;

- e. die Evaluierung der Perzeption der lokalen Bevölkerung, die Identifikation der Handlungsrationaltäten und Handlungen der unterschiedlichen Entscheidungs- und Verwaltungsebenen etc.;
- f. die Identifizierung und Kartierung der vulnerablen Habitate und der Risiken der beobachtbaren Prozesse und
- g. die Schaffung einer Datenbasis zum langfristigen Monitoring des Küstenraumes in Benin.

## 6 Methodischer Ansatz

Der methodische Ansatz besteht in detaillierten sozialwissenschaftlichen und ökologischen Datenaufnahmen vor Ort, welche in ausgewählten Lokalitäten erfasst und mittels des Instrumentariums der Fernerkundung in die Fläche übertragen werden sollen, wodurch zuverlässige Schätzungen von flächenbezogenen Daten für den Gesamttraum möglich sind.

Grundlage für eine Darstellung der Prozesse und kausalen Zusammenhänge zwischen Gesellschaft und Umwelt soll der DPSIR-Ansatz der European Environment Agency (EEA), basierend auf dem PSR-Modell der OECD, sein (siehe Abb. 5; TURNER et al. 1998, EEA 1999). Dazu sollen zunächst die treibenden Kräfte (*Driving forces*), die ausgelösten Belastungsfaktoren (*Pressures*), die Umweltmedien und Ressourcen (*State*) und Auswirkungen (*Impacts*) identifiziert und die sie verbindenden Zusammenhänge aufgezeigt werden, später auch die Reaktionen bzw. Strategien (*Responses*) seitens der Gesellschaft und Politik.

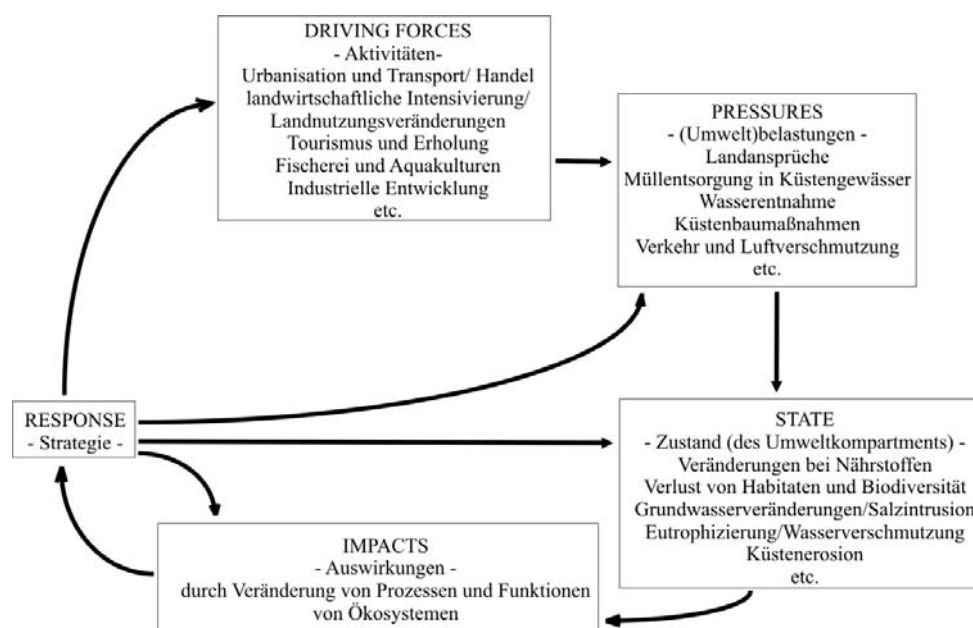


Abb. 5: Entwurf: Prozesse in der Küstenzone (DPSIR-Diagramm, nach TURNER et al. 1998 und EEA 1999, verändert)

Es liegt auf der Hand, dass ein solcher Ansatz technische Voraussetzungen verlangt, die nur durch den Einsatz eines Geoinformationssystems zu bewältigen sind. Dieses ist daher die Plattform für die Zusammenführung der Datensätze von ausgewählten Teilflächen, ihrer statistischen Verknüpfung und flächenhaften Extrapolation. Es ist das Ziel, über die damit erarbeiteten räumlichen Datensätze die physischen und sozioökonomischen Parameter der Prozesse im Küstenraum zu erfassen, um die mit ihnen verbundenen Risiken bewerten zu können, notwendige Status-Quo-Fortschreibungen in die Zukunft zu erstellen und daraus einen planerischen Handlungsbedarf abzuleiten. Dieser würde, so die Vorstellung des Konzeptes, dann nicht an den Symptomen unerwünschter Prozesse ansetzen, sondern die Möglichkeit eröffnen, Maßnahmen zu ergreifen, die auf die Ursachen zielen.

## 7 Voruntersuchungen

Ein solches Konzept birgt allerdings eine Reihe methodischer Risiken und muss daher vorab getestet werden. Für die momentan laufende Voruntersuchung wurden daher zwei sich in ihrer Charakteristik unterscheidende Testgebiete (siehe Abb. 1) in unmittelbarer Umgebung von Cotonou ausgewählt.

Beim ersten Testgebiet handelt es sich um einen Teilbereich des Arrondissements Sèmè in der gleichnamigen Gemeinde östlich von Cotonou entlang der Verbindungsstraße zur Hauptstadt Porto Novo und zur Grenze nach Nigeria. Das Arrondissement Sèmè weist typische Strukturen der Urbanisierung des Agglomerationsraumes von Cotonou auf.

Das zweite Testgebiet liegt im Arrondissement Avlékété in der Gemeinde Ouidah, westlich von Cotonou. Avlékété ist eine der Fischersiedlungen am Meer und an der Küstenlagune im Westen Cotonous. Es weist typische Merkmale der Küstenstandorte auf.

Für beide Testgebiete liegen Luftbildabzüge vom März 1995 vor, bzw. für Sèmè zum Vergleich zusätzlich Daten in Google Earth, basierend auf QuickBird-Daten vom 23.12.2002, zudem Landsat- und SPOT-Daten.

Es wurde vor Ort ein Vergleich der Luftbildabzüge mit der aktuellen Situation vorgenommen. Per GPS wurden Referenzpunkte aufgenommen. Es können gegenwärtig aus der Photointerpretation und Geländebegehung Landnutzungsveränderungen qualitativ beschrieben werden. Zur Aufnahme von Trainingsgebieten müssen noch vertiefende Erhebungen durchgeführt werden. Zunächst wurde ein photointerpretatorischer Vergleich der Satellitendaten vorgenommen. Sozioökonomische Informationen zur Erklärung der beobachteten Phänomene wurden aus den vorliegenden, jedoch noch nicht weiter ausgewerteten Befragungen qualitativ erschlossen. Die sozioökonomischen Faktoren werden zur Zeit, mittels Befragungen anhand eines strukturierten Fragebogens, teilstrukturierter Interviews und offener Gespräche erhoben.

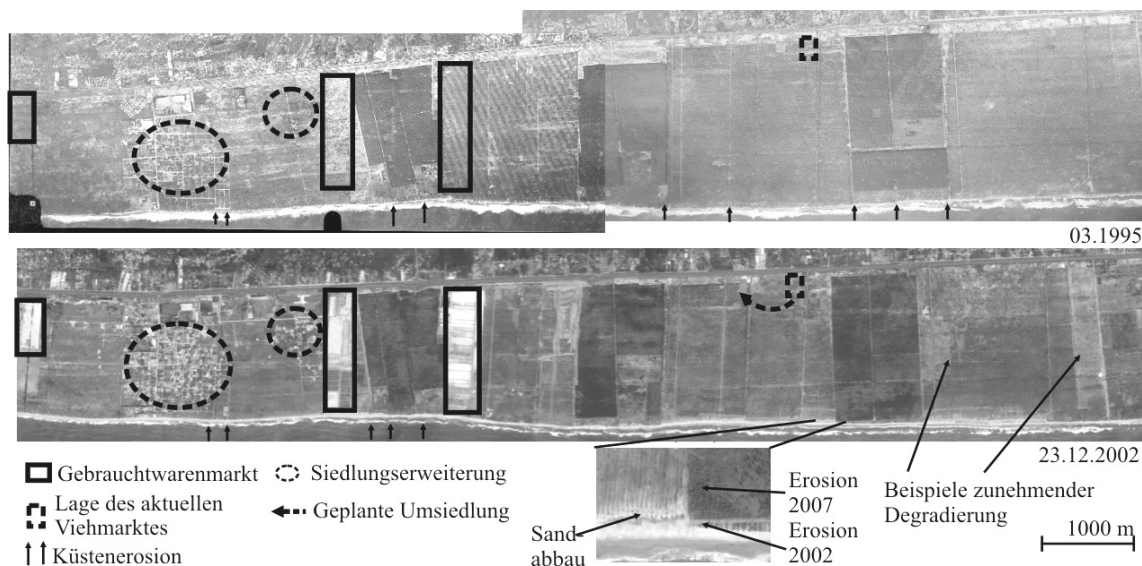


Abb. 6: Veränderungen in Testgebiet des Arrondissements Sèmè zwischen 1995 und 2002 (Quellen: Luftbildabzüge von März 1995 des IGN)

Das Landschaftsbild des Testgebietes im Arrondissement von Sèmè östlich von Cotonou ist geprägt durch große Plantagen (Kokos, Eucalyptus sp. und Acacia sp., Cassuriana equisetifolia) auf sandigen Böden. Die Kokosplantagen setzen sich heller ab (siehe Abb. 6). Die meisten der Pflanzungen wurden innerhalb des Projektes „Bois de Feu“ (Feuerholz) angelegt (Djégo 2000).

Die Bevölkerung der Gemeinde ist von rund 8.600 im Jahr 1992 (INSAE 1994) auf 12.600 im Jahr 2002 (INSAE 2003) angewachsen und konzentriert sich hauptsächlich auf die Ortschaften, wobei eine zunehmende Besiedlung der ehemaligen Plantagen zu beobachten ist. Die Kommune Sèmè absorbiert

aufgrund niedrigerer Grundstücks- und Mietpreise einen Teil der auf Cotonou gerichteten Migration (Doevenspeck 2005). Innerhalb der Kokosplantagen nehmen Besiedlungen und Gewerbegebiete zu. Aus den Befragungen lassen sich für Sèmè folgende ökonomischen Hauptaktivitäten feststellen: Land- und Viehwirtschaft, Handel und Sandabbau, eine der landschaftsprägenden Aktivitäten.

Aus den Bilddaten und in der Geländebegehung lassen sich mit Hilfe der Befragungsergebnisse folgende Veränderungen ablesen:

Im Westteil des Testgebiets sind zwischen 1995 und 2002 Kokosplantagen in Gewerbeflächen umgewandelt worden. Die Ergebnisse der Befragungen weisen diese als Gebrauchtwagenverkaufsflächen aus. Eingangsport ist zum einen der Hafen von Cotonou. Der Gebrauchtwagenhandel hat über Benin hinausreichende Verflechtungen in der Region. Der Boom war zwischen 2002 und 2005, ein Handel der aufgrund der teilweise illegal aus Nigeria importierten Fahrzeuge florierte. Heute, nachdem die nigerianische Regierung die Aktivitäten unterbunden hat, ist ein Großteil der Flächen ungenutzt. Es lässt sich im Vergleich der Bilddaten und in der Geländebegehung eine durchgehende Degradierung der Kokosplantagen im Testgebiet durch Zerstörung der Strauchschicht sowie der Palmen selbst anhand der Kronenformen, bzw. ihrer Schatten feststellen. Welche Prozesse dahinter stehen und welche Folgen damit verbunden sind, wird weiter untersucht. Ein Beispiel soll hier erläutert werden: Im Ostteil des Testgebietes liegt ein rund 4 ha großer Viehmarkt (siehe Abb. 6), der zum Aufnahmezeitpunkt 2002 erst ein halbes Jahr existierte und daher noch nicht deutlich zu erkennen ist. Der Viehmarkt entwickelte sich zur Deckung des Fleischbedarfs des Raumes Cotonou. Die Tiere kommen aus dem Norden Benins und den dort angrenzenden Ländern des Sahelgürtels. Heute lässt sich ein Einfluss auf die Strauchschicht durch Futtermittelentnahme für die Tiere sowie eine Entnahme von Palmenwedeln zum Hausbau feststellen, die wesentlich zur Degradierung beitragen. Außerdem kann hier die in Benin immer wieder auftretende Problematik des Bodenrechts (siehe Abschnitt 3) beobachtet werden. Zunächst wurde der Markt auf dem Gelände zugelassen, auf das nun von dritter Seite Anspruch erhoben wird. Nun ist in Absprache mit dem Innenministerium eine Umsiedlung geplant; paradoxerweise wird die vorgesehene Fläche jedoch gegenwärtig von Gemüsebauern genutzt. Zukünftig wird sich also der Prozess der Umsiedlung aufgrund der unklaren Bodenrechtsverhältnisse auch in der Fläche ausdrücken.

Direkt an der Wasserlinie kann aus den Bilddaten eine Verlagerung der Küstenlinie zwischen März 1995 und Dezember 2002 um rund 100 m landeinwärts beobachtet werden, bis April 2007 um weitere mindestens 50 m. Diese Erosionsprozesse reduzieren die dort existierenden Plantagen. Zum einen lässt sich dies in den Gesamtkontext der Küstenerosion östlich von Cotonou einordnen. Gleichzeitig wird illegal, jedoch geduldet, Sand abgebaut, der das Phänomen verstärkt. Sand wird für die regen Bautätigkeiten im Raum Cotonou verwendet. Urbanisierung, Baustoffbedarf und Erosion stehen somit in einem Zusammenhang. Eine quantifizierende Aussage über diesen Prozess wird erarbeitet.

Das Landschaftsbild des Testgebietes im Arrondissement Avlékété ist viel kleingliedriger als das von Sèmè (siehe Abb. 7). Es ist geprägt von Landwirtschaft und Palmplantagen auf sandigen Böden sowie feuchte- wie auch salztoleranten Gesellschaften und Mangrovenrelikten in den Senken und Lagunen mit temporär wie auch permanent hydromorphen Böden (nach CPCS 1963). Die Bevölkerung Avlékétés ist im Vergleich zu Sèmè deutlich geringer angestiegen: Von rund 5.200 Einwohnern 1992 (INSAE 1994) auf rund 5.600 im Jahr 2002 (INSAE 2003), wobei noch ausgewertet werden soll, ob der Zuwachs hauptsächlich auf Geburten oder Zuwanderung beruht. Die Hauptaktivitäten der lokalen Bevölkerung sind laut Befragungen durch die Herkunft bestimmt: Die Ethnien Ewe und Guin (aus Togo) sowie die Kéta (aus Ghana) siedeln an der Küste und leben von der Küstenfischerei. Die besuchten Siedlungen an der Lagune setzen sich hauptsächlich aus den Xhuedah, aus Ouidah stammend, und den Fôn zusammen, die sich der Lagunenfischerei, Salzgewinnung, Landwirtschaft (Gemüseanbau wie Maniok, Öl- und Kokospalmenutzung), Weiterverarbeitung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse, der Nutzung der Mangroven, der Weidewirtschaft und Kleinhandel widmen. Der Tourismus ist noch schwach ausgeprägt, aber eine Ausweitung der Tourismuswirtschaft ist geplant (MCAT 2003).



Abb. 7: Testgebiet des Arrondissements Avlékété (Quellen: Luftbildabzüge von März 1995 des IGN; Fotos: U. Sturm)

Der temporale Vergleich in Avlékété gestaltete sich schwieriger als jener in Sèmè. Zum einen liegen keine hochauflösenden Daten nach 1995 vor, zum anderen sind die flächenhaften Phänomene viel kleinräumiger als in Sèmè, also weniger gut zu identifizieren. So war das Wiedererkennen gleicher Flächen im Luftbildabzug (Maßstab 1:30.000; Ausschnitt in Abb. 7) aufgrund der fehlenden Georeferenzierung im Gelände erschwert. Im diachronischen Vergleich zeigte sich, dass es hier zu leichter Siedlungszunahme (entsprechend des Bevölkerungszuwachses) und zu Nutzungsveränderungen in der Landschaft gekommen ist. So sind beispielsweise Ölpalmplantagen hinzugekommen. Aus den Befragungen wird in Avlékété ein weiteres Beispiel für unklare Bodenrechtsverhältnisse deutlich. Das durch Gewohnheitsrecht zur Salzgewinnung genutzte Gelände (siehe Abb. 7) wurde von einem Investor erworben. Die Frauen, die in der Salzgewinnung arbeiten, sollen das Gelände nun räumen, weigern sich aber. Nähere Hintergründe sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht bekannt, auch die Folgen können noch nicht abgeschätzt werden.

