

Andreas Vött und Helmut Brückner (Hrsg.)

# Ergebnisse aktueller Küstenforschung

Beiträge der 26. Jahrestagung des Arbeitskreises  
„Geographie der Meere und Küsten“  
25. - 27. April 2008 in Marburg



Andreas Vött und Helmut Brückner (Hrsg.)

## Ergebnisse aktueller Küstenforschung

### Buchumschlag:

Das Titelfoto zeigt den nördlichen Bereich des Sundes von Leukas, einer der Ionischen Inseln in Nordwestgriechenland. Der lagunenartige Sund ist durch einen nehrungsartigen Strandwall vom offenen Ionischen Meer abgetrennt. Vom so genannten Kap Gyrapetra in die Lagune hineinragend ist ein ca. 1,2 km langer Überspülfächer zu sehen, der aus kiesigen und sandigen, schillreichen Sedimenten aufgebaut ist, die abrupt auf dem feinkörnigen Lagunenschlamm abgelagert wurden. Der Fächer lässt sich auch unter Wasser weiterverfolgen. Dort sind die ihn aufbauenden Sedimente von Lagunenablagerungen überdeckt worden, was auf einen zwischenzeitlichen Anstieg des Meeresspiegels schließen lässt. Sowohl die Form als auch der sedimentologische Aufbau des Fächers weisen auf einen tsunamigenen Ursprung hin. Rund 20 km vor der Küste befindet sich die seismo-tektonisch höchst aktive Zone des Hellenischen Bogens, der als Verursacher in Betracht gezogen werden muss. Im Rahmen interdisziplinärer Paläotsunami-Studien konnten mehrere große Tsunami-Ereignisse für die letzten Jahrtausende erfasst werden. Die rund 1 km entfernt liegende und sich bei Touristen einer immer größeren Beliebtheit erfreuende Stadt Leukas mit ihren rund 12.000 Einwohnern ist daher einem beträchtlichen Tsunami-Risiko ausgesetzt. Im vorliegenden Band werden im Beitrag von FLOTH et al. sedimentologisch-geomorphologische Tsunami-Spuren den Ergebnissen einer computergestützten Modellierung gegenübergestellt.

# MARBURGER GEOGRAPHISCHE SCHRIFTEN

ISSN 0341-9290

Herausgeber

Jörg Bendix, Thomas Brenner, Helmut Brückner,  
Markus Hassler, Georg Miehe, Christian Opp, Michaela Paal,  
Alfred Pletsch, Simone Strambach

Schriftleiter

Wolfram Döpp

Heft 145

Im Selbstverlag der Marburger Geographischen Gesellschaft e.V.

Andreas Vött und Helmut Brückner (Hrsg.)

## **Ergebnisse aktueller Küstenforschung**

Beiträge der 26. Jahrestagung des Arbeitskreises  
„Geographie der Meere und Küsten“  
25.-27. April 2008 in Marburg

Marburg/Lahn 2009

Ergebnisse aktueller Küstenforschung : 25. - 27. April 2008 in Marburg /  
Andreas Vött ... (Hrsg.). - Marburg, Lahn : Selbstverl. der Marburger Geo-  
graph. Ges., 2009. - VIII, 195 S. : graph. Darst., Kt.  
(Beiträge der Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und  
Küsten“ ; 26)  
(Marburger geographische Schriften ; 145)  
ISBN 978-3-88353-070-3  
NE: Hrsg.; Arbeitskreis Geographie der Meere und Küsten: GT; 2. GT

Die Drucklegung des vorliegenden Bandes wurde dankenswerter-  
weise von der Wilhelm Hahn und Erben-Stiftung (Bad Homburg)  
finanziell gefördert.

