



## Editorial

### KRING 2013 in Deutschland



KRING 2013  
Schleswig-Holstein, Germany

Einer der bekanntesten Vereine zum Küsteningenieurwesen, der niederländische "Kring van Zeewerende Ingenieurs" (KRING), wird vom 22. bis 24. September sein Jahrestreffen 2013 an der Westküste von Schleswig-Holstein abhalten. Ein Treffen, wozu auch die deutschen Küsteningenieure traditionsgemäß herzlich eingeladen sind.

Der KRING wurde von niederländischen Küsteningenieuren im Jahre 1954 als Erfordernis aus der Sturmflutkatastrophe des Jahres 1953 gegründet. Er dient dem Austausch von Ideen, Erkenntnissen und praktischen Erfahrungen zum Küsteningenieurwesen, sowohl im Bereich des Managements als auch zu technischen Fragestellungen. Formal ist der KRING kein Verein; er hat weder eine Satzung noch Mitglieder. Die Kontinuität wird durch einen niederländischen Vorsitzenden mit Sekretariat gewährleistet. Derzeit ist Adrie Provoost vom "Waterschap Scheldestromen" Vorsitzender.

Seit 1954 findet jedes Jahr abwechselnd in den Niederlanden sowie in Deutschland, Belgien, Dänemark, Polen und dem Vereinigten Königreich das dreitägige KRING-Treffen statt. Das Programm sieht Ortsbesichtigungen kombiniert mit Vorträgen zu lokalen und übergeordneten Themen vor. Die Teilnehmer setzen sich überwiegend aus den für Küsteningenieurwesen zuständigen Mitarbeitern des öffentlichen Dienstes der oben genannten Staaten zusammen. Rund die Hälfte der etwa 80 bis 100 Teilnehmer kommt aus den Niederlanden.

Bereits 12 Mal hat sich der KRING in Deutschland getroffen, zuerst nach der sog. Hamburgflut im Jahre

1962 in Niedersachsen, zuletzt 2005 in Hamburg. Organisiert werden die deutschen KRING-Veranstaltungen üblicherweise vom KFKI (seit der Gründung 1972) gemeinsam mit der Küstenschutzverwaltung des besuchten Bundeslandes. Bei den deutschen KRING-Veranstaltungen lag die deutsche Beteiligung zwischen 25 und 50 Personen, ansonsten bis 2006 etwa zwischen 10 und 30 Personen. Leider war die Zahl der deutschen Teilnehmer in den letzten Jahren rückläufig, was sich wohl im Wesentlichen mit knapper werdenden Kassen und zunehmender Arbeitsbelastung begründen lässt. Dabei erscheint der grenzüberschreitende Erfahrungsaustausch in Zeiten des Klimawandels, abnehmender öffentlicher Finanzmittel und zunehmend komplexer Planungsprozesse (EU-Richtlinien) wichtiger denn je.

Auch deshalb soll dieses Jahr beim 13. (!) Deutschlandbesuch die Trendwende geschafft werden. Das diesjährige Treffen an der Westküste von Schleswig-Holstein startet am Sonntagabend des 22. Septembers in Husum mit der Begrüßung und Eröffnungsvorträgen. Am Montag und Dienstagvormittag sind Exkursionen mit Bus und Schiff zu den Halligen und interessanten Bauwerken und Institutionen geplant. Abgerundet werden die Exkursionstage mit Fachvorträgen. Das offizielle Programm endet am Dienstag zur Mittagszeit. Selbstverständlich ist auch diesmal reichlich Zeit für fachliche Diskussionen und zum "Klön schnacken", zum Beispiel beim traditionellen Tagungsdinner am Montagabend, vorgesehen. Im April wird eine Einladung zur Tagung mit ausführlichem Programm und Angaben zur Anmeldung breit gestreut werden. Falls Sie bis Mitte Mai keine Einladung erhalten haben, können Sie sich gerne direkt an die KFKI-Geschäftsstelle wenden oder die KFKI-Internetseite besuchen.

Jacobus Hofstede | Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig Holstein

Mercatorstraße 3 | 24062 Kiel

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

## AufMod (03KIS082-03KIS088)

### Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht

Jennifer Valerius

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Dr. rer.-nat. Frank Kösters

Bundesanstalt für Wasserbau

Die Deutsche Bucht ist als Teil der Nordsee eines der ökonomisch am intensivsten genutzten Randmeere der Welt. Die großräumige Sedimentdynamik und damit verbundene Formänderungsprozesse in der Deutschen Bucht beeinflussen die unterschiedlichen Nutzungsansprüche von der Seeschifffahrt bis hin zur Errichtung von Bauwerken und Küstenschutzmaßnahmen. Daher ist es von großer Bedeutung, unser Verständnis der komplexen Prozesse zu erweitern, die für die Variabilität des Meeresbodens bestimmend sind. Zur Abschätzung von Wirkungen wasserbaulicher Maßnahmen oder eines ansteigenden Meeresspiegels sind prognosefähige Modelle auf einer belastbaren Basis an Naturmessdaten erforderlich. Ein erster Schritt in diese Richtung leistet das vom KFKI geförderte Projekt "Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht (AufMod)". Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Modellierern und Geowissenschaftlern ist es möglich, den Kenntnisstand verschiedener Fachrichtungen in die Forschungsarbeit zusammenzuführen und das Systemverständnis zu verbessern.

Hauptziele von AufMod sind:

1. Der Aufbau eines plausibilisierten und möglichst konsistenten Datensatzes an Bodenparametern (Topographie, Sedimentologie) als funktionales Bodenmodell
2. Aufbau und Anwendung numerischer Modelle und Bestimmung von Anwendbarkeit und Genauigkeit dieser Simulationsverfahren auf Basis der Berechnung zurückliegender Zeiträume
3. Verbesserung des Verständnisses sedimentdynamischer Prozesse, in repräsentativen Teilsystemen der Deutschen Bucht, durch den Einsatz hochauflösender hydroakustischer Messmethoden

Die im Bodenmodell erarbeitete topographische Datenbasis umfasst Vermessungsdaten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie und der

Wasser- und Schifffahrtsämter. Für den Küstennahbereich wurden durch raumzeitliche Interpolationen für die Jahre 1982 – 2012 konsistente integrierte Tiefenverteilungen mit der zugehörigen Unschärfe in jährlichen Zeitscheiben generiert. Auf Basis der so gewonnenen flächendeckenden bathymetrischen Zeitreihen können durch Einsatz des funktionalen Bodenmodells weitere morphologische Parameter, wie beispielsweise der morphologische Raum (vgl. Abbildung 1) abgeleitet und mit den Ergebnissen der numerischen Simulationsmodelle verglichen werden. Der Einsatz der numerischen Verfahren erlaubt die prozessorientierte Interpretation der morphologischen Änderungen, z.B. als Tide vs. Wind und Seegang getriebene Änderungen.

Für die Beschreibung der Sedimentologie wurden für die gesamte Nordsee Kornverteilungsdaten zusammengetragen, die im funktionalen Bodenmodell für gängige sedimentologische Parameter, wie Median (vgl. Abbildung 2) und Sortierung, flächenhaft für die Deutsche Bucht ausgewertet wurden. Idealisierte Modelluntersuchungen zur Sortierung der Sedimente und hydrodynamischer Belastung können helfen, die beobachteten Sedimentverteilungsmuster besser zu interpretieren.