Das Beispiel der Mangrovendegradierung in Abschnitt 3 Abb. 4 stammt aus Avlékété, obwohl die Bevölkerung, der Befragung nach zu urteilen, ein Verbot der Mangrovennutzung beschlossen hat, da ihre Bedeutung für die Fischressourcen erkannt wurde.

## 8 Ausblick

Im skizzierten Ansatz wird versucht, auch ohne ausreichende statistische und kartographische Basisdaten ein Raummonitoring und eine Prozessanalyse des Küstenraumes von Benin zu entwickeln. Dieses soll die Grundlage für Strategien der planerischen Beeinflussung bilden. Das Konzept basiert auf der Erfassung sozioökonomischer und ökologischer Strukturen in ausgewählten lokalen Detailstudien, die anschließend mit Hilfe der Fernerkundung und GIS kausal verknüpft und statistisch extrapoliert werden. Es wird geprüft, ob dies auch eine Grundlage für Status-quo-Prognosen sein kann, mit denen zukünftige Entwicklungen abgeschätzt und damit Risiken identifiziert werden können.

Da sich die ausgeprägte Kleinteiligkeit des Flächennutzungsmosaiks mit Landsatzenen sowie den vorliegenden SPOT-Szenen aufgrund der geringen Auflösung nicht nachzuvollziehen lässt, müssen hochauflösenden Daten, beispielsweise von QuickBird, herangezogen werden, welche eine flächenhafte Aussagen erlauben. Es werden jedoch auch andere Fernerkundungsverfahren in die Analyse mit einzubeziehen sein, etwa aktuelle hochauflösende Luftbilder. Die Analog-Digital Wandlung von Karten und Bildern, wie auch weitergehende Untersuchungen und GIS-Analysen stehen noch aus. In der gegenwärtigen Initialphase des Projektes hat sich die Notwendigkeit eines derartigen Ansatzes bestätigt. Allerdings ist ebenso die Schwierigkeit der Umsetzung eines solchen Vorhabens unter den bestehenden lokalen Bedingungen auf allen Teilfeldern deutlich geworden.

## Literatur

- Adam, K.S. & M. Boko (1983): Le Bénin. Paris: EDICEF.
- Adjanohoun, E.J. et al. (1989): Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris.
- EEA (European Environment Agency) (ed.) (1999): Information for improving Europe's environment, Copenhagen: EEA.
- MEPN (Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, Direction Générale de l'Environnement) (ed.) (2007): Rapport National sur l'Environnement Marin et Côtier du Benin, Cotonou.
- CPCS (Commission de Pédologie et Cartographie des Sols) (Hrsg.) (1963): Classification Simplifiée des Sols. Travaux C.P.C.S. ENSA Grignon. France.
- Djogo, J.G. (2000): Impacts écologiques des plantations forestières sur la diversité biologique des écosystèmes côtiers du Bénin (Cas du périmètre de reboisement de Sèmè). Mémoire DEA/FLASH/UNB, Abomey-Calavi, Bénin.
- Doevenspeck, M. (2005): Migration im ländlichen Benin – Sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. Studien zur Geographischen Entwicklungsforschung 30, Saarbrücken: Verlag für Entwicklungspolitik.
- Institut Géographique Nationale du Bénin (IGN) (ed.) (2000): République du Bénin: Carte générale à 1: 600.000. Cotonou: Institut Géographique Nationale du Bénin.
- Institut Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) (ed.) (1994): Deuxième Recensement Général de la Population et de l'Habitation, février 1992. Cotonou: Direction des Etudes Démographiques.
- Institut Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) (ed.) (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation de Février 2002. Cotonou: Direction des Etudes Démographiques.
- Kaki C., L.M. Oyédé & S. Yessoufou (2001): Dynamique sédimentaire et environnement côtier du littoral béninois à l'Est de l'embouchure du fleuve Mono (Afrique de l'Ouest). Département des Sciences de la Terre, U.N.B., Cotonou, Bénin.
- MCAT – Ministère de la Culture, de l'Artisanat et du Tourisme (ed.) (2003): Processus de déclaration d'utilité publique et des termes de référence de la faisabilité de zone côtière entre Cotonou et Ouidah. Rapport final des travaux de terrain des 4 sous-comités techniques. Projet d'une Zone d'Aménagement Touristique sur la « Route des Pêches ». Cotonou, Bénin.
- Salomons, W., R.K. Turner, L. Drude de Lacerda, S. Ramachandran (eds.) (1999): Perspectives on Intergrated Coastal Zone Management. Berlin, Heidelberg.
- Thamm, H.-P., O. Schütz & M. Christoph (eds.) (2005): IMPETUS Atlas – Benin – Research Results. Universität Bonn.
- Turner, R.K., I. Lorenzi et al. (1998): Towards integrates modelling and analysis in coastal zones: Principles and practice. IGBP/LOICZ Reports and Studies 11.
- Weller, U. (2002): Land Evaluation and Land Use Planning for Southern Benin (Westafrika) – BENSOTER. Hohenheimer bodenkundliche Hefte. Heft 67. Universität Hohenheim.
- Wezel, A. & R. Böcker (2000): Vegetation of Benin. In: Graef, F., P. Lawrence & M.v. Oppen (eds.) (2000): Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives. Final Report (1986-1999) of the Special Research Programme 308 "Adapted Farming in West Africa". Stuttgart: Grauer Verlag.

## Adresse

Dipl.-Geoökol. Ulrike Sturm  
 Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
 Universität Karlsruhe (TH)  
 Englerstraße 7  
 76128 Karlsruhe

ulrike.sturm@ipf.uni-karlsruhe.de





## **Agricultural land use changes in Eiderstedt: historic developments and future plans**

P. Michael Link<sup>1</sup> & Christine Schlepupner<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Research Unit Sustainability and Global Change, Hamburg University

<sup>2</sup> International Max-Planck Research School on Earth System Modeling, Hamburg

### **Abstract**

The Eiderstedt peninsula in Schleswig-Holstein (Germany) has a long tradition as agricultural land. In the past, the landscape has been generally dominated by extensively used grassland. These grassland areas are home to many bird species, so that Eiderstedt can be considered to be one of the most important bird habitats in Schleswig-Holstein. Ongoing changes in the structure of the regional agriculture towards an intensified dairy production and the growth of biofuels call for a conversion of large shares of grassland to arable farm land. However, these plans are fiercely debated because a strong decline in grassland area is likely to have a considerable ecological impact on domestic meadowbird species. In this study, these problems accompanying an extensive land use change on Eiderstedt are explored. Three possible scenarios of transformations of agricultural land are developed which can be applied to determine the possible impacts of such conversions.

### **1 Ecological implications of land use choices on Eiderstedt**

The peninsula Eiderstedt at the West coast of Schleswig-Holstein is a region that is traditionally mainly used agriculturally. The dominant agricultural land use options are extensive management of grassland and the production of crops on arable farm land. Historically, there have been distinct shifts in the shares of these two land use options, each altering the characteristics of the landscape of Eiderstedt considerably. In times when the focus of agricultural activities on Eiderstedt was on the export of cattle as was the case in the late 19th century (Hammerich 1984), practically all agricultural land on Eiderstedt was used as grassland (LVermA-SH 2007a). But there were also periods in which more than half of the land was arable farm land.

These shifts in land use have ecological implications as Eiderstedt is considered to be one of the prime habitats for meadowbirds in Germany (Hötker et al. 2005) breeding in the large grassland and wetland areas adjacent to the North Sea. In addition, vast amounts of migrating birds pass through Eiderstedt in spring on their way from wintering grounds in the South to Scandinavia as well as on their way back in fall. The Naturschutzbund Deutschland (NABU) classifies Eiderstedt as wetland region of international importance based on the Ramsar convention (NABU 2005). Most of the bird species breeding on Eiderstedt prefer extensively used grassland or wetlands as breeding habitat, while arable farm land is much less suitable for the rearing of offspring.

Currently, approximately three quarters of the agricultural land on Eiderstedt is used as grassland (Stat A Nord 2004). However, plans to increase the share of arable farm land drastically in order to adapt to changes in agricultural production patterns are discussed. Altered boundary conditions brought about by changes in European agricultural policy often necessitate the switch from outdoor dairy production to maintaining the cattle stocks in stables (Nehls 2002). This means that crops with higher energy content have to be fed, which must grow on arable farm land in the vicinity. These kinds of land use change are generally irreversible as arable farm land on Eiderstedt needs to be artificially drained so that the original ponds that are characteristic for the landscape in this region are destroyed during the



conversion process. According to the local farmers union, two thirds of the agricultural land on Eiderstedt are supposed to be converted to arable farm land within the next couple of decades (NABU 2004). Such a change would not only distinctly alter the appearance of Eiderstedt, but would also mean the loss of valuable bird habitats and possibly a reduction of the recreational attractiveness of the landscape to visitors.

This study will look at possible scenarios of land use development on the Eiderstedt peninsula. After a brief historic overview of past agricultural land use changes in this region, the controversy between farmers and environmentalists about the future development of the local agriculture is presented. Using a geographic information system (GIS), scenarios of a future conversion of grassland to arable farm land on Eiderstedt are developed and described. These scenarios can be used in further assessments to quantify the ecological impacts of each development path.

## 2 Historic development of agricultural land use in Eiderstedt

Eiderstedt is a peninsula at the West coast of Schleswig-Holstein that extends into the North Sea. It is located between the river Eider in the South and the town of Husum in the Northeast. Back in the 11th century, Eiderstedt consisted of several geest islands, but started to grow together as a consequence of the first coastal protection measures being erected at that time (Meier 2001). Initially, transportation was only possible by boat as settlements were exclusively accessible from the North Sea. These waterways remained in operation for several centuries and its underlying pattern is still recognizable. Today, almost the entire peninsula is enclosed by dikes built to withstand severe storm floods. This makes it necessary to artificially drain the land area. Parallel passing drills (in German: Gruppen) have been constructed that have become a typical feature of the Eiderstedt landscape (Fischer 1997).

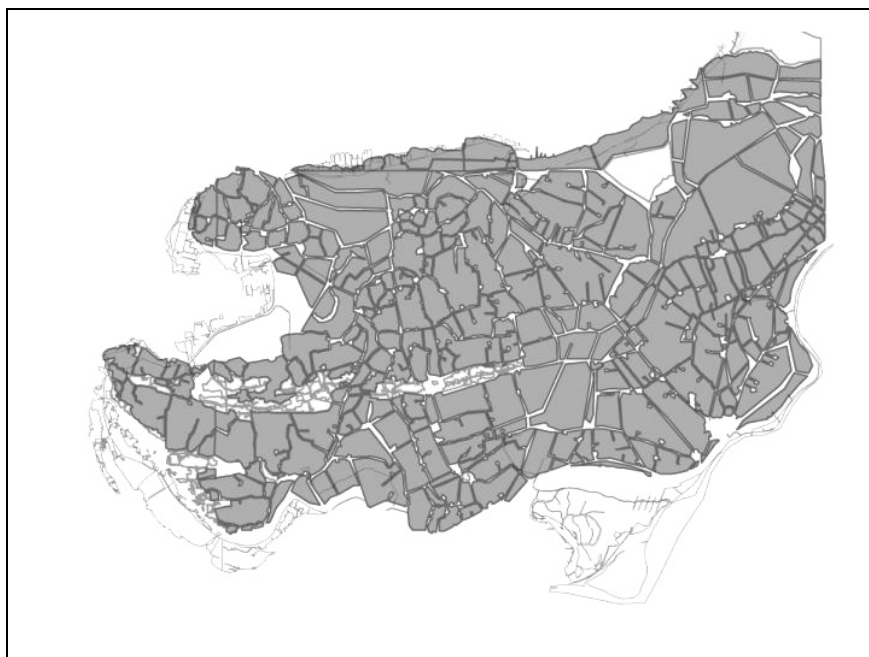


Figure 1: Agricultural land use on the Eiderstedt peninsula in 1878, grassland is shown in dark grey and arable farm land in light grey (based on LVerMA-SH 2007a)

The soil quality of the marshland is quite high (Feddersen 1853; InfoNet Umwelt 2007). In the early 19th century crop production was of great importance on Eiderstedt (Hammerich 1984) and the share of arable farm land was quite high. In some years close to half of the agricultural land was used to grow crops. In the middle of that century cattle farming became the prime means of agricultural production as exports of cattle to the United Kingdom via the harbors of Tönning and Husum were

very profitable. Consequently, meadows and grassland with ponds and drainage drills running through became the dominant type of agricultural land on Eiderstedt. When detailed maps of Germany were drawn up by the Prussian government in the late 1870s, almost 93 % of the agricultural land consisted of grassland (LVerMA-SH 2007a). Arable farm land was hardly found (Fig. 1): crop production took place only in the vicinity of the town of Garding and in the Northeast of Eiderstedt.

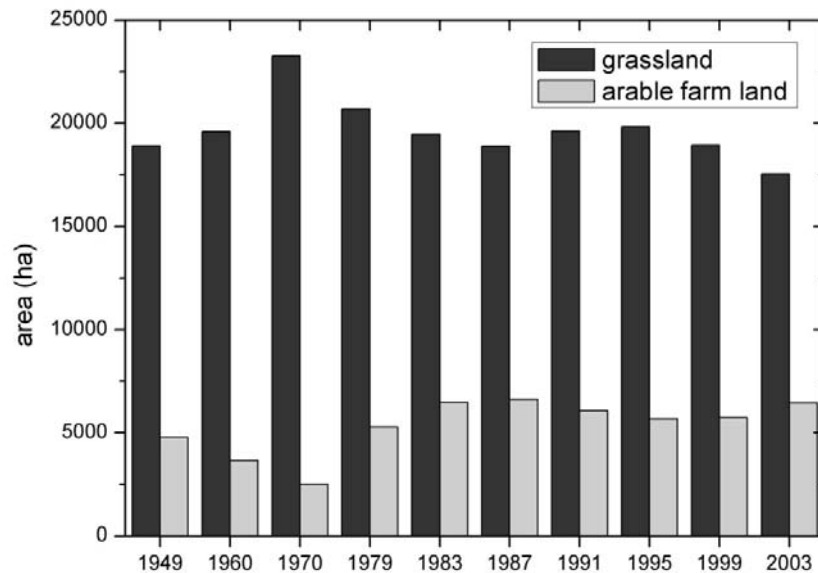


Figure 2: Distribution of agricultural land on Eiderstedt: grassland and arable farm land (based on Stat A Nord 1950-2004)

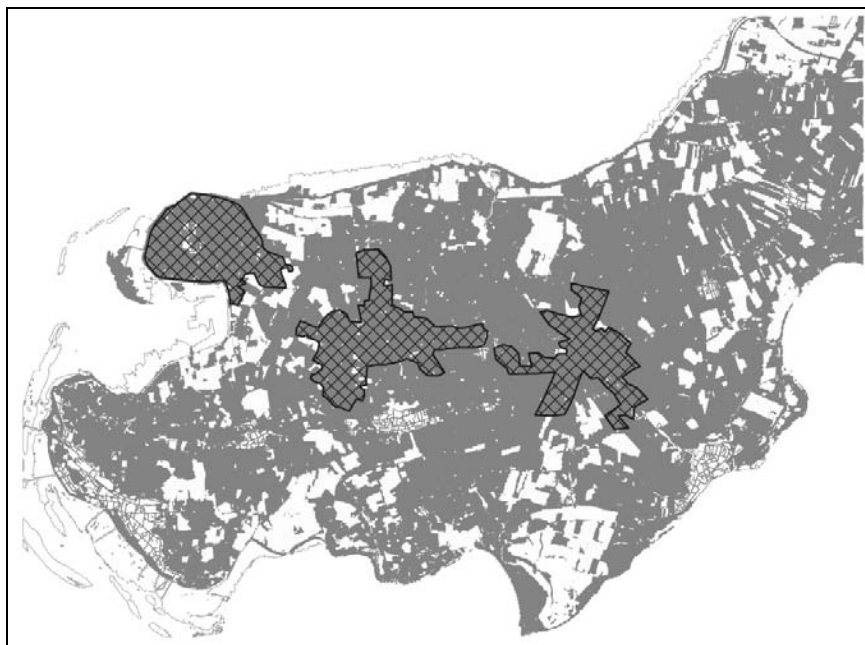


Figure 3: Agricultural land use on the Eiderstedt peninsula in 2002, grassland is shown in dark grey and arable farm land in light grey (based on LVerMA-SH 2007b)

During the first half of the 20th century, there were only little changes in the distribution of agricultural land (Hammerich 1984) with the share of grassland always exceeding 80 %. After World War II the dairy production became dominant on Eiderstedt, which led to a further reduction of arable farm land until 1970 (Stat A Nord 1950-2004). Figure 2 shows that arable farm land started to increase

afterwards, which was mainly due to an expansion of crop production on polders that were secured by dikes in the 1960s. Until 2003 the share of arable farm land remained stable at about one quarter of the total agricultural land. The distribution of the two dominant agricultural land uses in 2002 is illustrated in Figure 3, in which the three bird sanctuaries on Eiderstedt (Westerhever, Poppenbüll, and Kotzenbüll) are particularly marked. Even though crops are grown in all regions of Eiderstedt, there are vast areas of contiguous grassland, particularly in central Eiderstedt (LVermA-SH 2007b). These are of great ornithological significance.