© by Selbstverlag:  
Marburger Geographische Gesellschaft  
– Marburger Geographische Schriften –  
Deutschhausstraße 10  
D-35037 Marburg  
Fax: 06421/2828950  
E-Mail: Geogrbib@ub.uni-marburg.de

Layout und Satz: H. Nödler/M. Rößler, Marburg  
Druck: Druckerei und Verlag Wenzel, Am Krekel 47, D-35039 Marburg

ISBN 978-3-88353-070-3

## Vorwort

Auf Einladung von Prof. Dr. Andreas Vött (Universität zu Köln, früher Marburg), Prof. Dr. Helmut Brückner (Philipps-Universität Marburg) und PD Dr. Anja Scheffers (Southern Cross University, Lismore, Australien) kamen vom 25. bis 27. April 2008 rund 50 Teilnehmer und Teilnehmerinnen aus ganz Deutschland zur 26. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ (AMK) im Deutschritterordenshaus des Fachbereichs Geographie der Philipps-Universität zusammen.

Die 26. Jahrestagung hat erneut die große Akzeptanz und Bedeutung des Arbeitskreises als Mitteilungs- und Diskussionsforum innerhalb der deutschen Küstenforschung aufgezeigt und die starken Forschungsaktivitäten seiner Mitglieder dokumentiert. Aktuelle Forschungsthemen umfassen Aspekte der Inselentwicklung, der Morphodynamik von Wattflächen, der Sturmflut- und Meeresspiegelentwicklung, außerdem der allgemeinen Genese der Nord- und Ostseeküsten sowie ihrer Zukunft im Zeichen des Klimawandels. Weitere Projekte widmen sich den Potenzialen der Meeresenergie, der Entwicklung von Landnutzungsszenarien für agrarisch genutzte Räume, Renaturierungsansätzen und ökologischen Szenarien, und dies ebenfalls vor dem Hintergrund der immer deutlicher zu Tage tretenden globalen Erwärmung. Einen Schwerpunkt moderner Küstenforschung stellen daher Studien zum Küstenschutz und zum integrierten Küstenzonenmanagement dar. Ein wesentliches – seit dem Tsunami-Ereignis vom 26. Dezember 2004 intensiviertes – Standbein der Küstenforschung ist die Erfassung und Rekonstruktion von Paläotsunami-Ereignissen, zum Beispiel im Mittelmeerraum und in der Karibik, aus deren Ergebnissen sich prospektive Aussagen zur heutigen Gefährdungslage ableiten lassen. In diesem Zusammenhang spielen sozio-ökonomische Studien eine große Rolle, etwa zur Vulnerabilität und Resilienz jener Gebiete in Südostasien, die 2004 vom Jahrhundert-Tsunami erfasst wurden.

Aus dem vielfältigen Spektrum deutscher Küstenforschung sind im vorliegenden Band „Ergebnisse aktueller Küstenforschung“ elf Beiträge zusammengefasst. Sie spiegeln die rege Forschungsaktivität an Universitätsstandorten innerhalb Deutschlands und ihre aktive Vernetzung mit Akteuren außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und Behörden wider.

Die Relevanz der behandelten Themen zeigt sich an mehreren Tatsachen: Küsten sind für die Menschheit Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsräume. Schon heute lebt etwa ein Drittel der Weltbevölkerung an der Küste oder in Küstennähe, viele Megacities sind Küstenstädte. Zudem sind die Weltmeere Motoren der Klimaentwicklung, vor allem durch die enge Kopplung zwischen Ozean und Atmosphäre. Ozeane sind bedeutende Senken für das Treibhausgas CO<sub>2</sub>, gleichzeitig führen über sie Handelswege und dienen sie als Nahrungs-

quelle. Viele Küsten der mittleren und niederen Breiten haben eine enorme Erholungsfunktion und stehen daher unter hohem Druck. Bezüglich der sensiblen Nahtstelle zwischen Meer und Land gilt es, die drängenden Fragen der Umweltverträglichkeit menschlicher Eingriffe, aber auch des Küstenschutzes, im Einvernehmen zwischen Mensch und Natur zu lösen.

Mit diesem Buch wird der jüngste Band in der seit 1983 durchgehenden Reihe wissenschaftlicher Veröffentlichungen des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ vorgelegt. Auch hierin zeigt sich, dass er einer der aktivsten Arbeitskreise in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) ist.