Zusätzlich wurde durch die Arbeit in den Fokusgebieten eine hoch aufgelöste Beschreibung der Sedimentologie im Bodenmodell erfasst. Darunter fallen die Sedimentoberflächenkartierung, Analyse von Bodenformen und seismische Untersuchungen zur Bestimmung von Mächtigkeiten der für die

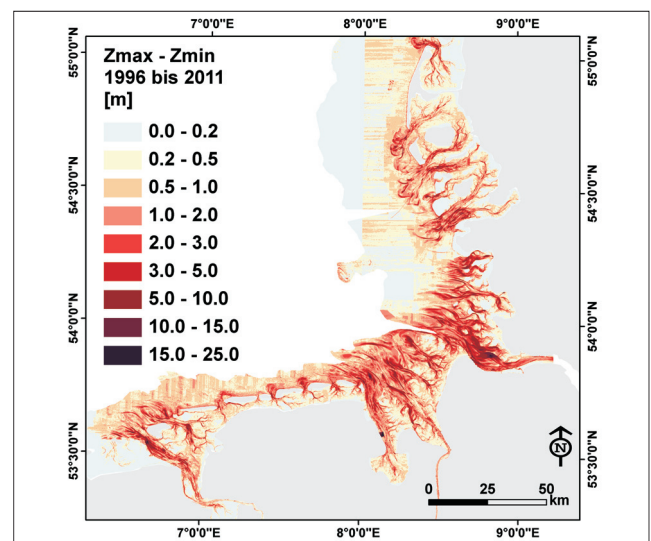
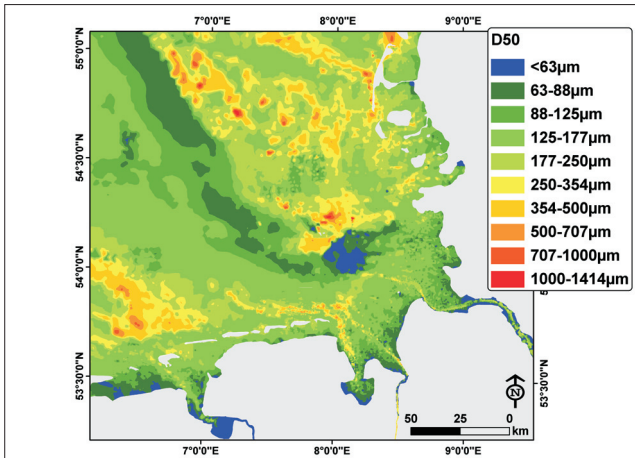
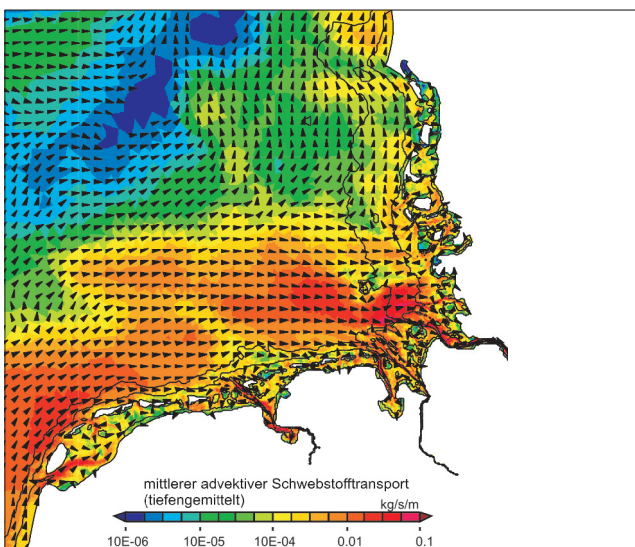


Abbildung 1: Morphologischer Raum ( $Z_{max}-Z_{min}$ ) über den Küstensaum der Deutschen Bucht bis zur 20 m Tiefenlinie für den Zeitraum 1996-2011



**Abbildung 2:**  
Interpolation des Medianwertes über die Fläche der Deutschen Bucht, klassifiziert in 1/2 Phi Intervalle

Sedimentdynamik verfügbaren Sedimentschicht. Auf Basis der gemessenen Bathymetrie und Sedimentologie wurde der großräumige Sedimenttransport berechnet (vgl. Abbildung 3) und für die Deutsche Bucht bilanziert. Die Ergebnisse zeigen Umlagerungen in der Deutschen Bucht auf, insbesondere die Netto-Deposition im küstennahen Bereich. In Langzeitsimulationen (100 Jahre) wurden mögliche Änderungen dieses Verhaltens für einen um 80 cm erhöhten Meeresspiegel untersucht, es zeigen sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. Eine weitergehende Validierung der Ergebnisse kann für diese großräumigen Modelle heute entweder nur qualitativ erfolgen, oder es muss auf integrale Größen



**Abbildung 3:**  
Darstellung des großräumigen Sedimenttransports am Beispiel des mittleren advektiven Schwebstofftransports für das Modell UnTRIM-SediMorph (Mittelungszeitraum: 14.01.2006 – 30.01.2006)

wie Umlagerungsvolumina zurückgegriffen werden. Dahingegen lassen die kleinräumigen Simulationen in den Fokusgebieten einen direkteren Vergleich zu. So konnten Modellergebnisse und Erkenntnisse aus den geologischen Analysen integrativ betrachtet und das Prozessverständnis verbessert werden.

## ZukunftHallig A (03KIS093)

### Projektvorstellung und Analyse der hydrologischen und hydrodynamischen Randbedingungen im Bereich der Halligen

Prof. Dr. Jürgen Jensen

Arne Arns

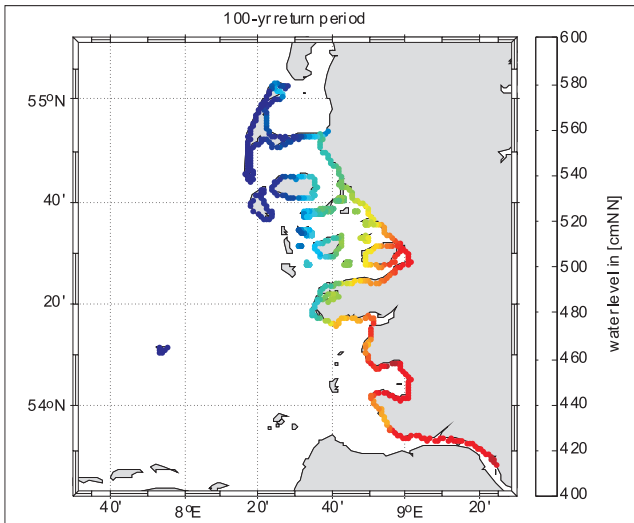
Dr. Christoph Mudersbach

Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Lehrstuhl für Wasserbau und Hydromechanik