In recent years, however, altered political boundary conditions have caused farmers to switch from dairy production with the extensive grassland use to higher intensity cattle farming and biofuels production. As intensive cattle farming involves permanent housing of the cattle, it is essential to grow the high energy forage crops. The increased demand for these crops and for those used in biofuel production necessitates an expansion of the share of arable farm land at the expense of grassland and meadows.

### **3 The controversy about plans for future land use change**

Meadows and grassland are habitats with the potentially highest biodiversity in central Europe (Nehls 2002). They are threatened by an intensive agricultural use involving the application of large amounts of fertilizers, the conversion to arable farm land, and dehydration by improving drainage. A conversion of grassland to arable farm land destroys the diverse flora and fauna and cause a deterioration of the quality of the entire ecosystem. The expansion of grassland in other regions to offset the losses is inadequate as newly seeded grassland is ecologically worthless for a long period of time. Consequently, the plan to convert a significant share of the grassland on Eiderstedt to arable farm land is strictly opposed by environmental interest groups led by the NABU.

Farmers argue that protection plans proposed by NABU are far too restrictive and do not fare well with the economic necessities of the region. Their interest group Pro-Eiderstedt proposes contractual nature conservation, as conservation measures can only be realized in consent with the local farmers. Many such contracts were established in the late 1980s but their number declined in the 1990s when fundamental enforcement rules changed. In 2001, approximately 1 000 ha of agricultural land were managed by contractual conservation. According to the Ministry of Agriculture in Schleswig-Holstein, that area increased to about 3 000 ha in 2006 (MLUR 2006). Extensively used grassland managed by contractual conservation may not be converted to arable farm land, drainage may not be intensified, and the application of pesticides and fertilizers is prohibited. Pro-Eiderstedt has developed a concept to manage approximately 10 000 ha of agricultural land by contractual conservation, however, the plan calls for only limited enforcement of the specified rules.

Critics of contractual nature conservation state that it has proved to be not too effective in the past (Nehls 2002). Contracts with strict rules are hardly attractive to farmers and are therefore very often rejected, even though only one third of such contracts in Germany contain special obligations regarding environmental protection while the largest share of them contains only general rules for extensive land use.

Advocates of strict rules to protect the grassland areas propose to strengthen the extensive grassland use without increasing incentives of a more intensified management. The NABU calls for a special premium for the farmers who extensively manage their grassland (NABU 2004) to offset the economic disadvantages of grassland farming in comparison to crop production. An important aspect of this plan is to grant premiums for arable farm land and for grassland separately and with particular reference to the location. Additionally, the premiums must be revoked in case of a conversion of the land. However, the enforcement of such a premium system would be quite complicated and subject to a large number of exceptions.

In addition to economic stimulation, environmental interest groups endorse direct measures to protect ecologically valuable land. The European directive Natura 2000 requires the members of the EU to

identify protected sites according to the European Conservation of Wild Birds Directive. The former environmental minister of Schleswig-Holstein, Klaus Müller of the Green Party, proposed to declare 24 648 ha of Eiderstedt, which is practically the whole area of the peninsula except for the settlements, as sanctuary. This caused fierce opposition as this plan exceeded the minimum requirements of the directive (SH-Landtag 2004). Farmers feared that the declaration of a large protected area would bring them economic disadvantages as new investments and expansions of agricultural activities would be severely regulated.

Instead, three separate bird sanctuaries on Eiderstedt have been declared: one around the town of Westerhever in the Northwestern corner of Eiderstedt and two others in central Eiderstedt near Poppenbüll and Kotzenbüll (Fig. 3). The goal of declaring these sanctuaries was to maintain these sites as habitats for migrating and breeding bird species (MLUR 2006) by preserving the many ponds and drainage drills by limiting the extent of agricultural use. Farmers criticize even this declaration arguing that the EU Conservation of Wild Birds Declaration is only valid for natural and not for cultivated land and does not apply to Eiderstedt as the whole landscape is anthropogenically cultivated in its entirety already for centuries.

Currently, no agreement between the different interest groups appears to be in reach. In case no additional sites are declared as sanctuaries in the future, the remainder of the agricultural land on Eiderstedt may be subject to conversion in the near future. This would alter the appearance of the landscape on Eiderstedt such that arable farm land would become the dominant form of land use for the first time in more than one and a half centuries.

#### **4 Scenarios of land use development in the next decades**

In order to be able to assess the possible ecological consequences of such land use change, different scenarios are developed. The scenarios are based on the assumption that the plan to drastically increase the amount of arable farm land on Eiderstedt to two thirds of the entire agricultural land area is actually realized within the next couple of decades. Due to the lack of information in the propositions on which areas are to be converted, three different patterns of land use change are compared in the following. The agricultural land use patterns in the course and after the completion of the planned conversion are identified for all scenarios. They differ quite substantially, depending on the development path applied.

The first scenario considers a pattern of land use change, in which land is primarily converted along the main roads through Eiderstedt and in only recently diked marshland (Fig. 4). Such a development is particularly likely if a lot of biofuels are to be grown on Eiderstedt in the future. Because these crops would need to be transported to the power plants from where they are grown, producing them as closely as possible to already existing infrastructure makes this task significantly easier.

If the land use change originates from the main roads through Eiderstedt, the landscape becomes very patchy during the conversion process. Halfway through the conversion process, uniform areas of grassland can only be found in the three declared bird sanctuaries and in their vicinity in central Eiderstedt (Fig. 4). The Eastern part of Eiderstedt consists of a mix of many small areas of both land uses. It has to be noted that in the early phase of the conversion process land closer to the coastal areas of Eiderstedt are more likely to be converted than the more central parts of the peninsula.

At the end of the conversion process, only some patches of grassland remain scattered throughout Eiderstedt (Fig. 4). These are generally quite fragmented, except for the areas around the three bird sanctuaries, in which larger uniform areas of grassland remain intact. These areas would have to serve as primary breeding grounds for the remaining meadowbirds. In all scenarios, the region around Westerhever only remains a uniform grassland area because it is a declared bird sanctuary. If it had not been declared a protected site, the Northwestern tip of Eiderstedt would also have been converted into arable farm land to a large extent.

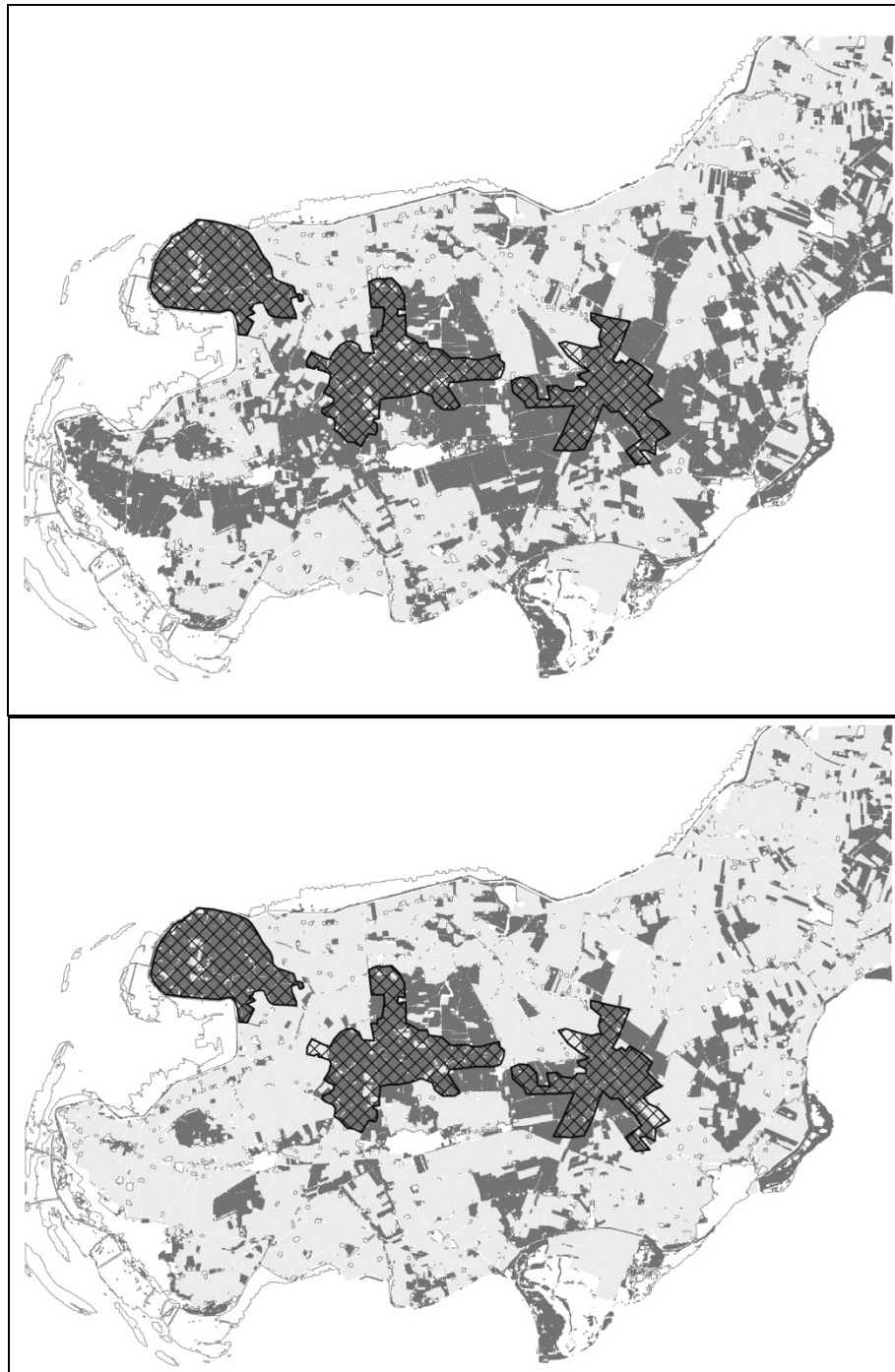


Figure 4: Agricultural land use on the Eiderstedt peninsula in 2015 (top panel) and 2025 (bottom panel), if land use change originates along the main roads across Eiderstedt

The second pattern is based on the assumption that it is best to grow crops on large continuous patches of land. Therefore, in this pattern land is primarily converted in areas around already existing arable farm land (Fig. 5). In this case the conversion process is more coherent and produces a less fragmented land use pattern.

During this conversion process, a large region of grassland remains in central Eiderstedt. It does not only encompass the two bird sanctuaries but also substantial areas in their vicinity (Fig. 5). The large size of this uniform grassland area increases its ecological value as breeding habitat for meadowbirds. Similar to the previous scenario, the arable farm land is mainly located in the regions close to the coast

but it is combined into larger units so that crop production can be more efficient in this scenario than in the previous one.

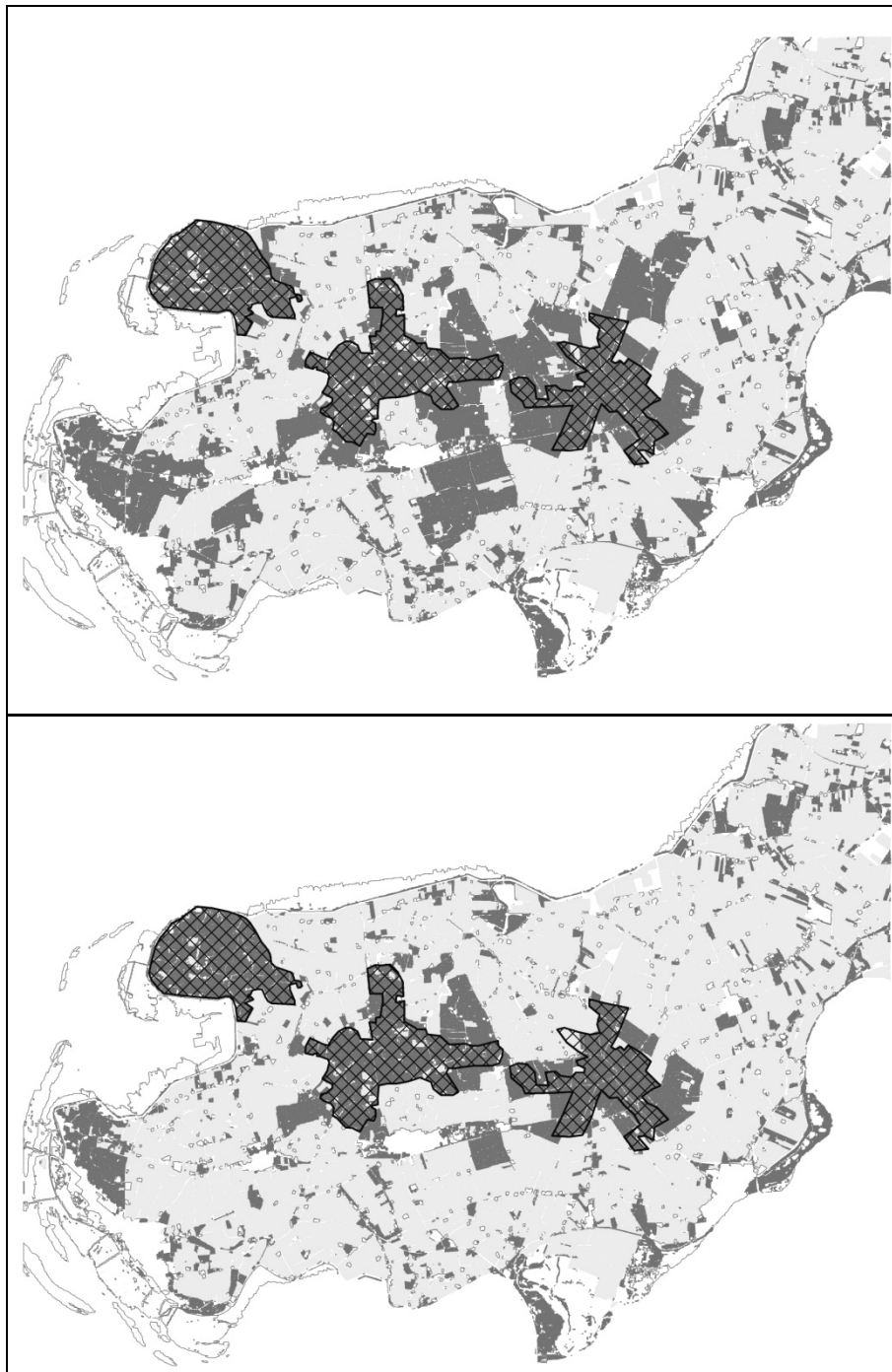


Figure 5: Agricultural land use on the Eiderstedt peninsula in 2015 (top panel) and 2025 (bottom panel), if land use change extends outward from already existing patches of arable farm land

The distribution of the remaining grassland in 2025 in this scenario (Fig. 5) is similar to the one considered earlier, except for the region North of St. Peter-Ording, which remains grassland, and the area in central Eiderstedt, where less land is converted in the vicinity of the two bird sanctuaries. In contrast, patches converted to arable farm land are less fragmented, so that the degree of land use change appears to be even higher than in the previous scenario, even though this is not the case.