### Hintergrund und Einleitung

Mit einer Größe von etwa 9.000 km<sup>2</sup> ist das Wattenmeer der Nordsee eines der größten Feuchtgebiete der Welt und bietet Lebensraum für etwa 10.000 Tier- und Pflanzenarten (UNESCO). Aufgrund dieser besonderen Bedeutung wurden die Nationalparke und Biosphärenreservate Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und Niedersächsisches Wattenmeer im Jahr 2009 zum UNESCO Weltkulturerbe ernannt. Inmitten des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres befinden sich zehn deutsche Halligen. Diese weltweit einzigartige Halligwelt entstand vereinzelt aus den Resten ehemaliger Küstenmarschen, der größte Teil resultiert jedoch weitestgehend aus Neuauflandungen durch Schlickablagerungen (QUEDENS, 1992). Der Begriff Hallig bedeutet soviel wie "flach" bzw. "niedrig" und charakterisiert das geringe Höhenniveau der Halligen gegenüber dem mittleren Tidewasserstand. Infolge dieser Lage sowie dem Umstand, dass es auf den Halligen – ausgenommen von einigen Sommerdeichen – keine Deiche gibt, heißt es auf den Halligen z.T. jährlich bis zu 50-mal "Landunter". Während es im Bereich der Halligen beim "Landunter" durch die Ablagerung suspendierter Sedimente einerseits zur Landneubildung kommt, führten insbesondere die großen Sturmfluten der vergangenen Jahrhunderte an den ungeschützten Halligkanten immer wieder zu Abbrüchen und Landverlusten. Betrachtet man die morphologische Entwicklung der Halligen über die





**Abbildung 1:**  
Wasserstände mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit  $PE = 0.01$  (Wiederkehrintervall von 100 Jahren) entlang der Schleswig-Holsteinischen Küste.

letzten Jahrhunderte, muss festgestellt werden, dass die Landverluste, im Wechselspiel zwischen Sedimentation und Abbrüchen, überwogen haben. Zwischen dem 13. und 20. Jahrhundert verloren die Halligen so ca. 50 % ihrer Fläche, einige verschwanden dabei ganz (QUEDENS, 1992).

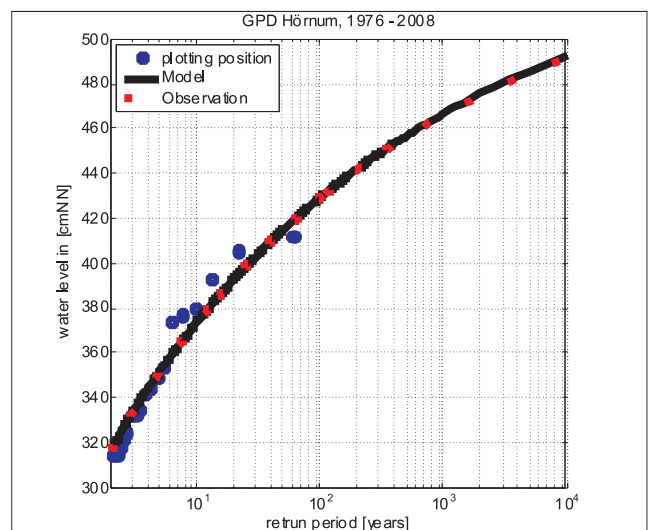
### Das Forschungsvorhaben "ZukunftHallig"

Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, erarbeitet ein interdisziplinäres Team unter Beteiligung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW), des Instituts für Soziologie (IfS) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, des Geowissenschaftlichen Zentrums der Universität Göttingen (GZG), des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN-SH) und des Forschungsinstituts Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen im BMBF-geförderten Forschungsvorhaben "Zukunft Hallig" nachhaltige Küstenschutz- und Bewirtschaftungsstrategien für die Halligen. Im Einzelnen sollen hierzu die hydromechanischen Belastungen unter heutigen und zukünftigen klimatischen Bedingungen sowie die morphologischen und sedimentologischen Veränderungen an und auf den Standorten betrachtet werden. Durch die Quantifizierung des derzeit vorhanden Schutzstandards lassen sich danach risikoorientierte Gefährdungsanalysen durchführen, die als Grundlage zur Entwicklung von nachhaltigen, klimaangepassten Küstenschutzstrategien dienen. Abschließend soll die Akzeptanz dieser Strategien bei den Bewohnern eruiert werden.

### Teilprojekt "ZukunftHallig A"

Ein Ansteigen des mittleren Meeresspiegels (MSL) sowie Änderungen in der Höhe und Häufigkeit von Extremereignissen stellen eine der Hauptgefahren im Zuge eines sich erwärmenden Klimas dar. Um zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden, ist ein vertieftes Verständnis dieser Prozesse von großer Bedeutung. Derzeit leben weltweit ca. 200 Millionen Menschen in tief liegenden Gebieten und sind der potenziellen Gefahr von Überflutungen ausgesetzt. Aufgrund der Bevölkerungszunahme und der immer stärkeren Besiedlung der Küstengebiete wird diese Zahl in Zukunft weiter ansteigen und kann bis ca. 2080 eine Größenordnung von 800 Millionen erreichen (NICHOLLS, 2004). Um Küstengebiete effizient zu schützen, wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Ansätze zur Abschätzung der Höhen und Häufigkeiten extremer Wasserstände entwickelt. Die Methoden, die dabei auf nationaler sowie internationaler Ebene zum Einsatz kommen, variieren zum Teil jedoch deutlich. Dabei resultieren aus der Verwendung verschiedener statistischer Methoden unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich der Höhe und Häufigkeit von extremen Sturmflutereignissen. Aber auch bei der Verwendung gleicher Modelle können die Ergebnisse große Unterschiede aufweisen. Diese resultieren i.d.R. aus einer subjektiven Wahl des Modell-Setups. Ein Vergleich von Extremereignissen bzw. dem daraus abgeleiteten Schutz entlang der Deutschen Nordseeküste ist daher kaum möglich.

Um den Einfluss subjektiver Entscheidungen zu



**Abbildung 2:**  
Vergleich der Wiederkehrintervalle am Pegel Hörnum auf Basis von Modelldaten und Beobachtungsdaten.

reduzieren, wurden im Teilprojekt "ZukunftHallig A" die in Deutschland gängigen direkten Verfahren zur Ableitung von Bemessungswasserständen bzw. von Wasserständen mit einer bestimmten Wiederkehrzeit auf deren Anwendbarkeit sowie deren Robustheit hin getestet. Dabei wurden die jeweiligen Parameter in realistischen Spannen (bzw. gemäß Literaturrecherche) variiert und auf deren Einfluss hin untersucht. Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Verfahrens, das zu vergleichbaren Bemessungsgrößen bzw. Input für Risikoanalysen führt. Beim Vergleich der gängigsten direkten Verfahren zur extremwertstatistischen Ermittlung von Wasserständen zeigt das POT (Peak Over Threshold) Verfahren deutlich stabilere Ergebnisse als das Block Maxima Verfahren. Dabei zeigen die Analysen, dass die Block Maxima Methode deutlich sensitiver auf subjektive Einflussmöglichkeiten reagiert, wodurch eine weitaus höhere Diskrepanz zwischen den möglichen Resultaten als beim POT Ansatz resultiert. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass es unter Verwendung des POT Verfahrens möglich ist, aus kürzeren Zeitreihen nahezu die gleichen Ergebnisse zu erzielen, wie mit der Block Maxima Methode unter Verwendung sehr langer Zeitreihen. Nähere Informationen können Arns et al. (in Vorbereitung) entnommen werden.

Für die risikoorientierte Gefährdungsanalysen werden als Input die Wahrscheinlichkeiten und Verläufe extremer Wasserstände benötigt. Da die Datenlage im Bereich der Halligen mangelhaft ist, wurde am fwu ein 40-jähriger Wasserstands-Hindcast unter Verwendung der Software MIKE21 erstellt. Auf Basis der zuvor definierten Vorgehensweise zur statistischen Ermittlung extremer Wasserständen wurden univariate Statistiken entlang der gesamten Nordseeküste Schleswig-Holsteins erstellt und visualisiert. In der Abbildung 1 sind exemplarisch Wasserstände mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit  $PE = 0.01$  (Wiederkehrintervall von 100 Jahren) dargestellt. Ein Vergleich der Statistiken unter Verwendung der GPD (allgemeine Pareto Verteilung) ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abweichungen zwischen den modellgenerierten und den Beobachtungsdaten vernachlässigbar sind.

## Literatur

Arns, A., Wahl, T., Haigh, I.D., Jensen, J., Pattiaratchi, C. (in Vorbereitung): Extreme sea level statistics: direct methods and recommendations.

Nicholls, R.J., (2004): Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14 (2004) 69–86.

Quedens, G., (1992): Die Halligen. Breklumer Verlag, Breklum 1992.

UNESCO: <http://www.unesco.de/welterbewattenmeer.html>

## ZukunftHallig B (03KIS094)

### Risikoorientierte Gefährdungsanalysen und Entwicklung nachhaltiger Küstenschutzkonzepte für die Halligen

Theide Wöffler

Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

#### Zusammenfassung

Für den Erhalt des einzigartigen Kultur- und Naturraumes der nordfriesischen Halligen unter veränderten hydrologischen Randbedingungen und der Ermöglichung einer nachhaltigen Entwicklung für künftige Generationen bedarf es einer Überprüfung und Anpassung der bestehenden Küstenschutzmaßnahmen und Küstenschutzstrategien. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen des KFKI/BMBF-Projektes ZukunftHallig am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen mit Hilfe numerischer Simulationen und Risikoanalysen sowohl die Bemessungsgrundlagen als auch Werkzeuge zur Evaluation neuentwickelter Küstenschutzmaßnahmen geschaffen.

Mit Hilfe der numerischen Simulationen werden die heutigen und zukünftigen Seegangsverhältnisse im Bereich des südlichen nordfriesischen Wattenmeeres modelliert. Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch Ergebnisse der mittels der Software Delft3D von Deltares durchgeführten Modellierungen. Dabei liefert das Gezeitenmodell der Nordsee (vgl. Abbildung 1A) die Randbedingungen für das über eine

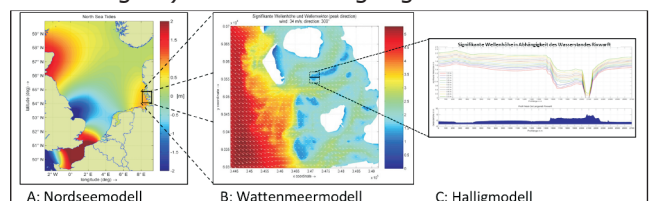


Abbildung 1: Seegangmodell des Untersuchungsgebietes

Rechengitterweite von 200 m x 200 m verfügende Wattenmeermodell (vgl. Abbildung 1B). Dieses Modell stellt wiederum die Randbedingungen für ein hochaufgelöstes Seegangmodell der Halligen bereit, mit dessen Hilfe Sensitivitätsanalysen zur hydrodynamischen Wirksamkeit unterschiedlicher Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt werden (vgl. Abbildung 1C).

Für die weiteren Untersuchungen werden die Halligen in die drei Bereiche Halligvorland/Halligkante, Halligflächen und Warft unterteilt und getrennt voneinander untersucht. Dabei werden auch Kombinationen von Küstenschutzmaßnahmen der unterschiedlichen Halligbereiche mit berücksichtigt und analysiert.

Die Untersuchungen für den Bereich der Halligkante umfassen physikalische Modellversuche in der Kipp Rinne des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft zur Entwicklung eines Bemessungsansatzes der überhöhten Halligdeckwerke (Halligigel), deren Bemessung und Konstruktion bis jetzt auf Erfahrungswerten basiert.

Für den Bereich der Halligflächen ist eine Messkampagne für die Sturmflutsaison 2012/2013 geplant, bei der untersucht werden soll, inwieweit eine Öffnung der Sieltore bei erhöhten Wasserständen zu einer Erhöhung der Sedimentationsraten auf den zentralen Halligbereichen führen kann. Auf Grundlage eines hochaufgelösten numerischen Modells für den Bereich einer Sieltoranlage wurde in Schleswig-Holstein (LKN-SH) festgelegt, dass die Messkampagne schrittweise für ein bis zu einen Meter erhöhtes Mittleres Tidehochwasser durchgeführt werden kann. Dabei werden sowohl die Hydraulik als auch die Sedimentation durch in situ Messungen untersucht. Diese Untersuchungen sollen die Grund-

lage für die Entwicklung einer neuen Küstenschutzstrategie für die nordfriesischen Halligen darstellen, indem mit der gezielten Flutung der Hallig bei erhöhten Wasserständen die Sedimentationsraten gesteigert werden können.

Für den Bereich der Halligwarften werden Untersuchungen zur Quantifizierung des derzeitigen Schutzstandards vorgenommen, die auf Ermittlungen der möglichen Wellenüberlaufmengen für unterschiedliche Sturmflutereignisse basieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen am IWW liefern die Eingangsdaten für die durchzuführenden Risikoanalysen, um bei einem erhöhten Handlungsbedarf eine notwendige Priorisierung von Adaptionsmaßnahmen durchführen zu können. Das zu Grunde liegende jeweilige Sturmflutrisiko setzt sich dabei aus den in Abbildung 2 gezeigten Elementen zusammen und wird mit der am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen entwickelten Software PROMAIDES (Protection Measure against Inundation Decision Support) durchgeführt.

PROMAIDES, ein Entscheidungsunterstützungssystem zur risikobasierten Bewertung des vorhandenen Hochwasserschutzes, verfügt dazu über Verfahren zur Zuverlässigkeitsanalyse, hydrodynamischen Analyse und einer Analyse der Konsequenzen, deren Ergebnisse zu einem Hochwasserrisiko kombiniert werden (Bachmann, 2012).

## Literatur

Bachmann, D. (2012): Beitrag zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Bewertung. Dissertation, RWTH Aachen.

## ZukunftHallig D (03KIS096)

### Jüngere Marschentwicklung und Sturmflutaktivität auf den Nordfriesischen Halligen

Malte Schindler  
Dr. Volker Karius  
Dr. Matthias Deicke  
Prof. Dr. Hilmar von Eynatten

Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Abteilung Sedimentologie/Umweltgeologie

Mesotidale Küstenmarschen sind hoch dynamische Landschaften in denen überflutungsbedingte Sedimentakkumulationsprozesse einen Meeresspiegelanstieg bis zu einem bestimmten Grad kompensieren können. Maßgebliche Parameter für eine positive Rückkopplung sind Überflutungshäufigkeit und