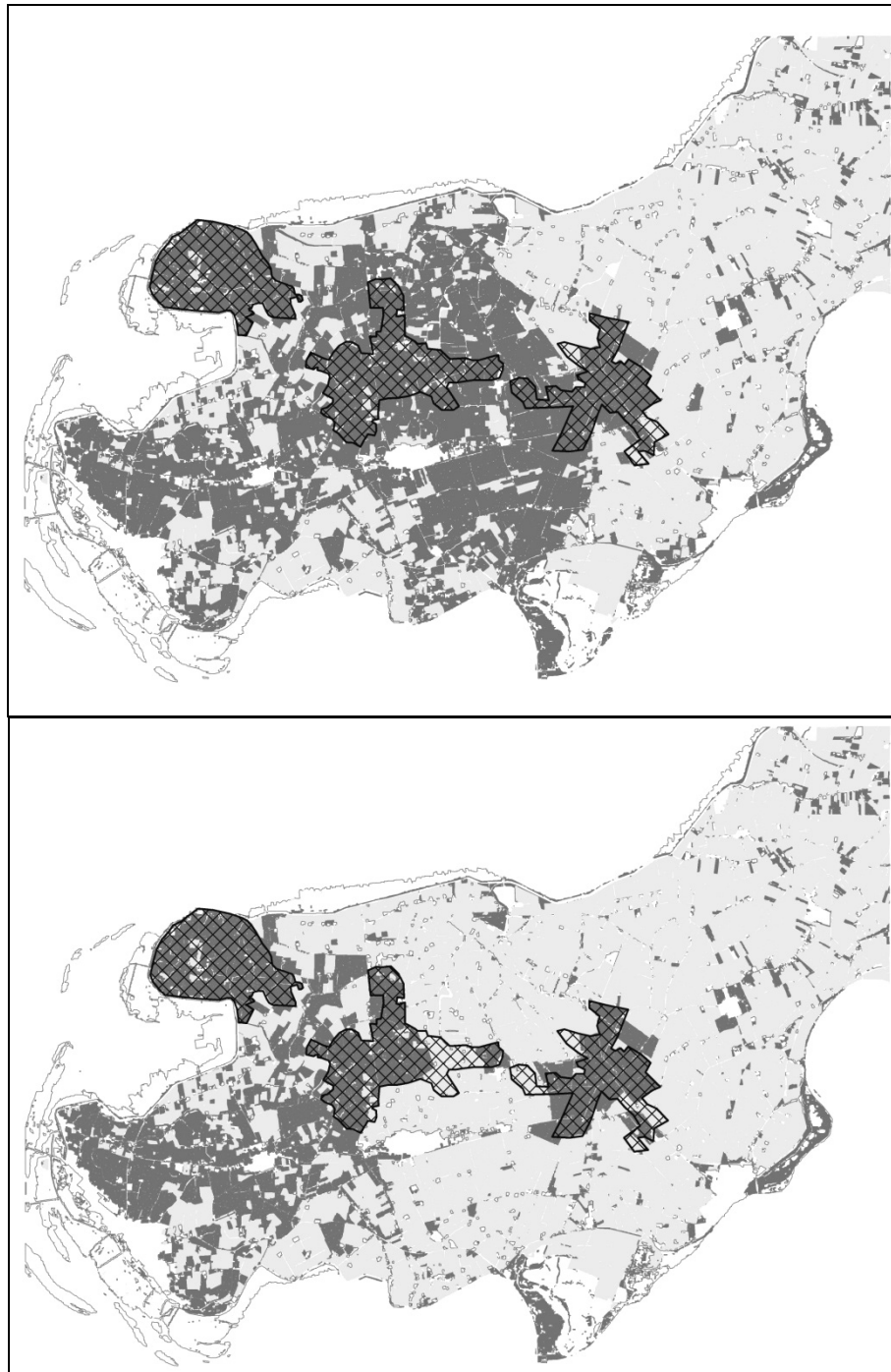


Figure 6: Agricultural land use on the Eiderstedt peninsula in 2015 (top panel) and 2025 (bottom panel), if land use change first occurs in the East and then progresses Westwards

The third pattern of conversion follows the premise that the less remote an area of land is, the more useful it is to be used for crop production. Since the Eiderstedt peninsula is connected to the rest of Schleswig-Holstein only in the East, this pattern of land use change converts grassland to arable farm land from East to West (Fig. 6).

By applying such a conversion pattern, it is ensured that the area of arable farm land used for crop production is more or less coherent, while the remaining grassland also consists of large patches as long as possible (Fig. 6). In the early phase of land use change, conversions are more likely to occur in the Southern part of Eiderstedt than in the North.

If two thirds of the agricultural land have been converted to arable farm land from East to West, practically all of the remaining grassland is confined to the area West of the town of Garding. Eastwards only bird sanctuary of Kotzenbüll remains more or less intact. However, there is even some land use change within the two bird sanctuaries in central Eiderstedt. This is likely to have an adverse influence on the overall ornithological habitat quality of these two special regions. Furthermore, large parts of the remaining grassland are in the vicinity of the towns of St. Peter-Ording and Tating, which are popular tourist destinations at the West coast of Schleswig-Holstein. This is likely to cause additional ecological difficulties due to increased stress imposed on the fauna caused by high anthropogenic frequentation.

## **5 Possible implications of a conversion of grassland to arable farm land**

A large scale conversion of grassland to arable farm land throughout the Eiderstedt peninsula will not only change the appearance of the entire landscape but also have an impact on the number of breeding pairs of meadowbirds supported by the habitats. The scenarios described above are applied in a GIS assessment to determine the altered carrying capacity of the Eiderstedt peninsula for key bird species (Schleupner & Link 2007). The results indicate that the pattern of agricultural land use change has a profound influence on how the number of breeding pairs develops.

The three scenarios mainly differ in the location of the remaining grassland areas and in their degree of fragmentation. The fragmentation is highest if the conversion originates along the existing infrastructure on Eiderstedt, which worsens the quality of the grassland that is not converted to arable farm land. In contrast, the area of coherent regions of agricultural land use is largest if the conversion proceeds Westwards across Eiderstedt. However, since the remaining bird habitats in the bird sanctuary near Kotzenbüll become quite isolated and most of the other suitable breeding habitats are located in proximity to major tourist destinations, the bird density in those habitats is likely to decline over time, amplifying the pressure on the bird populations of Eiderstedt caused by the reduction in size of the suitable breeding habitats.

Overall, the quality of the Eiderstedt peninsula as breeding habitat for meadowbirds decreases substantially as a consequence of a large scale land use change. As the density of breeding pairs of four important species declines, the number of individuals supported by the habitats will be reduced at a disproportionately high rate (Schleupner & Link 2007). Even the declaration of the three bird sanctuaries on Eiderstedt will prove to be insufficient to counter this trend since the sanctuaries are also negatively influenced by changes in their vicinity whose influence carries over into the protected areas.

In addition to adverse ornithological impacts, a substantial land use change on Eiderstedt can have an influence on income generated by tourism. Eiderstedt is a famous destination due to its extensive grassland areas and the large numbers of breeding and migrating birds to be observed. The general appearance of Eiderstedt to visitors will change if large parts of grassland are replaced by arable farm land for crop production. How this would influence the tourist industry on the peninsula still needs to be determined separately. The controversy about land use development can only be solved if a compromise can be reached between the ecological demands of the ornithological fauna, the economic interests of farmers, and the aesthetic expectations of tourists visiting the Eiderstedt peninsula.

## **Acknowledgements**

The land use change assessment is based on previous analyses by the Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, which we can gratefully utilize in this study. The authors would like to thank Dr. E. Tschach for providing the digital base maps and the land use data. The GIS-Software ArcGIS 9 has been kindly sponsored by the ESRI-Absolventenprogramm. This study contributes to the EU-project GEOBENE (Global Earth Observation – Benefit Estimation: Now, Next and Emerging, FP6).



## References

- Feddersen, F. (1853). Beschreibung der Landschaft Eiderstedt. Schlüter Verlag, Tönning/Altona, Germany, 301 p. (in German).
- Fischer, L. (ed.) (1997). Kulturlandschaft Nordseemarschen. Nordfriisk Instituut, Bredstedt/Westerhever, Germany, 254 p. (in German).
- Hammerich, H. (1984): Eiderstedts Landwirtschaft – gestern und heute. Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum, Germany, 71 p. (in German).
- Hötker, H., H. Köster & K.M. Thomsen (2005): Wiesenvögel auf Eiderstedt und in der Eider-Treene-Sorge Niederung/Schleswig-Holstein im Jahre 2001. Corax 20, 1-17. (in German).
- InfoNet Umwelt (2007). [www.umwelt.schleswig-holstein.de](http://www.umwelt.schleswig-holstein.de) (last visit: June 25, 2007).
- Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein (LVermA-SH) (2007a): Digitale Topographische Karte 1:25000 – Vorläufige Ausgabe (DTK25-V) of the Preußische Landesaufnahme 1878, pages 1518, 1519, 1617, 1618, 1619, 1717, 1718, and 1719.
- Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein (LVermA-SH) (2007b): Digitale Topographische Karte 1:25000 – Vorläufige Ausgabe (DTK25-V) of 2002, pages 1518, 1519, 1617, 1618, 1619, 1717, 1718, and 1719.
- Landtag des Landes Schleswig-Holstein (SH-Landtag) (2004): Neuer Disput um FFH-Umsetzung. [www.sh-landtag.de/plenum\\_online/april2004/texte/39\\_ffh.htm](http://www.sh-landtag.de/plenum_online/april2004/texte/39_ffh.htm) (last visit: June 28, 2007). (in German).
- Meier, D. (2001): Landschaftsentwicklung und Siedlungsgeschichte des Eiderstedter und Dithmarscher Küstengebietes als Teilregion des Nordseeküstenraumes, Teil 1 und 2. Habelt Verlag, Bonn, Germany, 287 & 175 p. (in German).
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (MLUR) (2006): Bekanntmachung des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume vom 7. Februar 2006. Auswahl Europäischer Vogelschutzgebiete. Beteiligung der Betroffenen nach § 20 c Abs. 2 Landesnaturschutzgesetz. [www.natura2000-sh.de](http://www.natura2000-sh.de) (last visit: June 25, 2007). (in German).
- Naturschutzbund Deutschland (NABU) (2004): Eiderstedts Grünland muss erhalten bleiben! Resolution NABU Landesvertreterversammlung 25. April 2004. [schleswig-holstein.nabu.de/modules/pressteservice\\_schleswig\\_holstein/index.php](http://schleswig-holstein.nabu.de/modules/pressteservice_schleswig_holstein/index.php), (last visit: June 28, 2007). (in German).
- Naturschutzbund Deutschland (NABU) (2005): Akteneinsicht: Der Fall „Eiderstedt“. [schleswig.holstein.nabu.de/m05/m05\\_04/04750.html](http://schleswig.holstein.nabu.de/m05/m05_04/04750.html) (last visit: June 27, 2007). (in German).
- Nehls, G. (2002): Grünlandnutzung und Naturschutz – die Flächenprämie bringt's zusammen. In: Agrarbündnis e.V. (ed.): Der kritische Agrarbericht. ABL Bauernblatt Verlags-GmbH, Hamm, Germany, pp. 228-233 (in German).
- Schlepner, C. & P.M. Link (2007): Potential impacts on important bird habitats in Eiderstedt (Schleswig-Holstein) caused by agricultural land use changes. Hamburg University, Research Unit Sustainability and Global Change, Working Paper FNU-138, 22 p.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (Stat A Nord) (1950-2004): Statistische Berichte zur Landwirtschaft in Schleswig-Holstein auf Gemeindeebene, multiple volumes. Kiel, Germany. (in German).

## Address

Dr. Peter Michael Link, Dipl.-Geogr. Christine Schlepner  
 Hamburg University  
 Research Unit Sustainability and Global Change  
 Bundesstrasse 55, Pavillon  
 D-20146 Hamburg

[michael.link@zmaw.de](mailto:michael.link@zmaw.de)  
[christine.schlepner@zmaw.de](mailto:christine.schlepner@zmaw.de)



## **Szenarien über mögliche Zukünfte der Nordseeküste bis 2055 – Herangehensweise und methodische Gesichtspunkte mit Schwerpunkt auf sozioökonomischen Aspekten**

Katharina Licht-Eggert<sup>1</sup>, Andreas Kannen<sup>1</sup>, Kai Ahrendt<sup>2</sup>, Benjamin Burkhard<sup>3</sup>, Antje Bruns<sup>1</sup>,  
Doris Diembeck<sup>3</sup>, Kira Gee<sup>1</sup>, Bernhard Glaeser<sup>4</sup>, Bente Grimm<sup>5</sup>, Jörg Köhn<sup>6</sup>, Tanja Michler<sup>7</sup>,  
Corinna Nunneri<sup>8</sup>, Sebastian Stragies<sup>4</sup> & Wilhelm Windhorst<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GKSS Forschungszentrum, Geesthacht

<sup>2</sup> Büro für Umwelt und Küste, Kiel

<sup>3</sup> Ökologiezentrum Kiel, Universität Kiel

<sup>4</sup> Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, (WZB), Berlin

<sup>5</sup> Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH (NIT), Kiel

<sup>6</sup> Köhn Consult, Heiligenhafen

<sup>7</sup> Alfred-Wegener Institut (AWI), Bremerhaven

<sup>8</sup> FTZ Westküste, Büsum

### **Abstract**

Using the German North Sea coast and large scale development plans for offshore wind farms as examples for changing use patterns, the article describes the scenario approach used in the BMBF funded research project “Zukunft Kueste – Coastal Futures” as a tool for an integrated assessment of potential coastal developments. The approach examines a range of different scenarios or pathways for future development of the German North Sea region in order to frame potentially associated changes in marine use patterns. These include (a) sea and coast as a predominantly natural area, (b) sea and coast as a leisure and tourism area, (c) sea and coast as a source for renewable energies, (d) sea and coast as an predominantly industrial area and (e) sea and coast as a traffic area. The scenarios are based on the Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)-model. Purpose of the scenarios is to describe the consequences related to different sea use patterns in terms of regional development, socio-economic structure and social infrastructure in coastal areas and ecosystem impacts in the sea. The article focusses on the scenario development and criteria to assess related economic and social impacts.

### **1 Einführung**

Das Meer als intakter, nur von den Naturgewalten beanspruchter Lebensraum mit unendlichen unberührten Weiten gehört – obwohl sicherlich noch in vielen Köpfen vorhanden – der Vergangenheit an. Seit der Mensch sich dieses Ökosystem zu Nutzen macht, konkurrieren immer mehr Wirtschaftszweige um den Raum und seine Ressourcen. Fischerei, Erdöl- und Erdgasgewinnung sowie Kies- und Sandabbau entnehmen Rohstoffe, das Militär nutzt das Gebiet für Übungszwecke und für die Schifffahrt, für die Telekommunikation und die Erdöl- und Erdgasindustrie dient der Bereich als Transportwege für Güter, Daten und Rohstoffe. Zusätzlich wird der Meeres- und Küstenraum aufgrund seiner Artenvielfalt und Sensibilität gegenüber Eingriffen unter Schutz gestellt (Gee et al. 2006a). Aber auch landseitige Raumnutzungen machen sich den Meeresraum zu Nutze. So profitiert der Küstentourismus nach wie vor von dem Medium Wasser und Meer als Erholungsfaktor.

Alle Raumnutzungen haben Auswirkungen auf das Ökosystem Meer/Küste (ökologische Integrität) und auf die ökonomischen (Wirtschaftszweige an Land) und sozialen Systeme (Lebensqualität und soziale Infrastruktur) des Küstenraumes. So schaffen bestimmte Meeresnutzungen Arbeitsplätze bzw. Einkommen an Land, was wiederum Auswirkungen auf die Bevölkerungsentwicklung und auf den

Bedarf an sozialer Infrastruktur (wie Bildung, Gesundheit Wohnungen etc.) hat. Veränderungen in dem Raumnutzungsgefüge verursachen somit Veränderungen in den anderen Bereichen. Ein Ende dieses bereits bestehenden Nutzungsdruckes ist derzeit nicht abzusehen, im Gegenteil scheinen neue Nutzungen den Meeresraum zu erobern, wie die Offshore-Windkraft oder auch Wasserstoffgewinnung oder marine Aquakultur. Zugleich werden z. B. der Seeverkehr und seine Infrastrukturanforderungen (Hafenentwicklung, Vertiefung von Fahrrinnen) als Folge der Globalisierung intensiver (Gee et al. 2006b).