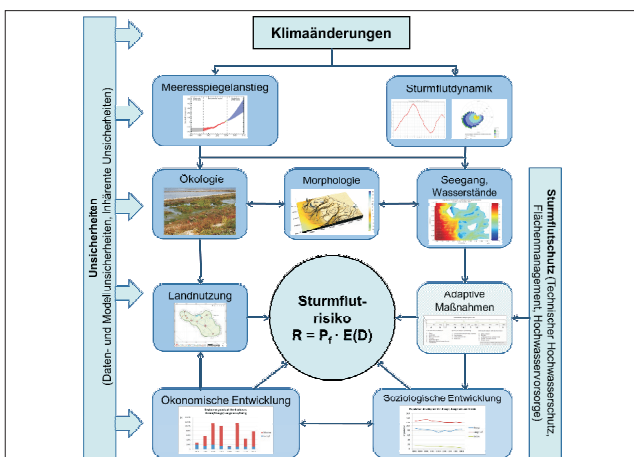
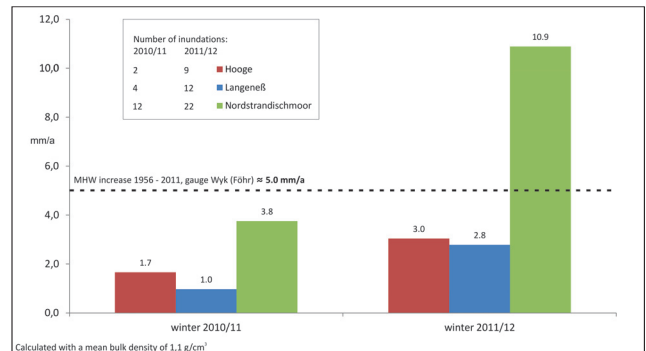


Abbildung 2:  
Elemente des jeweiligen Sturmflutrisikos

-höhe, die Sedimentkonzentration im Überflutungswasser sowie Transportmechanismen, welche suspensionsreiches Wasser effektiv in die Binnenmarschen befördern (D'ALPAOS et al. 2007, KIRWAN et al. 2010). Die Marschländer der Nordfriesischen Halligen sind stark anthropogen überprägt. Sommerdeiche (Hallig Hooge und Langeneß) minimieren die jährlichen Überflutungsereignisse und Sieltore entkoppeln Binnenpriele und Gräben vom Tidengeschehen. Übergeordnetes Ziel von Teilprojekt D ist zu überprüfen, in welchem Umfang die genannten Adaptionsprozesse der Halligmarschen an das in diesem Bereich ansteigende mittlere Tidehochwasser (MTHW) noch stattfinden und gegebenenfalls Hinweise zu geben, wie die Sedimentationsprozesse durch Änderungen im Küstenschutz unter den zukünftigen hydrologischen Rahmenbedingungen optimiert werden könnten.

Ein erster Arbeitsschritt umfasst die Visualisierung und Auswertung hochauflösender digitaler Geländemodelle der drei exemplarisch untersuchten Halligen Hooge, Langeneß und Nordstrandischmoor. Die gegenwärtige, sturmflutabhängige Sedimentakkumulation sowie deren räumliche Variabilität wird während der Winterhalbjahre von Oktober bis März erfasst (2010/11, 2011/12, 2012/13). Es kommen zwei Typen an Sedimentfallen zum Einsatz, welche in einem 400 x 400 m Raster angeordnet sind. Die Datierung oberflächennaher Sedimente mittels des <sup>137</sup>Cs- und <sup>210</sup>Pb-Verfahrens liefert wichtige Erkenntnisse über die Marschentwicklung der letzten ca. 120 Jahre. Bei der Interpretation der sedimentologischen Befunde werden auch hydrologische Daten herangezogen. Pegeldata des Landesbetriebs für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (ZukunftHallig C) liefern wichtige Erkenntnisse bezüglich der langjährigen Überflutungshäufigkeit sowie der jährlichen Variabilität der Überflutungsanzahlen. Des Weiteren wurden für die drei betrachteten Halligen eindeutige, einfach reproduzierbare Schwellenwerte für "beginnende" Landunter und "vollständige" Landunter ermittelt.

Die Topographie der Marschen zeigt charakteristische Reliefelemente, welche auf räumlich hoch variable Sediment-Akkumulationsprozesse zurückzuführen sind. Überflutungssedimente akkumulieren sich bevorzugt binnenseitig der Deckwerkstrukturen sodass die ufernahen Bereiche entgegen zentral gelegenen Arealen deutlich überhöht sind. Ebenfalls auffällig und gleichermaßen typisch für naturbelassene



**Abbildung 1:**  
 Überflutungshäufigkeit und Marschwachstum der Halligen Hooge, Langeneß und Nordstrandischmoor im Winterhalbjahr 2010/11 und 2011/12. Der MTHW-Anstieg errechnet sich anhand eines 19jährigen gleitenden Mittels des mittleren Jahreshochwassers am Pegel Wyk auf Föhr im Zeitraum 1956-2011.

Seemarschen sind Uferwallstrukturen mit einer Höhe von wenigen Dezimetern an unbegradigten Binnenpriele. Die räumliche Verteilung der aktuell erfassten Sedimentakkumulation zeigt ebenfalls, dass wenig anorganische Feststoffe bis ins Zentrum der großen Halligen transportiert werden. Dennoch konnte auf Langeneß eine anhaltende Uferwallbildung im Bereich der Binnenpriele nachgewiesen werden.

Die bisher erfassten mittleren Aufwuchsraten (Winter 2010/11 und 2011/12) der beiden größten Halligen Langeneß und Hooge fallen gering aus und bleiben hinter dem gegenwärtigen Anstieg des MTHW am Pegel Wyk (Föhr) zurück (Abbildung 1). Die ersten Daten von Sedimentdatierungen unterstützen diese Befunde. Lediglich die Hallig Nordstrandischmoor kann im Winter 2011/12 gegenüber dem Vorjahr die Sedimentakkumulation verdreifachen und profitiert somit in hohem Maße von den zahlreichen Landunter. Ebenfalls auffällig ist die hohe Variabilität der Landunter-Ereignisse (1) in verschiedenen Jahren und (2) auf unterschiedlichen Halligen. Ersteres ist auf hoch variable Witterungseinflüsse zurückzuführen. Neben Jahren mit überdurchschnittlich häufigem Landunter (2011/12) sind ebenfalls Jahre ohne Überflutung nicht unüblich (z.B. 2005/2006). Die unterschiedlichen Überflutungshäufigkeiten der Halligen untereinander sind dagegen direkt mit wasserbaulichen Maßnahmen verknüpft. Hooge und Langeneß besitzen einen Sommerdeich mit einer mittleren Höhe von 1,54 m (Hooge) und 0,98 m (Langeneß) über MTHW, was die Anzahl der Überflutungsereignisse drastisch verringert. Nordstrandischmoor hingegen ist lediglich an drei Seiten mit einem Rauhstreifen (Halligigel) mit einer mittleren Höhe von



0,70 m über MTHW gesichert. Die Seemarschen der Halligen können somit zu den "transportlimitierten Landschaften" (KIRWAN et al. 2010) gezählt werden, in welchen die mangelnde Verfrachtung suspensionsreichen Wassers die Anpassung an geänderte hydrologische Rahmenbedingungen verhindert.

#### Literatur

D'Alpaos, A.; Lanzoni, S.; Marani, M.; Rinaldo, A. (2007): Landscape evolution in tidal embayments: Modeling the interplay of erosion, sedimentation, and vegetation dynamics, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112.

Kirwan, M., Guntenspergen, G., D'Alpaos, A., Morris, J., Mudd, S., Temmerman, S. (2010): Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32.

## Flüssigschlick (03KIS065)

**Erweiterung eines morphodynamischen numerischen Simulationsmodells zur Simulation der Dynamik von Flüssigschlick im Bereich der deutschen Nordseeküste und der angrenzenden Ästuare und Tideflüsse**

Dr.-Ing. Aron Roland

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Zanke

Technische Universität Darmstadt, FG Wasserbau

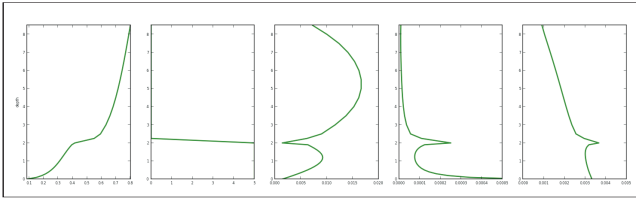
Aufgrund der schnellen Entwicklung der Schiffsgrößen der internationalen Seeschifffahrt und der ständig steigenden Tiefgänge in den letzten Jahrzehnten sind die ausreichenden Wassertiefen im Anfahrtsweg der Seehäfen an der deutschen Nordseeküste ein wesentlicher Standortfaktor geworden, der nur durch fortwährende Vertiefungen und nachfolgende Unterhaltung der Zufahrtswege dauerhaft erhalten werden kann. So fallen von den etwa 45 Mio. m<sup>3</sup> Baggergut, die in Deutschland in den letzten Jahren jährlich durch Nassbaggerungen bewegt werden, etwa 90% im Bereich der Ästuare und der zugehörigen Tideflüsse an. Insbesondere im Süß-Salzwasser-Mischbereich, der Brackwasserzone, entsteht permanent ein spezielles organisches Sediment, nämlich der Schlick. Dieser bildet im Wasserkörper Flocken, welche eine sehr geringe und zudem mit der lokalen Sedimentkonzentration und den lokalen Strömungsbedingungen variierende Sinkgeschwindigkeit aufweisen (Dyer, 1989). Diese Feinsedimente setzen sich insbesondere in strömungsberuhigten Zonen und beim Wechsel der

Fließrichtung, den sogenannten Kenterzeiten, ab. Dadurch entsteht sohlennah eine hochkonzentrierte Schlickschicht mit eigenen mechanischen Eigenschaften bezüglich der Fließfähigkeit von Flüssigschlick.

Im Rahmen des Forschungsprojektes FLMUD 03KIS065 wurde, in Kooperation mit ISMAR-CNR in Venedig, das dort vorhandene Strömungsmodell SHYFEM (Umgiesser, 1995, 1997 u. 2004) erweitert, um die Dynamik von Flüssigschlick abbilden zu können. Weiterhin wurde auch in Kooperation mit Joseph Zhang vom Virginia Institute of Marine Science (VIMS) das SELFE Modell einbezogen, um die Möglichkeit der Simulation der Flüssigschlickdynamik im Rahmen von FLMUD erweitert. Dies wurde erreicht, indem einerseits ein rheologisches Modell implementiert wurde, welches die nicht-Newton'schen Eigenschaften von Flüssigschlick mit Hilfe unterschiedlicher Viskositätsmodelle darstellt und das Strukturverhalten und die thixotropen Eigenschaften des Flüssigschlicks berücksichtigt. Weiterhin wurden die Rückkopplung der infolge des Flüssigschlicks hohen Dichte mit dem Strömungsmodell und der Einfluss der starken Konzentrationsgradienten auf den turbulenten Austausch im Turbulenzmodell berücksichtigt. Die implementierten Erweiterungen wurden in einer Reihe von synthetischen Testfällen zunehmender Komplexität untersucht. Zusätzlich wird in SHYFEM und SELFE durch Kopplung mit dem Seegangmodell WWMII (Roland et al., 2009) der Seegangseinfluss auf die Schlickdynamik erfasst.

Die gewählten Modelle (SHYFEM und SELFE) stellen, nach Ansicht der Autoren, den aktuellen Forschungsstand dar und decken einen großen Anwenderkreis von dreidimensionalen numerischen Strömungsmodellen auf unstrukturierten Gitternetzen ab. So wird SHYFEM für eine Vielzahl von Lagunen auf der Welt eingesetzt aber auch operationell für das Mittelmeer (Ferrarin et al. 2012) und die Adria. SELFE wird ebenfalls weltweit von verschiedenen Institutionen für die Modellierung von Ästuaren, Küstengebieten und Binnengewässern eingesetzt. Das SELFE Modell ist von den numerischen Verfahren dem SHYFEM Model ähnlich, hat jedoch den Vorteil, dass schon eine parallele Version vorhanden ist. Beide Modelle verfügen über eine Vielzahl von Erweiterungen, wie z.B. das o.a. Seegangmodell WWMII, Erweiterungen zur Simulation der Wasserqualität, des Sedimenttransportes von nichtbindigen Material sowie Niederschlags-Abflussmodelle. SHYFEM auch





**Abbildung 1:**  
Lutokline mit entsprechender Schichtung. Von links nach rechts, das Geschwindigkeitsprofil, Schlickkonzentration, turbulente Viskosität, Produktion von turbulenter kinetischer Energie (TKE)  $k$  und die zugehörige Dissipation von TKE  $\epsilon$ .

SELFE können als integrierte Modellumgebungen für hydraulische und ökologische Untersuchungen im Binnen- und Küsteningenieurwesen bezeichnet werden. Beide Modelle können leicht aus den Datenbasen der Wetterzentren (ECWMF, NOAA, DWD) angetrieben werden und simulieren den Transport von Salinität und Temperatur in 3D auf Grundlage eines drei-dimensional Strömungsfeldes aus der Lösung der Reynolds gemittelten Navier-Stokes Gleichungen (RANS). Das Turbulenzmodell ist in beiden Modellsystemen GOTM (General Ocean Turbulence Model; Umlauf und Burchard, 2002) implementiert.

Die wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung des FLMUD Moduls war die Einbettung in die vorhandene numerische Umgebung des jeweiligen Modells. Ein stabiles Integrationsverfahren wurde letztendlich erreicht, indem die zusätzlichen rheologischen Viskositäten auf der neuen Zeitebene berücksichtigt wurden. Die infolge der Präsenz von Flüssigschlick entstehenden hohen Dichtegradienten und deren Einfluss auf Impulstransport sowie der Turbulenz mussten ebenfalls semi-implizit integriert werden, damit am Ende ein effizientes und robustes Integrationsverfahren vorliegt. Das wesentliche Merkmal von FLMUD im Rahmen des kontinuierlichen Ansatzes ist, dass die Flüssigschlickphase im selben Berechnungsgitter abgebildet, was von stabiler Schichtung bis zur vollständigen Durchmischung die verschiedenen hydraulischen Regime darstellen kann. In Abbildung 1 sind Ergebnisse von numerischen Experimenten mit dem FLMUD Modul dargestellt. Die Experimente wurden in einem Gerinne durchgeführt, das 60 km lang ist, 10 m tief und 800 m breit ist. Es wurden 5g/l Flüssigschlick eingebracht. Der Flockendurchmesser beträgt hier 6 $\mu$ m. Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist entsteht eine Lutokline mit entsprechender Schichtung. Maßgebend ist hier, dass die Flüssigschlickschicht ebenfalls in Bewegung ist und sich unterhalb der Lutokline ein turbulentes Regime entwickelt, welches dann letztendlich zur

vollständig Vermischung über die Wassertiefe führt. Ähnliche Ergebnisse wurden von Winterwerp (2002) gezeigt. Modelle, die kein turbulentes Regime in der Flüssigschlickschicht beschreiben können, sind nicht in der Lage dies zu simulieren.