Was passiert aber nun, wenn sich eine neue Form der Nutzung in einem Raum etabliert? Welchen Einfluss hat dies auf andere Nutzungen oder auf die ökologischen und sozioökonomischen Systeme? Welche Wechselwirkungen bestehen überhaupt zwischen bestimmten Meeres- und Küstennutzungen, zwischen menschlichen Aktivitäten und Küstenökosystemen? Mit diesen Fragestellungen eines Integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) beschäftigt sich das seit 2004 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundvorhaben Zukunft Küste – Coastal Futures und legt dabei den räumlichen Schwerpunkt auf die Nordsee und die schleswig-holsteinische Westküste.

Eine Möglichkeit, die Komplexität der Zusammenhänge zwischen Nutzungen und Systemen zu erfassen und zu erklären und mögliche zukünftige Entwicklungen zu beschreiben, ist die Verwendung von Szenarien, die sich in den letzten Jahren zunehmender Beliebtheit erfreuen (Alcamo 2001, Alcamo & Bennet, McCarthy et al. 2001, Alley et al. 2007, Rotmans et al. 2001, Shell 2002, UNEP 2002, WBCSD 1997).

Dabei lassen sich Szenarien als Werkzeug

- zur Veranschaulichung komplexer Zusammenhänge und Wechselwirkungen verschiedener Räume oder Systeme,
- zur abschätzenden Bewertung schwer vorhersagbarer Zukünfte und somit
- zur Unterstützung von Entscheidungsträgern im politischen Umfeld

verwenden. Szenarien stellen plausible, mögliche, alternative Zukünfte dar, die unter bestimmten Annahmen passieren könnten. Sie sind keine Prognosen oder Voraussagen von zukünftigen Entwicklungen. In so genannten Geschichten (Storylines) werden bestimmte Zukunftsbilder aufgebaut und erzählt, wie die Welt nach x Jahren in der Zukunft aussieht. Diese Geschichten lassen sich dann mit Modellrechnungen oder Daten hinterlegen wie z. B. in den Szenarien des IPCC (IPCC 2000).

Um komplexe Auswirkungen bestimmter, anthropogen induzierter, Zukunftsentwicklungen im Meeres- und Küstenraum der schleswig-holsteinischen Küste besser abschätzen zu können, wurden im Projekt Zukunft Küste – Coastal Futures verschiedene Zukunftsszenarien für die deutsche Nordseeküste bis zum Jahr 2055 entwickelt. Da die Offshore Windkraft als eine mögliche, aber noch nicht etablierte, zukünftige Nutzung im Meeresraum im Mittelpunkt vieler Untersuchungen im Projekt steht, wurde auch im Rahmen der Szenarienentwicklung ein besonderes Augenmerk auf deren Ausgestaltung innerhalb der Szenarien gelegt. Die Szenarien wurden entlang des Driver-Pressure-State-Impacts-Response-Ansatz (im folgenden DPSIR-Ansatz, siehe Abb. 1) (EEA 1999, raumordnungsorientierte Anpassung in Gee et al. 2006b) strukturiert. Dieser Ansatz ermöglicht eine strukturierte und schrittweise Ausgestaltung der Zukunftsbilder sowie eine vereinfachte Darstellung der angenommenen Wirkungszusammenhänge.

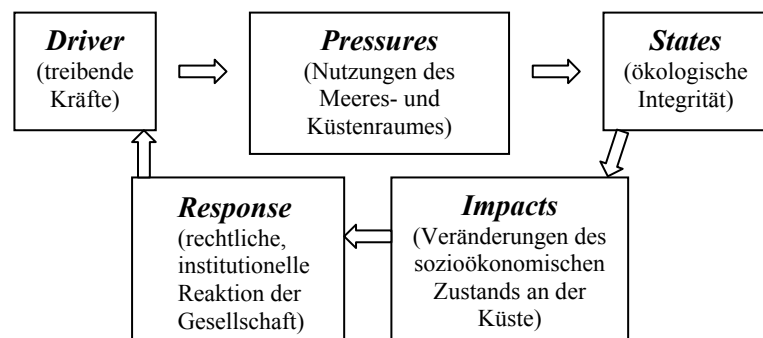


Abb. 1: Darstellung des DPSIR-Ansatzes

## 2 Konzeption der „Coastal Futures“-Szenarien

Im Folgenden werden die im Projekt durchgeführten Arbeitsschritte und die systematische Herleitung der Zukunftsszenarien beschrieben. Dabei wird exemplarisch an zwei ausgewählten Szenarien die Methodik des DPSIR-Modells dargelegt. Eine genauere Beschreibung aller im Rahmen des Projektes erarbeiteten Szenarien, inklusive der vorgenommenen Vorarbeiten und detaillierten Definitionen, sind Burkhard 2006 und Burkhard & Diembeck 2006 zu entnehmen. Neu im Rahmen dieses Artikels sind die Beschreibung und Darstellung der Kriterien zur Bewertung der sozio-ökonomischen Systeme.

### Szenarientyp, Raum- und Zeitskalen

Die Szenarien wurden antizipatorisch entwickelt, d.h. ausgehend von einem Zukunftsbild wurde zurückverfolgt, unter welchen Rahmenbedingungen diese Zukunft entstehen kann (näheres zu anderen Szenarientypen siehe Burkhard 2006). Insgesamt entstanden auf diese Weise fünf verschiedene Zukunftsbilder, die unterschiedlichen Nutzungsprioritäten bzw. Nutzungsmustern entsprechen:

- Das Meer (*überwiegend genutzt*) als Naturraum
- Das Meer (*überwiegend genutzt*) als Energieraum
- Das Meer (*überwiegend genutzt*) als Industrieraum
- Das Meer (*überwiegend genutzt*) als Erholungsraum
- Das Meer (*überwiegend genutzt*) als Verkehrsraum

Auf diesen Zukunftsbildern aufbauend wurden im ersten Schritt 13 Einzelszenarien entwickelt, die in einem zweiten Schritt unter Einbezug projektbezogener Auswahlkriterien, insbesondere der Intensität des Offshore-Windkraft-Ausbaus und dessen Stellenwert im Gesamtnutzungsmuster der Nordseeregion fünf Szenarien für eine umfassende Bearbeitung ausgewählt.

Da sich sowohl die Effekte der einzelnen anthropogenen Nutzungen wie auch der Nutzungsmuster je nach Betrachtung von räumlichen und zeitlichen Skalenniveaus unterschiedlich ausprägen, spielen die zeitlichen wie räumlichen Skalen für die Analyse der Auswirkungen eine große Rolle. Für „Zukunft Küste – Coastal Futures“ sind die Raumebenen lokal (mit Schwerpunkt auf die nordfriesischen Inseln), Westküste Schleswig-Holstein, deutsche Nordsee (inkl. Ausschließliche Wirtschaftszone), und grenzübergreifend die südliche Nordsee relevant (siehe Abb. 2). Zeitliche Schritte umfassen die Jahre 2005 (als Basisjahr für Modellierungen) sowie – in Anlehnung an die von der Bundesregierung geplanten Ausbauschritte der Offshore Windkraftentwicklung (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2004) – die Jahre 2010, 2030 und 2055.

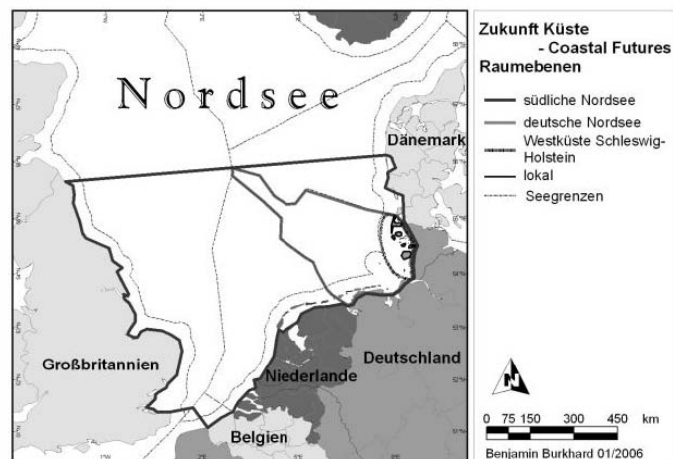


Abb. 2: Raumebenenwahl für die Szenarien im Projekt Zukunft Küste – Coastal Futures.

Wie sehen also mögliche Zukunftsbilder der Nordsee(küste) im Jahr 2055 aus? Welche treibenden Kräfte üben Druck auf den Raum aus und können zu welchen Entwicklungen führen (Driver)? Welche Auswirkungen ergeben sich daraus für das bestehende Raumnutzungsmuster (Pressure)? Welche Auswirkungen haben veränderte Raumnutzungsmuster auf die bestehenden ökologischen, ökonomischen, soziale Systeme (State) und wie werden diese verändert (Impact)? Wie sieht dann die gesellschaftliche Reaktion auf diese Entwicklung aus (Response)?

Im Folgenden wird beispielhaft anhand von zwei Szenarien – „Das Meer als Naturraum“ und „das Meer als Energieraum“ – auf die die Entwicklung der Zukunftsbilder eingegangen sowie auf die Kriterien zur Bewertung der sozio-ökonomischen Effekte.

### **Zukunftsbilder der Nordsee(küste) im Jahr 2055 – Das Meer als Energieraum und das Meer als Naturraum**

Zusammengefasst kann über die Zukunftsbilder der hier ausgesuchten Szenarien folgendes gesagt werden:

**A2) Das Meer als Naturraum:** Erhaltung der vorhandenen Naturschutzkulisse. Neue Nutzungen sind nur außerhalb bestehender Schutzgebiete möglich.

**B1) Das Meer als Energiepark:** Der Großteil des allgemeinen Energiebedarfs wird mit regenerativen Energien gedeckt. Die Nordseeküste wird zu einem Energieproduktionsraum, der nicht nur sich selbst versorgt, sondern Energie in andere Räume exportiert.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die jeweils ausformulierte Beschreibung (Storyline) der entsprechenden Szenarienzustände im Jahre 2055 für die beiden Szenarien.

Tabelle 1: Zukunftsbild /Storylines für das Jahr 2055 der im Projekt Zukunft Küste – Coastal Futures erstellten Szenarien A2 und B1

<b>Szenario A2: „Das Meer als Naturraum: Erhaltung der vorhandenen Naturschutzkulisse“</b>	<b>Szenario B1: „Das Meer als Energiepark: Der Nordseeraum als Energieexporteur“</b>
<p>Ökologisches Denken sowie die nachhaltige Nutzung der Natur, sind Handlungs- und Bildungsschwerpunkte.</p>	<p><i>Die Gesellschaft ist stark technologieorientiert, jedoch ist die Kernenergie wegen der ungelösten Entsorgungsfrage gesellschaftlich nicht akzeptiert. Die globale Wirtschaft ist marktorientiert bei hoher Mobilität der Berufstätigen. Innovations- und Risikobereitschaft sind hoch, wenn es um persönliche und berufliche Entscheidungen geht.</i></p>
<p>Es herrscht weiterhin ein hoher Energiebedarf und die Rohstoffvorräte schwinden. Die verstärkte Nutzung der Windenergie lässt deren Bedeutung als Energie- und Arbeitsplatzlieferant auf lokaler Ebene zunehmen. Landwirtschaft, die gleichzeitig als Energiewirtschaft fungiert, bleibt erhalten. Die auf See gewonnene Energie wird direkt vor Ort in Wasserstoff umgewandelt und mittels Schiffen an Land transportiert.</p>	<p>Die Energiepolitik in Europa wird durch den Wechsel zu regenerativen Energien bestimmt. Mitte des 21. Jahrhunderts bilden regenerative Energiequellen die Basis der Energieversorgung in Europa und der westlichen Welt. Die südliche Nordsee wird zu einem der führenden europäischen Energieversorgungsräume. Bis 2030 werden insbesondere großflächige Windparks gebaut, die zunehmend mit ergänzenden Anlagen zur Nutzung der Wellen- und Strömungsenergie versehen werden.</p>
<p>Es findet eine Naturschutzgebietserweiterung in Form einer Ausweitung der Nationalparke im Wattenmeer statt. Die Doggerbank samt Umkreis (insgesamt zwei Drittel des „Schnabels“ der AWZ) werden als Schutzgebiet ohne weitere Nutzungen ausgewiesen.</p>	<p><i>Aufgrund der hohen Nutzungsdichte sind die Entwicklungsmöglichkeiten für Meeresschutzgebiete begrenzt. Insbesondere Flächen, die zur Energiegewinnung geeignet sind, und Verkehrsvorranggebiete stehen nicht als Meeresschutzgebiete zur Verfügung. Der Seeverkehr wird zunehmend in ausgewiesene Schifffahrtswege gelenkt.</i></p>
<p>Die Berufsfischerei bleibt in der Nordsee bestehen, jedoch durch die Schutzgebiete sowie durch schwankende Fischbestände und Quotenregelungen für die Fangflotten begrenzt.</p>	<p>Die Fischerei findet nur noch in geringem Umfang als Küstenfischerei statt.</p>
<p>Ausbau der Offshore Windkraft: Mittel (ca. 26.000 MW)</p>	<p>Ausbau der Offshore Windkraft: Hoch (ca. 96.000 MW)</p>

### **Driver bzw. treibende Kräfte**

Dem DPSIR-Modell folgend wurden für diese Zukunftsbilder die treibenden Kräfte bzw. Driver (Details zur Definition der einzelnen Driver in Anlehnung an das Millennium Ecosystem Assessment in Burkhard 2006), die zu den angenommenen Zukunftsentwicklungen hinführen können, beschrieben und übersichtsartig in Form von Amöben dargestellt (siehe auch Abb. 3 und 4).

Deren Wirken und Zusammenspiel übt Druck auf natürliche und anthropogene Systeme aus (Alacamo

und Bennet 2003), die wiederum als Pressures (analog zum Millenium Ecosystem Assessment definiert als die verschiedenen Land- und Seenutzungen, siehe auch Abb. 5 und 6) beschrieben werden können. An den Abb. 3 und 4 ist das unterschiedliche Zusammenspiel der Driverkonstellationen zu erkennen. Dabei stellt die Skala 100 das Ausgangsniveau im Jahr 2005 dar, während die

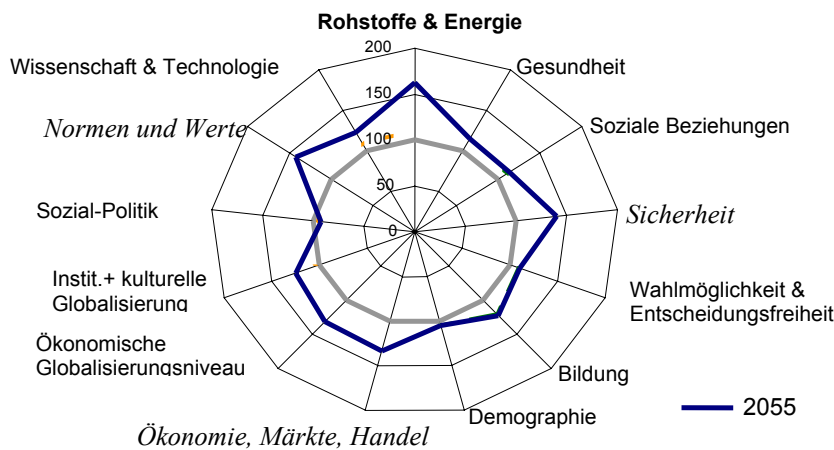


Abbildung 3: Driverkonstellation, das Meer als Energieraum (Szenario B1)

Amöben das Zusammenspiel der Driver zeigt, die für die Entwicklung bis zum Jahr 2055 verant-

wortlich sind. Es handelt sich dabei um relative Annahmen im Vergleich zum Basisjahr 2005 (siehe auch Zeitschritte). So spielen im Energieraumszenario (B1) neben der Bedeutung des Treibers „Rohstoffe und Energie“ auch die Driver „Sicherheit“ (Bedarf eines sicheren Zugangs zu der Ressource Energie) und „Normen und Werte“ (Technologie- und marktorientiertes Wertesystem in der Gesellschaft, aber zugleich fehlende gesellschaftliche Akzeptanz für die Kernenergie)

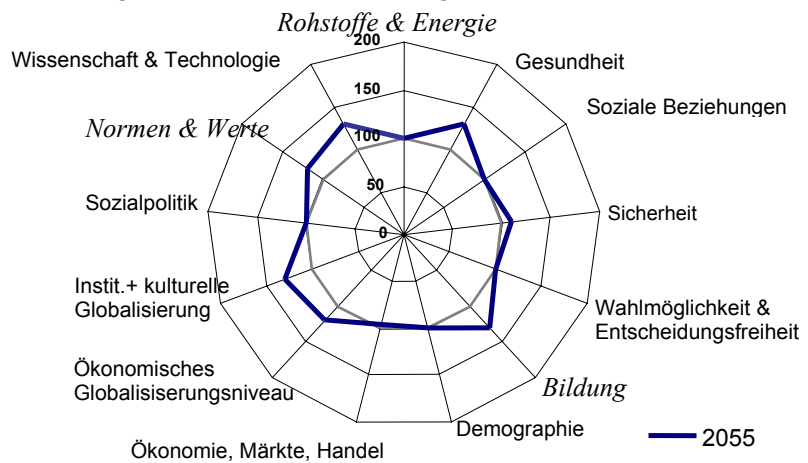


Abbildung 4: Driverkonstellation, das Meer als Naturraum

eine zentrale Rolle. Im Naturraumszenario (A2) sind es insbesondere die Werte des „ökologischen Denkens“ innerhalb der Gesellschaft (Driver Normen und Werte), und der Driver „Bildung“ (Integration nachhaltiger Konzepte ins Bildungssystem), die zu einer eher an Schutzgedanken orientierten Nutzung des Meeres- und Küstenraum führt.