## Literatur

- Dyer, K.R. (1989): Sediment Processes in Estuaries. Journal of Geophysical Research, 94 (No.10).
- Ferrarin, C., Umgiesser, G., Cucco, A., Hsu, T.-W., Roland, A., Amos, C.L. (2008): Development and validation of a finite element morphological model for shallow water basins. Coast. Eng. 55 (9), 716–731.
- Ferrarin, C., Bajo, M., Roland, A., Umgiesser, G., Cucco, A., Davolio, S., Buzzi, A., Malguzzi, P., Drofad, O.: Tide-surge-wave modelling and forecasting in the Mediterranean Sea with focus on the Italian coast, Ocean Modelling, accepted for publication at Ocean Modelling.
- Le Hir, P., Bassoulet, P. and Jestin, H. (2001): Application of the continuous modeling concept to simulate high-concentration suspended sediment in a macro-tidal estuary, in Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, Proc. Mar. Sci., Vol. 3, edited by W. H. McAnally and A. J. Metha, pp 229– 248, Elsevier Sci., Amsterdam.
- Umlauf, L. and Burchard, H. (2003): A generic length-scale equation for geophysical turbulence models. J. Mar. Res. 6, 235–265.
- Roland, A. et al. (2009): On the development and verification of a 2-D coupled wave-current model on unstructured meshes, J. Mar. Syst., doi:10.1016/j.jmarsys.2009.01.026.
- Roland, A., Zhang, Y.J., Wang H. Y., Meng, Y., Teng, Y.C., Maderich, V., Brovchenko, I., Dutour-Sikiric, M. and Zanke, U. (2012): A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids, JGR Oceans, accepted for publication.
- Umgiesser, G. and Bergamasco, A. (1995): Outline of a primitive equations finite element model. Rapporto e Studi, Istituto Veneto of Scienze, Lettere ed Arti XII, pp. 291–320.
- Umgiesser, G. (1997): Modelling the Venice Lagoon. Int. J. Salt Lake Res. 6, 175–199.
- Umgiesser, G., Melaku Canu, D., Cucco, A., Solidoro, C. (2004): A finite element model for the Venice Lagoon.
- Winterwerp, J.C. (2002): On the flocculation and settling velocity of estuarine mud. Continental Shelf Research, 22, 1339-1360.
- Zhang, Y.-L. and Baptista, A.M. (2008): SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation, Ocean Modelling, 21(3-4), 71-96.

## Projekt RADost

### Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste Fokusthema Küstenschutz

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Wasserbau

#### Überblick

Ziel des RADOST-Vorhabens ist es, Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküstenregion im Dialog zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft zu erarbeiten. Dabei geht es gleichermaßen darum, Schaden für Wirtschaft, Gesellschaft und Natur zu minimieren und mit dem Wandel verbundene Entwicklungschancen optimal zu nutzen. Ein weiteres Ziel ist die dauerhafte Stärkung von Akteursnetzwerken und Kommunikationsstrukturen, auch über die Region hinaus.

Die Projektstruktur von RADOST unterscheidet die folgenden übergeordneten Arbeitsbereiche (Module)

- Netzwerkbildung und regionaler Dialog
- Natur- und ingenieurwissenschaftliche Forschung
- Sozio-ökonomische Forschung
- Nationale, europäische und internationale Einbindung
- Kommunikation und Verbreitung der Ergebnisse

Netzwerkbildung und Dialog orientieren sich entlang von sechs Fokusthemen, die wesentliche vom Klimawandel betroffene Wirtschaftsbereiche und

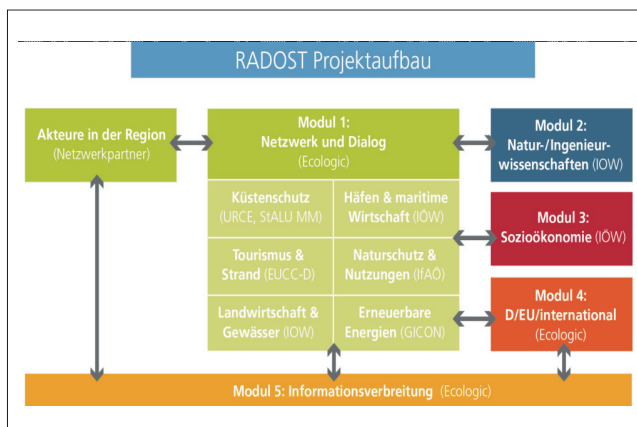


Abbildung 1:  
Projektstruktur von RADOST

Handlungsfelder in der Region abbilden. Ergebnisse aus den Modulen natur-/ ingenieurwissenschaftliche Forschung und sozio-ökonomische Forschung werden in Hinblick auf den Handlungsbedarf in den Fokusthemen aufbereitet und um anwendungsorientierte Forschungen zu den einzelnen Fokusthemen ergänzt. Anwendungsprojekte mit Praxispartnern vor Ort dienen der modellhaften Entwicklung von Lösungsansätzen.

Eine Quervernetzung der Fokusthemen findet sowohl in übergeordneten Dialogforen, die Experten und Akteure von innerhalb und außerhalb der Projektregion zusammenbringen, als auch lokal in ausgewählten Fokusgebieten statt.

RADOST ist eines von sieben Projekten, die im Rahmen der Fördermaßnahme "Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten" (KLIMZUG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert werden. KLIMZUG unterstützt Modellregionen in Deutschland bei der Entwicklung von innovativen Ansätzen zur Klimaanpassung. Ein zentrales Ziel der Maßnahme ist die Bildung dauerhaft tragfähiger Akteursnetzwerke.

#### Fokusthema Küstenschutz

Das Fokusthema "Küstenschutz" erarbeitet zukunftsichere und langfristige Strategien für den Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste. Zielkonflikte mit anderen Sektoren wie Tourismus und Naturschutz werden dabei aufgegriffen. Sensitivitätsanalysen identifizieren prioritäre Küstenabschnitte und Küstenschutzmaßnahmen. Durch Monitoring werden die schleichenden Veränderungen von Wasserständen, Seegang und Strömungen erfasst.

Die Ostseeküstenabschnitte von Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein unterliegen auf ca. 70 % ihrer Länge dauerhaft der Erosion von Sedimenten und damit direkt verbunden, dem Rückgang der Küste. Der Schutz der Küste, d.h. der Schutz des Hinterlands vor Überflutung sowie die Stabilisierung der Uferlinie, erfordert bereits derzeit jährlich erhebliche Investitionsmittel. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels mit steigenden Wasserständen ist es zu erwarten, dass die Aufwendungen für den Küstenschutz bei gleich bleibender Sicherheit der geschützten Bereiche weiter steigen werden.

Mit den steigenden Wasserständen und veränderten hydrodynamischen Belastungen der Küste stellt sich



**Abbildung 2:**  
Fokusgebiete von RADOST

zudem die Frage der mittel- und langfristigen Anwendbarkeit und Wirksamkeit derzeit gebräuchlicher Küstenschutzbauwerke und -konzeptionen.

Wesentliches Ziel ist es, vor dem Hintergrund veränderter klimatischer Bedingungen zukunftsichere und langfristige Strategien für den Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Situation des Sturmflut- und Küstenschutzes zu erarbeiten und auf der Grundlage von Sensitivitätsanalysen eine frühzeitige Priorisierung einzelner Küstenabschnitte oder Küstenschutzmaßnahmen vorzunehmen sowie Handlungszeiträume und -spielräume zu bewerten.

Daneben ist es insbesondere auch wegen der langen Planungszeiträume bereits heute erforderlich, die Entwicklung der Sicherheit der bestehenden Küstenschutzwerke unter geänderten hydrodynamischen Belastungen zu analysieren.