### Pressures

Die Pressures (siehe auch Abb. 5 und 6) werden in den Szenarien als Ausprägung der einzelnen Raumnutzungen bzw. der Nutzungsmuster dargestellt. Die Driver führen zu einer Veränderung im Raumnutzungsmix im Meeres und Küstenraum an der Nordseeküste im Jahr 2055. Die Amöben geben folgendes Bild der zukünftigen Raumnutzungsmuster (für das Jahr 2055) in den beiden ausgesuchten Szenarien wieder:

Da aufgrund der Annahmen zu Werten und Normen wie auch zur wirtschaftlichen Entwicklung (hohe Bedeutung der Globalisierung, hohe Marktorientierung) im Szenario „Meer und Küste als Energieraum“ (B1) die wirtschaftliche Nutzung in den Vordergrund rückt, wird das Zukunftsbild B1 von einer starken Zunahme der Schifffahrt, der Marikultur, der Kabel und Pipelines (Transport der Energie vom Meer ans Land), der Ausbau der Infrastruktur an Land (Weitertransport) und ein hoher

Ausbau der Windenergie im Meer (Starker Schwerpunkt der Energieerzeugung Europas auf regenerativen Energien, insbesondere im Meer) geprägt. Aufgrund dieser Fokussierung der Entwicklung auf die Energieerzeugung werden für Tourismus und auch die Fischerei eine relativ sinkende Bedeutung erwartet.

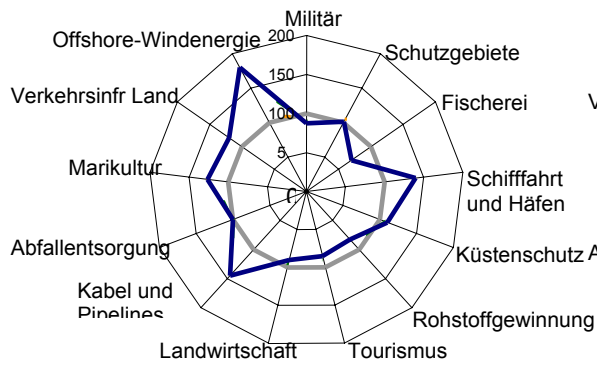


Abb. 5: Pressures, das Meer als Energieraum (Szenario B1), Jahr 2055

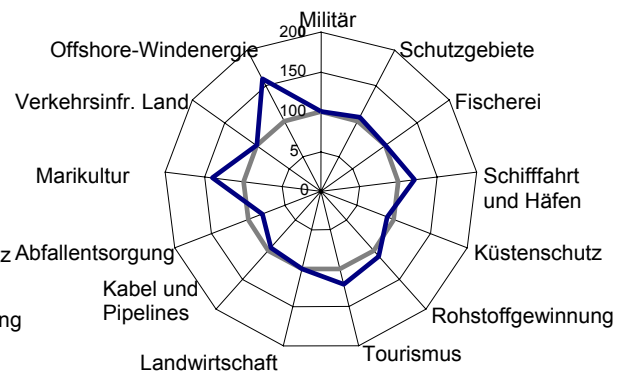


Abb. 6: Pressures, das Meer als Naturraum (Szenario A2), Jahr 2055

Für den Tourismus wird im Naturraumszenario ein leichter Zuwachs als Folge der gegenüber dem Energieszenario größeren Bedeutung des Landschaftsschutzes unterstellt. Wie im Energieszenario wird auch im Naturraumszenario A2 als Folge der hohen Bedeutung einer klimaverträglichen Energieerzeugung ein Ausbau der Offshore Windenergie angenommen, jedoch in weit geringerem Maße. Im Zuge dessen nimmt auch die Marikultur als Co-Nutzung der Offshore Windenergie zu (mehr als im B1-Szenario, da die Bedeutung flächensparender Co-Nutzungen von Flächen höher gewichtet wird). Zu beachten ist bei der Interpretation der Amöben, dass sie Annahmen für relative Veränderungen dokumentieren, nicht jedoch die absolute Bedeutung der Nutzungen. So spielt der Tourismus auch bei dem unterstellten geringen Rückgang im Energieraumszenario immer noch eine bedeutende Rolle für die Wirtschaftsstruktur des Nordseeraums.

### 3 Kriterien zur Beschreibung ökonomischer und sozialer States und Impacts

Die Veränderungen im Nutzungsgefüge des Meeres- und Küstenraumes in den Szenarien haben wiederum Auswirkungen auf die ökologische Integrität des Ökosystems (ökologischer State), d.h. auf den Energiehaushalt, Stoffhaushalt und die Strukturen wie biotische Diversität oder abiotische Heterogenität (Müller & Burkhard 2006). Zudem führen die Nutzungsveränderungen zu Veränderungen in den sozio-ökonomischen (Küsten)-Systemen, d.h. auf die ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen für die dort lebenden Menschen und Wirtschaftszweige auf deren Begriffsbestimmungen im folgenden näher eingegangen wird.

#### Ökonomisches Wohlergehen eines Raumes (ökonomischer state)

Zur Beschreibung des ökonomischen Systems an Land (heruntergebrochen bis auf die Westküste Schleswig-Holsteins) wurden insbesondere Bestands- und Stromgrößen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) herangezogen (s.a. Gee et al. 2006b).

Die Auswahl stabiler Indikatoren, welche Kennziffern zusammenfassen, Trends anzeigen und gleichzeitig für ein Monitoring auf verschiedenen Raumebenen geeignet sind, soll dabei Aussagen zulassen über a) die Bevölkerungsentwicklung real und erwartet (hier gehen auch verschiedene Prognosen aus Gutachten in die Gesamtbewertung ein), b) den Zugang zu Arbeit (Erwerbstätige, Arbeitnehmerquote, Selbständigenquote, Arbeitslosenquote), c) die Wirtschaftsstruktur (Verhältnis

von Industrie und Dienstleistungen), d) die Kapitalausstattung und -effizienz (Kapitalstock, Kapitalproduktivität, Modernität, Wertschöpfung bezogen auf die Erwerbstätigen) sowie e) zu Aspekten der individuellen Lebensqualität (verfügbares Einkommen, Sparquote, Anteil von Transfers am Einkommen). Der Anteil von Transfers liefert darüber hinaus eine Vorstellung, ob sich die Region nachhaltig selbständig (tragfähig) entwickeln kann oder dauerhaft von Transfers von Außen abhängig war, ist oder sein wird. Abb. 7 visualisiert diese Indikatoren.

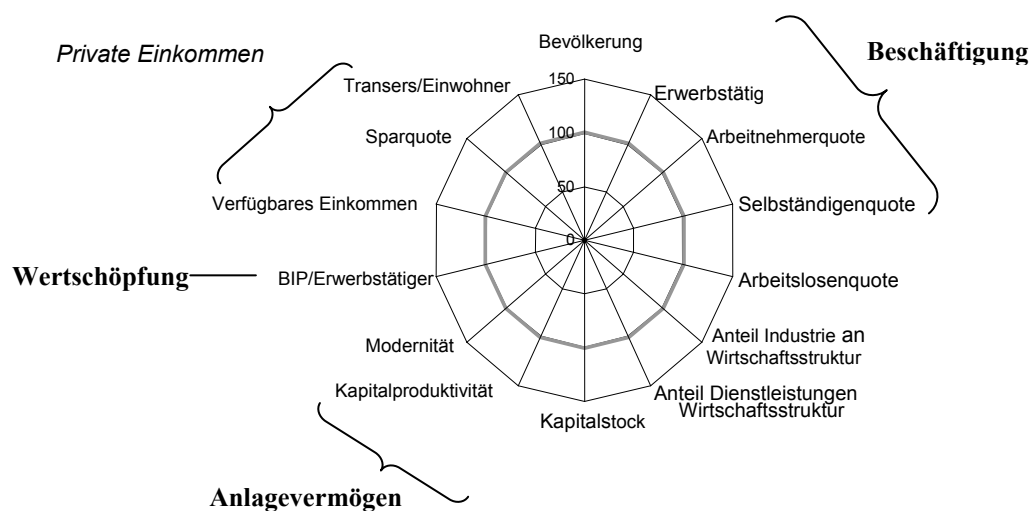


Abb. 7: Indikatoren zur Beschreibung des ökonomischen Wohlergehens (ökonomischer State) in den Szenarien.

Bei der Auswahl der Indikatoren wurde berücksichtigt, dass Zeitreihen über diese Indikatoren vorliegen, langjährig beobachtete Unterschiede von Stadt(rand) und ländlichen Regionen dargestellt bleiben, verschiedene Gradmesser der wirtschaftlichen und sozialen Stabilität auf sektoraler wie auch individueller Ebene miteinander kombiniert werden können, Frühzeichen von Veränderungen (Kapitalstock – Modernität) beachtet werden, und die Indikatoren im Kreuzvergleich zueinander bewertet werden können (Gee et al. 2006b). Aufgrund der datenschutzrechtlichen Rahmenbedingungen und der Datenverfügbarkeit lassen sich die mit den in den Szenarien beschriebenen Entwicklungen verbundenen Chancen und Risiken jedoch nicht oder nur im Ausnahmefall auf einzelne Orte eingrenzen. Sie betreffen die Region West-/Nordseeküste und sind nur modellhaft darstellbar.

### Lebensqualität in einem Raum (Social state)

Der Begriff Lebensqualität bezeichnet sowohl einen objektiven Zustand als auch eine subjektive Befindlichkeit. Die subjektive Beschreibung und persönliche Bewertung des Wohlbefindens und der Zufriedenheit mit einer bestimmten Lebenssituation kann jedoch nur mit Hilfe von Befragungen erhoben werden und ist nicht auf Räume zu übertragen. In den vom Projekt gewählten Szenarien ist jedoch ein Raumbezug (siehe Raumebenen) enthalten. Zur Beschreibung des sozialen Wohlergehens wurde daher das in der Raumplanung angewandte Modell der infrastrukturellen Lebensbedingungen oder öffentlichen Daseinsvorsorge gewählt, welches objektive Kriterien heranzieht, die weitgehend aus der amtlichen Statistik aggregiert werden können. Diese Determinanten der Lebensqualität (BBR 2005) umfassen in erster Linie die demographischen Merkmale wie Bevölkerungsstruktur (Geschlecht, Alter, natürliches Bevölkerungswachstum) oder Wanderungsbewegungen, sowie Indikatoren zur Infrastruktur (z. B. Anzahl, Größe von Einrichtungen zur Gesundheit, Bildung, Freizeit, Wohnung oder Verkehr).



Demographische Strukturmerkmale wie Infrastrukturindikatoren bilden raumspezifische Größen, die indirekte Aussagen zu Wohlbefinden und Zufriedenheit erlauben, indem sie die strukturelle Voraussetzungen und damit „Bedingungen für Lebensqualität“ beschreiben. Abb. 8 gibt einen Überblick über die untersuchten Bereiche der infrastrukturellen Lebensbedingungen. Der „Bildungsbereich“ kann allgemein in einen a) primären Sektor (Vorschulbereich, Kindertagesstätten, Platz/Kindrelation in der Altersgruppe 3-6 Jahre), b) sekundären Sektor (Schulbereich, allgemeine Schulen, berufsbildende Schulen, über alle Schularten und Landkreise gemittelte Schüler-Klassen (S/K)-Relation), c) tertiären Sektor (Hochschulen, absolute Zahlen auf Landesebene) unterteilt werden.

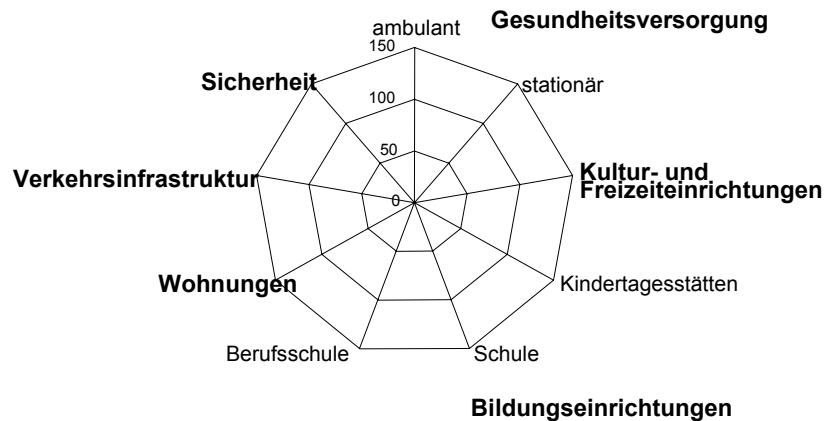


Abb. 8: Indikatoren zur Beschreibung der objektiven Lebensbedingungen (sozialer State) in den Szenarien

Zur Abschätzung der Daseinsvorsorge „Wohnen“ können a) das Verhältnis zwischen Wohnungsangebot und -nachfrage (Vergleich der prozentualen Veränderung der Wohnungszahl und der Bevölkerungszahl) und b) Wohnungsleerstände (Grad des Überangebotes; Ein Wohnungsleerstand von > 4 % übersteigt den Wert der Mobilitätsreserve<sup>1</sup> deutlich und muss nach Vaeser et al. 2005 als problematisch angesehen werden) Aufschluss geben. Im „Gesundheitswesen“ unterscheidet man zwischen ambulanter Versorgung und stationärer Versorgung. Indikatoren für die stationäre Versorgung sind unter anderem die Bettendichte (Einwohner pro Bett), sowie die Zahl der Krankenhausbetten pro 10.000 Einwohner, der eine Messgröße für die stationäre Versorgung mit medizinischen Leistungen ist. Indikator für die Ambulante Versorgung sind a) die Arzt/Einwohner-Relationen nach Arzttypen oder b) Arztdichte insgesamt (Anzahl der Ärzte pro 100.000 Einwohner). Für die o.g. genannten Gesundheits-Indikatoren wurden keine generellen Zahlen für den Versorgungsgrad in der Literatur oder Statistik gefunden, aber ein Vergleich mit Bundes- oder Landesdurchschnitt gibt ersten Aufschluss über die Versorgungslage in den einzelnen Kreisen.

Ein detaillierter Überblick über die Indikatorendefinitionen und die Datenverfügbarkeit ist Licht-Eggert et al. 2007 zu entnehmen.

### **Einflussgrößen und Wechselwirkungen ökonomisches/soziales System**

Einen großen Einfluss auf das sozioökonomische Wohlergehen und vor allem auf die soziale Daseinsvorsorge üben Veränderungen in der allgemeinen Bevölkerungsentwicklung aus. Dabei haben Änderungen in der Altersstruktur, Veränderungen im natürlichen Bevölkerungswachstum und Wanderungen in die Region oder aus der Region heraus zum Teil unterschiedliche Auswirkungen auf die Infrastruktur und Lebensbedingungen. Zum Beispiel ist für die Westküste Schleswig-Holsteins bis

<sup>1</sup> Ein funktionierender Wohnungsmarkt benötigt eine gewisse Anzahl frei stehender Wohnungen, damit Umzüge möglich sind und Umzugsketten vermieden werden. Diese bilden sich dann, wenn ein Haushalt bei seiner Wohnungswahl von der Entscheidung eines anderen abhängig ist, da sonst keine freien Wohnungen am Markt sind. Je niedriger die Mobilitätsreserve ist, desto größer ist die Immobilität der Haushalte. Meist wird mit einer Mobilitätsreserve zwischen 2-3 % gerechnet.