Anknüpfungspunkte innerhalb und außerhalb des Vorhabens ergeben sich insbesondere für Fragestellungen der touristischen Nutzung von Stränden sowie für Fragestellungen des Naturschutzes.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten liegt in den Fokusgebieten (siehe Abbildung 2). Hier werden aktuelle Fragestellungen des Küstenschutzes aufgegriffen und vor dem Hintergrund des Wandels der klimatischen Bedingungen analysiert

Die Projektlaufzeit von RADOST ist Juli 2009 bis Juni 2014.

## Quellen

Texte aus: [www.radost-klimzug.de](http://www.radost-klimzug.de)

## KLIWAS

### Klimawandel auf und in der Nordsee – Ergebnisse hochauflösender Klimamodelle

Dr. Anette Ganske

Dr. Birgit Klein

Dr. Sabine Hüttl-Kabus

Dr. Katharina Bülow

Dr. Hartmut Heinrich

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie  
Hamburg

Dipl.-Met. Gudrun Rosenhagen

Deutscher Wetterdienst

Im Rahmen des Ressortforschungsprogramm KLIWAS des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) werten das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und das Seewetteramt (SWA) Klimaszenarien für das Gebiet der Nord- und Ostsee aus. Das Ziel von KLIWAS ist es die Auswirkungen des Klimawandels in der Region von Nord- und Ostsee sowie deren Küsten zu untersuchen. Diese betreffen unter anderem den Schiffsverkehr in Nord- und Ostsee.

Insgesamt werden in Kooperationen mit dem Max-Planck-Institut Hamburg (MPI-HH), dem Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut (SMHI) und der Universität Hamburg (IfM-HH) hochauflösende gekoppelte Modellrechnungen für das A1B Szenario durchgeführt und gemeinsam mit den Modellierungsgruppen validiert und ausgewertet. Im Gegensatz zu den grob auflösenden gekoppelten globalen Klimamodellen, welche z.B. im 4. IPCC Bericht Verwendung fanden, besitzen die hier verwendeten Modelle räumliche Auflösungen, die den Skalen in den beiden Schelfmeeren gerecht werden und von 3-10 km im Ozean bzw. 25-37 km in der Atmosphäre reichen.

Erstmals werden in diesem Projekt verschiedene hoch aufgelöste Klimaprojektionen mit drei unterschiedlichen gekoppelten Ozean-Atmosphären Modellen für Nord- und Ostsee durchgeführt. Dies bietet die Möglichkeit, einen Teil der Bandbreite der möglichen Klimaänderungen zu bestimmen. Ergänzend werden die regionalen atmosphärischen Klimamodelldaten aus dem ENSEMBLES Projekt für die Bereiche der Nord- und Ostsee ausgewertet.

Die Änderung in der Temperatur und Salzgehaltsverteilung in Nord- und Ostsee sowie der Anstieg des Meeresspiegels werden anhand der ersten schon vorliegenden Simulationen des gekoppelten Modells MPIOM-REMO untersucht. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwärmt sich die Nordsee in den Simulationen um ca. 2 °C, die Erwärmung in der Ostsee fällt mit 3.5 °C deutlich höher aus. Für die Nordsee zeigen sich in diesen Simulationen in der horizontalen Verteilung deutliche Auswirkungen des Austausches mit dem Nordatlantik. In den Einstrombereichen an der Schelfkante im Norden und im Bereich des englischen Kanals treten niedrigere Erwärmungsraten auf als in der zentralen Nordsee.

Deutliche Unterschiede in den Auswirkungen der Klimaentwicklung zeigen sich auch in den Salzgehalten. Aufgrund der vermehrten Niederschläge und des erhöhten kontinentalen Abflusses kommt es zu einer Erniedrigung der Salzgehalte in Nord- und Ostsee. Die Salzgehaltsänderungen in der Nordsee sind weitgehend moderat und liegen bei einer Abnahme von 0,2 psu. Im Gegensatz dazu werden für die Ostsee sehr große Salzgehaltsänderungen von 2 psu und mehr prognostiziert. Diese deutliche Salzgehaltsabnahme in der Ostsee ist oberflächennah in der Ausbreitung des Baltischen Ausstroms in der Nordsee zu sehen und führt zu den Salzgehaltsabnahmen im Bereich der Belte und vor der norwegischen Küste.

Der sterische Anstieg des Meeresspiegels liegt nach 100 Jahren bei ca. 25-30 cm für die Nordsee und bei 30-35 cm in der Ostsee. Die räumlichen Muster des Meeresspiegels in den beiden Meeresgebieten bleiben in dem Zeitraum weitgehend unverändert und Zirkulationsänderungen sind daher eher klein.

Für die Zirkulationsmuster in der Nordsee ergeben sich nur geringe Änderungen. Auffällig ist aber die Abschwächung der Zirkulation in weiten Bereichen der südlichen Nordsee. Die Zeitreihen des Einstroms von atlantischem Wasser über den Englischen Kanal

zeigen passend dazu eine deutliche Reduktion des Einstroms, während der Einstrom über das Skagerrak und den nördlichen Schelfrand keine deutlichen Trends aufweisen. Weiterhin können Änderungen im Windregime über der südlichen Nordsee einen Einfluss auf die verringerten Strömungsfelder haben. Erste Analysen deuten darauf hin, dass die Ursache eher die Änderung der Windrichtung als die Reduktion der Windgeschwindigkeit ist.

Für die Sicherheit sowohl des Schiffsverkehrs als auch der Küsten ist die zukünftige Entwicklung der Stürme maßgeblich. Deshalb ist eine mögliche zukünftige Änderung der Windgeschwindigkeiten auf der Nordsee von großer Bedeutung. Zur Untersuchung der bodennahen Windfelder auf der Nordsee wurden Ergebnisse sowohl eines globalen als auch mehrerer regionaler Klimamodelle aus dem ENSEMBLES Projekt für den Zeitraum 1950 – 2100 analysiert. Die Simulation der Windfelder in den Regionalmodellen wird als realistisch eingeschätzt. Der Vergleich der mittleren Windfelder der Modelle für den Zeitraum 1970-2000 mit ERA-40 Daten zeigte Abweichungen in den Windgeschwindigkeiten, die kleiner sind als die abgeschätzten Ungenauigkeiten aus Satellitenmessungen.

Die Untersuchung der zu erwartenden zeitlichen Änderungen der Windfelder bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erfolgte in ausgewählten Gebieten und basiert auf Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten. Die daraus resultierenden jährlichen Verteilungen zeigen für alle Modelle eine hohe Variabilität von Jahr zu Jahr. Lineare Trends der Windgeschwindigkeit für den Zeitraum 1950-2000 weisen zwischen den Modellen und in unterschiedlichen Windklassen (Perzentilen der Häufigkeitsverteilungen) kein einheitliches Vorzeichen auf. Die Robustheit und Signifikanz der Trends in Abhängigkeit von der Windrichtung wird daher für die ausgewählten Gebiete diskutiert.

## Impressum

### Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen

c/o Bundesanstalt für Wasserbau | Wedeler Landstraße 157 | 22559 Hamburg

**KFKI-Geschäftsstelle** | t +49 (0)40 81908 392 | f +49 (0)40 81908 373 | kfki-sekretariat@baw.de | www.kfki.de

**KFKI-Bibliothek** | t +49 (0)40 81908 378 | kfki-bibliothek@baw.de | webOPAC <http://vzb.baw.de>

Online Ressource: <http://d-nb.info/995087016>