2020 davon auszugehen, dass ein positiver Wanderungssaldo eine insgesamt negative natürliche Bevölkerungsentwicklung noch annähernd ausgleicht (laut den Projektstudien für Schleswig-Holstein und seine Kreise, näheres in Klein-Hitpaß & Bruns 2006). Nach 2020 werden dann die Effekte der Alterung in der Gesellschaft den entscheidenden Einfluss auf die soziale Infrastruktur haben. Dies würde zu weniger Bedarf an Bildungseinrichtungen (weniger Kinder), aber zu mehr Bedarf an der Gesundheitsversorgung führen (mehr ältere Bevölkerungsgruppen) (näheres zum demographischen Wandel an der Westküste Schleswig-Holsteins siehe Klein-Hitpaß & Bruns 2006).

Auch zwischen den beiden dargestellten Systemen (Ökonomie und Soziales) bestehen Wechselbeziehungen, welche für die Bewertung der in den Storylines skizzierten Entwicklungspfade bedeutsam sind. So führen Veränderungen in einigen ökonomischen Indikatoren indirekt zu Auswirkungen auf Indikatoren der sozialen Infrastruktur. Veränderungen im Bereich der Arbeitsplätze und Erwerbstätigen ermöglichen z. B. Abschätzungen dazu, ob Arbeitssuchende in die Region oder aus der Region wandern. Diese Wanderungen hätten dann wiederum auf alle Teilbereiche der Daseinsvorsorge einen Einfluss über die im Zuge des demographischen Wandels sowieso stattfindenden und abgeschätzten Wanderungen hinaus. Dabei wirken sich die Zunahme/Abnahme der Erwerbstätigen in der Region natürlich auch auf die Alterstruktur der Bevölkerung aus. In den Szenarien werden daher Angaben über die Entwicklung der Bevölkerung und Beschäftigungszahlen meist als Folge von Arbeitsplatzmangel oder aber Schaffung gefolgt von Wanderungen in die oder aus der Region für die Westküste gegeben, die in der Bewertung der Auswirkungen berücksichtigt werden müssen. So kommt es z. B. im Naturraumszenario infolge einer Abnahme an Arbeitsplätzen zu einer Abwanderung der jungen Bevölkerung und einem Zuzug von Rentnern (Erholungsraum Küste lockt ältere Bevölkerungsgruppen an). Im Energieszenario dagegen weist die Bevölkerung an der Westküste sogar ein leichtes Wachstum auf, da Energie- und Gesundheitswirtschaft an der Küste Arbeitsplätze schaffen. Arbeitsplatzeffekte im Zuge der in den Szenarien unterstellten unterschiedlichen Entwicklung der Offshore-Windkraft wurden von Hohmeyer durchgeführt (Hohmeyer 2006).

#### **4 Ausblick**

Es konnte ein Einblick in die methodische Herangehensweise der Szenarientwicklung im Verbundprojekt Zukunft Küste - Coastal Futures sowie die Entwicklung sozio-ökonomischer Kriterien für die Bewertung der Effekte der in den Szenarien angenommenen Entwicklungen gegeben werden. Die Beschreibung der aktuellen Zustände sind zum Teil schon erfolgt und dokumentiert (siehe zum Beispiel Licht-Eggert et al. 2007, Hohmeyer 2006). Weitere Schritte im Rahmen der Szenarientwicklung bilden die Dokumentation der Auswirkungen und deren Bewertung. Insgesamt zeigt sich, dass der im Verbundvorhaben verwendete Bewertungsansatz erfolgversprechend ist, jedoch die verfügbaren Daten und Modelle quantitative Aussagen einschränken. Dagegen ist der Ansatz geeignet, Wechselwirkungen aufzuzeigen und damit auch für Bewertungsprozesse verfügbar zu machen.

#### **Anmerkung**

Dieser Artikel ist entstanden im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundvorhabens „Zukunft Küste – Coastal Futures“ (FKZ 03F0404A-D).

#### **Literatur**

- Alcamo, J. (2001): Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental issue report. European Environment Agency. Copenhagen.
- Alcamo, J. & E.M. Bennet (2003): Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington D.C.

- Alley, R. et al. (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, IPCC (<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>).
- BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2005): Raumordnungsbericht 2005, Band 21.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2004): Raumordnung auf dem Meer. Informationen zur Raumentwicklung. Bonn.
- Burkhard, B. (2006): Nordsee 2055- -Zukunftsszenarien für die Küste -. EcoSys Suppl 46, 70-89.
- Burkhard, B. & D. Diembeck (2006): Zukunftsszenarien für die deutsche Nordsee. Forum Geoökologie 17 (2), 27-30.
- EEA (1999): Information for improving Europe's Environment. European Environment Agency. Copenhagen. (<http://org.eea.eu.int/documents/brochure/brochurefull.pdf>).
- Gee, K., A. Kannen, K. Licht-Eggert, B. Glaeser & H. Sterr (2006a): Bestandsaufnahme der Nutzungstrends, Planungsherausforderungen und des strategischen Umfelds in der deutschen Küstenzone. Berichte aus dem Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel No. 38, Büsum 2006.
- Gee, K., A. Kannen, K. Licht-Eggert, B. Glaeser & H. Sterr (2006b): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM): Raumordnungsstrategien im Küstenbereich und auf dem Meer. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Berlin, Oktober 2006.
- IPCC 2000: Emission Scenarios. A Special Report on Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge 2000.
- Hohmeyer, O. (2006): Regionalökonomische Auswirkungen des Offshore Ausbaus der Windenergie in der deutschen Nordsee auf die Region Westküste. Endbericht für das Forschungsvorhaben „Zukunft Küste – Coastal Futures“. November 2006.
- Klein-Hitpaß, A. & A. Bruns (2006): Der demographische Wandel an der Westküste Schleswig-Holsteins - Die demographische Entwicklung der Landkreise Nordfriesland und Dithmarschen In Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, Arbeitsversion V, Stand September 2006, Verbundprojekt Zukunft Küste – Coastal Futures. (<http://coastal-futures.server.de/servlet/is/6371/>).
- Licht-Eggert, K., C. Froh, I. Büsch & A. Bruns (2007): Lebensqualität und soziale Infrastruktur an der schleswig-holsteinischen Westküste - Bericht zum Social State in den Szenarien von Coastal Futures, Ansatz zur Beschreibung der „Lebensqualität“ und Überblick über den vorhandenen Status Quo an der Westküste Schleswig-Holsteins – Sowie Rahmenbedingungen für Veränderungen in der sozialen Infrastruktur, Arbeitspapier Vers IV, Mai 2007, - Kurzfassung-, (<http://coastal-futures.server.de/servlet/is/6371/>).
- Müller, F. & B. Burkhard (2006): Beiträge zur Indikation der ökologischen Integrität auf verschiedenen Skalen. EcoSys Suppl. 46, 53-69. (<http://coastal-futures.server.de/servlet/is/7448/>).
- Rotmans J., C. Anastasi, M. v. Asselt, D.S. Rohtman, J. Mellors, S. Greeuw & C. v. Bers (2001): VISIONS- The European Scenario Methodology. International Centre for Integrative Studies.
- Shell (2002): Exploring the Future People and Connections Global Scenarios to 202. Global Business Environment (PXG). London.
- UNEP (2002): Global Environment outlook 3, London Sterling VA.
- Vaeser, J., T. Thrun & W. Jaedicke (2005): Wohnraummarktprognose für Schleswig-Holstein bis 2020, IFS H09/1, Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik GmbH.
- WBCSD (1997): Exploring Sustainable Development – Global Szenarios 2002-2050. World Business Council for Sustainable Development. London.

## Adresse

Dr. Katharina Licht Eggert  
 GKSS Forschungszentrum, Institut für Küstenforschung  
 Max-Planck-Str. 1  
 21502 Geesthacht

[k\\_licht@freenet.de](mailto:k_licht@freenet.de)  
[www.coastal-futures.org](http://www.coastal-futures.org)



## **IKZM im Ostseeraum: Situation und Perspektive**

Aude Körfer

EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.

### **Abstract**

The 2002/413/EC European Recommendation on Integrated Coastal Zone Management (ICZM) has promoted the development of national strategies. These strategies give an overview of ICZM and were evaluated in the "Rupprecht Report". The Baltic Sea region can be proposed as an example to show the current situation and to discuss the progress made. It is first useful to consider in parallel to ICZM the different fields linked to it, where the European Commission has been active (Maritime Strategy, Green book, Natura 2000, Water Framework Directive). Through the analysis of deficits, the role and the tasks of supra-regional organisations in ICZM can be underlined. This can be illustrated by the contribution of EUCC-The Coastal Union to a successful coastal zone management in the Baltic Sea region.

### **1 IKZM Strategien und Umsetzung**

Der Ostseeraum ist als regionales Meer ein Gebiet, in dem das Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM) umgesetzt wird. Seit 2004 sind alle Ostseeanrainer, mit Ausnahme von Russland, Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Aus diesem Grund ist das Management der Ostsee zum großen Teil von der EU-Politik bestimmt. Aufgrund seines interdisziplinären Charakters ist das IKZM Bestandteil von vier Politikbereichen: Umwelt, Raumplanung, Forschung sowie Fischerei und maritime Angelegenheiten. Nun warten wir auf die zukünftige Entwicklung des IKZM: Die Konsultationen zum Grünbuch zur Meerespolitik laufen noch (bis Ende Juni 2007), die Ergebnisse der IKZM-Bewertung müssen noch dem EU-Parlament vorgelegt werden.

2006 wurde die nationale Umsetzung der Empfehlung zum IKZM in einem Bericht wiedergegeben. Was die Ostsee betrifft, ist die Umsetzung von einem Land zum anderen sehr unterschiedlich. Die fortgeschrittensten Länder und die am wenigsten fortgeschrittenen Länder teilen sich denselben Raum. Diese Situation ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen: Zum einen auf das Umweltbewusstsein und die Entwicklung des Umweltrechts auf nationaler Ebene, zum anderen auf den Harmonisierungsvorgang für die neuen Mitgliedstaaten. Wichtig ist, dass dieser Bericht kein Endergebnis liefert, sondern vielmehr eine Stufe eines Entwicklungsprozesses darstellt.

EU-politische Maßnahmen fördern IKZM-Initiativen innerhalb verschiedener Ressorts (Umwelt, Raumplanung, Meerespolitik, etc.). In der Praxis fehlen jedoch Mechanismen, um die Umsetzungsmaßnahmen zu verknüpfen. Die folgende Abbildung stellt dar, welche Maßnahmen in diesen Bereichen zum IKZM beitragen und wie sie konkret umgesetzt werden.

Die europäische Union greift auch im Bereich von IKZM durch Förderungsprogramme ein: LIFE, FRP, INTERREG, etc. Während in den INTERREG-Projekten der räumliche Aspekt von IKZM im Vordergrund steht, ist die Umwelt das Hauptanliegen von LIFE-Projekten.

Neben diesen europäischen Maßnahmen müssen auch andere Initiativen erwähnt werden. Diese Initiativen können mit der Agenda 21 oder der regionalen Kommission in Zusammenhang gebracht werden. Sie entsprechen auch der Tätigkeit, die von Nicht-Regierungsorganisationen durchgeführt werden. Die Ostsee wurde folglich die erste regionale Agenda 21 in der Welt.

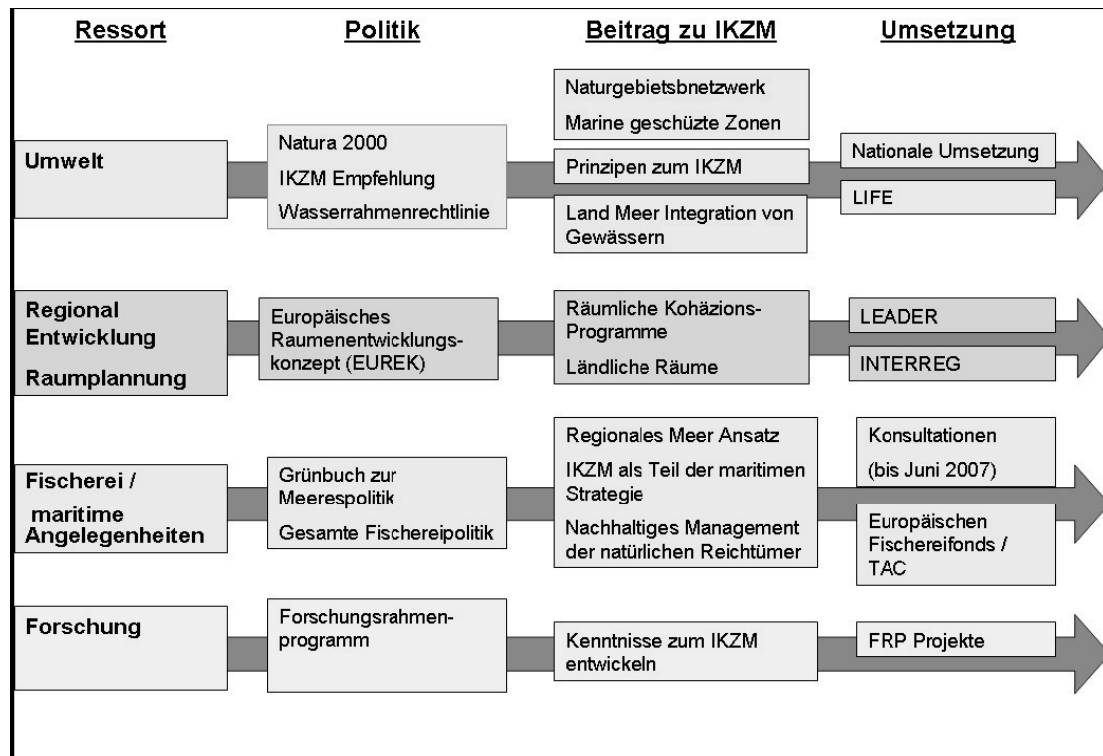


Abb. 1: Überblick der Strategien und Maßnahmen, die auf der europäischen Ebene das IKZM fördern

### Implikationen für den Ostseeraum

Als Ressorts haben die europäischen Maßnahmen, die das IKZM fördern, Einfluss auf das Küstenmanagement selbst. Im Fall des Ostseeraums ist das Management zwischen Umwelt und Raumplanung gespalten (Schernewski 2006). Projekte, Organisationen und Netzwerke sind von ihrem Hintergrund (Umwelt, Wirtschaft, Raumplanung, usw.) stark geprägt. Es stellt sich die Frage: Umwelt oder Raumplanung?

Zwischenstaatliche und nicht-staatliche Organisationen (NGO) spiegeln diese Spaltung wider. In der Tat existieren einerseits Organisationen mit einer Ausrichtung auf die Umwelt (HELCOM) und andererseits Organisationen mit einer Ausrichtung auf die Raumplanung. Diese Organisationen befassen sich zum Teil mit der Umsetzung der Agenda 21 (Baltic 21, VASAB, usw.).

Historisch betrachtet hat eine zwischenstaatliche Organisation wie HELCOM eine Vorreiterrolle gespielt. Sie hat den Dialog zwischen den Ostseeländern im Umweltbereich vor dem Ende des kalten Krieges wieder eingeführt. Die zahlreichen Beobachter der Arbeit der Kommission sorgen für Transparenz und öffentliche Zusammenarbeit. Die HELCOM kann heutzutage als ein Muster für andere regionale Meere betrachtet werden. In 2003 hat die "Baltic Sea Region ICZM Platform" die Ostsee-Organisationen versammelt. Dieses Treffen entspricht dem Bedarf einer besseren Verknüpfung zwischen den Organisationen und den verschiedenen Richtungen, die sie darstellen.

Bei den NGOs, die im IKZM-Bereich aktiv sind, handelt es sich sehr oft um Umweltorganisationen (u.a. Coalition Clean Baltic, EUCC-The Coastal Union Baltic). Umweltorganisationen sind zahlreich im Ostseeraum, was zum Teil in der Geschichte der Region begründet ist. Die hohe Verschmutzung der Ostsee wurde nach dem Ende des Ostblocks ein Einflussfaktor für die Entwicklung des Umweltbewusstseins.

In der Praxis sind die Programme und Projekte, die sich innerhalb der verschiedenen Ressorts ergeben, nur geringfügig verknüpft. Es tritt die Frage auf, ob zum Beispiel die Ergebnisse von FRP-Projekten in INTERREG-Projekte einfließen. Die grundsätzlichen Schwächen sind eine mangelnde

Interdisziplinarität der IKZM-Initiativen, eine mangelnde Vernetzung der verschiedenen Ostsee-Akteure (Raumplaner, Wissenschaftler, Wirtschafts- und Umweltakteure), aber auch eine ungenügende Vernetzung zwischen Meer und Küste.

Ziel des IKZM besteht darin, ein angemessenes Management für ein bestimmtes Küstengebiet zu fördern. Man stellt sich allerdings die Frage, für welche Situation ein angemessenes Management gefördert werden soll. Es ist schwer, mit genauer Sicherheit zukunftsbezogene Szenarien für das Ostseegebiet zu entwickeln.

Die wirtschaftliche Entwicklung der baltischen Staaten geht heutzutage sehr schnell voran (mit einer jährlichen Wachstumsrate des BIP von nahezu 10 %). Wie lange kann dieses Wachstum dauern und welchen Einfluss (unmittelbar oder mittelbar) kann es auf die Ostsee haben? Ein Beispiel ist der Anstieg des maritimen Verkehr: HELCOM plant eine Steigerung von 40 % für das Jahr 2015 (EEA 2006, S. 46). Der Rhythmus der Küstenbebauung ist in den neuen EU-Mitgliedstaaten besonders schwer einzuschätzen. Im Allgemeinen kann man sagen, dass viele unbekannte Faktoren aus den neuen Mitgliedstaaten stammen, deren Gesetzgebung und ökonomische Situation sich gerade ändert.

## 2 Die bessere Vernetzung der Ostsee-Initiativen

Um die Schwächen des Küstenmanagements im Ostseeraum zu überwinden, ist eine bessere Vernetzung zwischen den Akteuren nötig. Durch Projekte und Kommissionen existiert diese Vernetzung schon teilweise. Aber oft bleibt die Vernetzung auf bestimmte Sektoren beschränkt: Entweder sind gleichartige Akteure zusammen oder um eine Thematik versammelt. Netzwerke sind in diesem Sinn geeignete Strukturen: Sie geben den Akteuren die Möglichkeit kohärent und effizient zu handeln. Die Vernetzung zwischen den Partnern erlaubt ein flexibles Management: Dazu müssen bessere Dialogvoraussetzungen geschaffen werden. In welchem Rahmen können IKZM-Akteure vernetzt werden?

EUCC-The Coastal Union ist eine internationale NGO mit Aktivitäten in ganz Europa, wobei sieben Staaten im Ostseeraum dazugehören. Als NGO ist EUCC in den Bereichen IKZM und Naturschutz aktiv und hat etwa 3000 Mitglieder. EUCC-The Coastal Union hat sich zum Ziel gesetzt, die

Vernetzung im Ostseeraum zu verbessern. Der deutsche Zweig von EUCC hat dieses Portal technisch realisiert.

Die neue EUCC The Coastal Union Baltic Webseite ist das erste IKZM-Webportal für die Ostsee (<http://baltic.eucc-d.de/>). Das Webportal hat den Vorteil, alle IKZM-Initiativen (IKZM-Strategien, Projekte und Organisationen) unter ein Dach zu bringen. Die Webseite ermöglicht auch eine bessere Vernetzung zwischen den verschiedenen IKZM-Ansätzen (Umwelt, Raumplanung, Forschung, etc.). Neben Umweltstrategien sind zum Beispiel Raumplanungsprojekte vorgesehen.



Abb. 2: Nationale Zweige von EUCC im Ostseeraum

Dieser umfassende Ansatz gibt auch die Möglichkeit, das Interesse der Ostsee auf europäischer Ebene besser zu repräsentieren. In der Tat bringt die Webseite komplette und aktuelle Informationen und Daten über IKZM im Ostseeraum. Infolgedessen steht ein Einblick in IKZM-Aktivitäten in diesem Gebiet einfach und schnell zur Verfügung.

Die Ostsee-Webseite von EUCC beinhaltet einerseits eine Präsentation der nationalen IKZM-Ansätze (IKZM-Strategien und EUCC-Zweigstellen), andererseits Ostsee-Datenbanken: Datenbank für Ostsee-

Projekte und Fallstudien, Datenbanken für Tagungen und Fortbildungen, Experten-Datenbank und Foto-Datenbank.

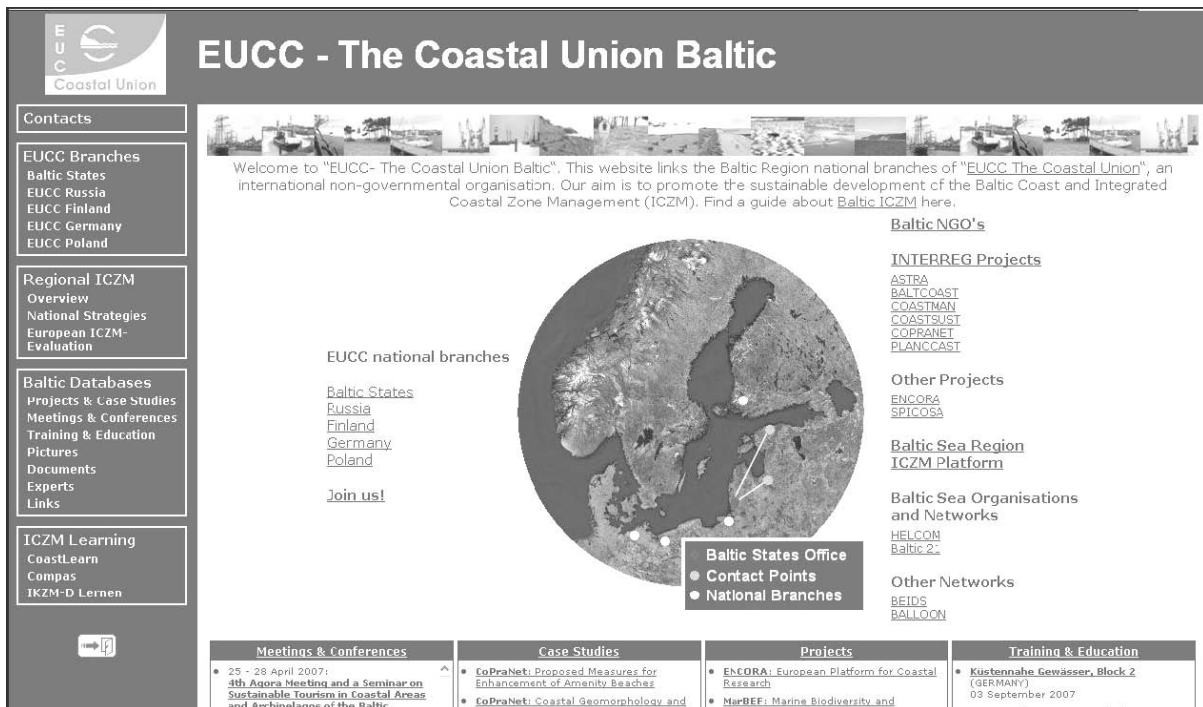


Abb. 3: Screenshot der „EUCC-The Coastal Union Baltic“ Webseite, <http://baltic.eucc-d.de/>

Fallstudien- und Projekt-Datenbanken fördern besonders den Austausch zwischen Projekten, Erfahrungen und Regionen. Bei den Projekten, die in der Datenbank zu finden sind, handelt es sich um Forschungsprojekte, Umweltprojekte, etc., die die Ostsee betreffen. Es kann sich dabei um regionale, nationale und internationale Projekte handeln.

Meetings & Conferences	Case Studies	Projects	Training & Education
<ul style="list-style-type: none"> <li>25 - 28 April 2007: <b>4th Agora Meeting and a Seminar on Sustainable Tourism in Coastal Areas and Archipelagos of the Baltic</b> (SWEDEN)</li> <li>26 April 2007: <b>First BeNCoRe Conference</b> (BELGIUM)</li> <li>02 - 04 May 2007: <b>European Conference on "The Future Maritime Policy of the EU: A European Vision for Oceans and Seas"</b> (GERMANY)</li> <li>08 - 10 May 2007: <b>Sustainable Neighbourhood from Lisbon to Leipzig through Research (L2L): 4th BMBF Forum for Sustainability - German EU Council Presidency 2007</b> (GERMANY)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>CoPraNet: Proposed Measures for Enhancement of Amenity Beaches</b></li> <li><b>CoPraNet: Coastal Geomorphology and coastal change in Dundrum Bay: management implications</b></li> <li><b>CoPraNet: Climate Change and the Role of Local Authorities and NGOs in Planning Sustainable Coastal Tourist Development in the Mediterranean Region</b></li> <li><b>CoPraNet: Public Participation in the Portuguese Coastal Zone</b></li> <li><b>CoPraNet: Waste and litter management on natural coastal zones: a French initiative to tackle with the issue</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ENCORA: European Platform for Coastal Research</b></li> <li><b>MarBEF: Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning</b></li> <li><b>MOTIIVE: Marine Overlays on Topography for Annex II Valuation and Exploitation</b></li> <li><b>Coastal woodlands - ICZM in Woodlands by the Baltic Sea</b></li> <li><b>LOICZ: Liaison with Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) Programme</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Küstennahe Gewässer, Block 2</b> (GERMANY) 03 September 2007</li> <li><b>Küstennahe Gewässer, Block 3</b> (GERMANY) 18 - 19 October 2007</li> <li><b>EUR-OCEANS/WP6 summer school 'Habitat modelling of marine populations'</b> (PORTUGAL) 02 - 13 July 2007</li> <li><b>MARBEF Summer School on Diversity and Functioning of Coastal Habitats</b> (GERMANY) annual</li> <li><b>CKO International Summer School on Physical Oceanography</b> (SWITZERLAND) 16 - 26 September 2007</li> </ul>

Abb. 4: Screenshot der Ostsee-Datenbanken, <http://baltic.eucc-d.de/>

### 3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die verschiedenen politischen Maßnahmen der EU zur Förderung von IKZM führen nicht immer zu einem kohärenten Management. Im Falle einer IKZM-Direktive müssen alle sektoriellen Ansätze berücksichtigt werden. Auch die stärkere Verknüpfung von Projektergebnissen sollte gefördert werden.

Die "Baltic Sea Region ICZM Platform" hat sich nur einmal getroffen (2003). Um die Einigkeit von IKZM im Ostseeraum zu fördern, sollte diese Plattform aktiver werden. Die transnationale Ebene, die sie darstellt, ist für IKZM in der Ostsee unabdingbar. Die Kooperation mit den neuen Mitgliedstaaten

und besonders deren Teilnahme an IKZM-Projekten muss noch stärker unterstützt werden. Darüber hinaus muss die Kooperation mit Russland künftig verstärkt werden, um die Kohärenz des Bezugsraums und des Managements zu behalten.

Das Grünbuch zur Meerespolitik erkennt die Effizienz der regionalen Kommissionen und fördert solche Strukturen. Eine neue Strategie mit einem ökologischen Hintergrund ist jetzt von HELCOM vorgeschlagen worden. Es entspricht dem „Baltic Sea Action Plan“ (2005). Der Vorteil regionaler Kommissionen besteht darin, die Ostsee in ihrer Vollständigkeit und mit ihren Besonderheiten zu betrachten.

NGOs spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von IKZM. Durch ihr Handeln und ihre besondere Position können die NGOs den IKZM-Vorgang fördern. Ihre Kritikfunktion dient der größeren Sensibilisierung der Bevölkerung. NGOs haben auch die Möglichkeit eine bestimmte Politik zu unterstützen, besonders, wenn sie als Beobachter von anderen Organisationen oder Institutionen eingeladen werden. Sie können die Beteiligung der Bevölkerung ebenso wie die transsektorische Integration fördern. Die Initiative von EUCC zeigt auch, dass sie die Kohärenz des Managements verbessern kann. Die Vernetzung der Ostsee-Aktivitäten entspricht dem Ziel von mehr Koordination und Kooperation. Netzwerke sind um ein kohärentes Management der Ostsee zu erreichen wesentlich. Die nachhaltige Entwicklung bedeutet langfristige und angepasste Strategien für die Region. Ein wesentlicher Aspekt liegt heute in der Koordinierung zwischen Meerespolitik und Küstenpolitik.

## Literatur

- EEA (2006): The changing face of the Europe's coastal areas. EEA report N°6/2006.
- Europäische Kommission, EUREK – Europäisches Raumentwicklungskonzept (1999): Auf dem Wege zu einer räumlich ausgewogenen und nachhaltigen Entwicklung der Europäischen Union.
- Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2000): Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, 23. Oktober 2000.
- Europäisches Parlament & Europäischer Rat (2002): Empfehlungen des Europäischen Parlamentes und Rates vom 30. Mai 2002 zur Umsetzung einer Strategie für ein integriertes Management der Küstengebiete in Europa (2002/413/EG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 148/24 vom 6. Juni 2002.
- HELCOM Baltic Marine Environment Protection Commission (2005): The Baltic Sea Action Plan. A new environmental strategy for the Baltic Sea region.
- INTERREG III B - Baltic Sea Region (<http://www.spatial.baltic.net>).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006): Grünbuch, Die künftige Meerespolitik der EU: eine europäische Vision für Ozeane und Meere.
- Körfer, A. & V. Morel (2007): ICZM Networks in the Baltic Sea Region. In: Schernewski, G., B. Glaeser, R. Scheibe, A. Sekúcińska & R. Thamm (eds.): Coastal Development: The Oder estuary and bevond. Coastline Reports 8, 225-235.
- Rupprecht consult (2006): Evaluation of integrated coastal zone management in Europe. Final report.
- Schernewski, G. (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement im Ostseeraum: Hintergrund und Praxis. Wasser und Abfall 9, 20-26.

## Adresse

Aude Körfer  
EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.  
am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde  
Seestrasse 15  
D-18119 Rostock-Warnemünde

[audekorfer@wanadoo.fr](mailto:audekorfer@wanadoo.fr)





## **Coastline Reports**

published by EUCC - The Coastal Union

are available online under: [http://www.eucc-d.de/coastline\\_reports.php](http://www.eucc-d.de/coastline_reports.php)

### **Coastline Reports 1 (2004)**

Geographie der Meere und Küsten (Geography of Seas and Coasts)

G. Schernewski & T. Dolch (Hrsg./eds.)

(Mostly in German with English abstract)

### **Coastline Reports 2 (2004)**

Managing the Baltic Sea

G. Schernewski & N. Löser (eds.)

(In English)

### **Coastline Reports 3 (2004)**

Retrospektive Analyse größerer Planverfahren in der Küstenzone unter der Perspektive "IKZM-Tauglichkeit" (Retrospective analysis of large scale planning procedures under the perspective of their ICZM-compatibility)

B. Schuchardt, T. Bildstein, H. Lange, J. Lange, C. Lee, S. Pestke, W. Osthorst, M. Schirmer, D. Wille & G. Winter

(In German with English abstract)

### **Coastline Reports 4 (2004)**

Baltic Sea Typology

G. Schernewski & M. Wielgat (eds.)

(In English)

### **Coastline Reports 5 (2005)**

The INTERREG III B BaltCoast Project

A pilot initiative on Integrated Coastal Zone Management in the Baltic Sea (2002-2005)

B. Heinrichs, A. Schultz-Zehden & S. Toben (eds.)

(In English)

### **Coastline Reports 6 (2005)**

Integrated Coastal Zone Management at the Szczecin Lagoon: Exchange of experiences in the region (Integriertes Küstenzonenmanagement am Stettiner Haff: Erfahrungsaustausch der Regionen / Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi nad Zalewem Szczecińskim: wymiana doświadczeń między regionami)

B. Glaeser, A. Sekścińska & N. Löser (eds. / Hrsg./ wyd.)

(Mostly in German with English and Polish abstracts)

### **Coastline Reports 7 (2007)**

Restoration of Coastal Ecosystems

M. Isermann & K. Kiehl (eds.)

(In English)

**Coastline Reports 8 (2007)**

Coastal Development: The Oder Estuary and beyond

G. Schernewski, B. Glaeser, R. Scheibe, A. Sekścińska & R. Thamm (eds.)

(In English and German)

**Coastline Reports 9 (2007)**

Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement (From  
Geoarchaeology via Coastal Dynamic to Coastal Zone Management)

G. Gönnert, B. Pflüger & J.-A. Bremer (Hrsg./eds.):

(Mostly in German with English abstracts)

**Coastline Reports 10 (2007) (in press)**

The Benefits of Inter-linking Coastal and River Management

Twenty case studies world-wide indicate opportunities and constraints

A. Pickaver & D. Sadacharan (eds.)

(In English)