Mit großer Sorgfalt hat Frau Margot Rößler die Manuskripte der Autorinnen/Autoren überarbeitet. Die Herausgeber danken Herrn Helge Nödler und Herrn Prof. Dr. Wolfram Döpp für die äußerst professionelle kartographische Ausgestaltung und redaktionelle Bearbeitung der Beiträge. Der Marburger Geographischen Gesellschaft gebührt Dank für die Unterstützung der Drucklegung, den Herausgebern der Marburger Geographischen Schriften für die Aufnahme des Bandes in die Schriftenreihe.

Die Herausgeber hoffen, dass sich durch die Lektüre der folgenden Seiten etwas von der Faszination der Meere und Küsten auf die Leserinnen und Leser überträgt. Vor dem Szenario des Global Warming wird die Bedeutung der hier behandelten Themen sicher weiter zunehmen.

Andreas Vött und Helmut Brückner

Köln und Marburg, im März 2009

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... V

Wie wuchs Langeoog aus dem Meer empor? Neue sedimentologische und geophysikalische Untersuchungen zur Inselentstehung..... 1  
SABINE MAREIKE KLAFFKE, FRIEDERIKE BUNGENSTOCK, SEBASTIAN LINDHORST, HELMUT BRÜCKNER & HOLGER FREUND

Das Zusammenwirken von Tide und Sturmflut im Elbe-Ästuar..... 17  
JOHANN-AHLERT BREMER & GABRIELE GÖNNERT

Eiderstedt im Spannungsfeld zwischen Naturschutz- und Agrarpolitik – Entwicklung eines methodischen Ansatzes für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement..... 33  
CHRISTINE SCHLEUPNER & PETER MICHAEL LINK

Ein Gazetteer für die deutsche Küste..... 50  
JÖRN KOHLUS

Regeneration of submarine hard-bottom substrate by natural abrasion in the western Baltic Sea..... 66  
BJÖRN BOHLING, HENNING MAY, THOMAS MOSCH & KLAUS SCHWARZER

Genesis and sediment dynamics of a subaqueous dune field in Fehmarn Belt (south-western Baltic Sea) ..... 80  
PETER FELDENS, KLAUS SCHWARZER, CHRISTIAN HÜBSCHER & MARKUS DIESING

Pilotprojekt zur Renaturierung des Stettiner Haffs mit Hilfe von Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*) ..... 98  
CHRISTIANE FENSKE, SVEN DAHLKE & PHILIP RIEL

Kliffrückgang und Blocktransport an den Westküsten der Britischen Inseln..... 112  
ANJA SCHEFFERS & DIETER KELLETAT

Geo-scientific evidence versus computer models of tsunami landfall in the Lefkada coastal zone (NW Greece) ..... 140  
ULRICH FLOTH, ANDREAS VÖTT, SIMON MATTHIAS MAY, HELMUT BRÜCKNER & SVENJA BROCKMÜLLER

Reading the chapter of extreme wave events in nearshore geo-bio-archives of Bonaire (Netherlands Antilles) – initial results from Lagun and Boka Bartol .....	157
MAX ENGEL, ANDREAS BOLTEN, HELMUT BRÜCKNER, GERHARD DAUT, DIETER KELLETAT, FRANK SCHÄBITZ, ANJA SCHEFFERS, SANDER R. SCHEFFERS, ANDREAS VÖTT, MICHAEL WILLE & TIMO WILLERSHÄUSER	
Potenziale der Fernerkundung zur Abschätzung von Tsunami-Vulnerabilität an der Andamanküste Südthailands .....	179
HANNES RÖMER, RALF LUDWIG, HORST STERR & GUNILLA KAISER	

# **Eiderstedt im Spannungsfeld zwischen Naturschutz- und Agrarpolitik – Entwicklung eines methodischen Ansatzes für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement**

Christine Schleupner & Peter Michael Link

## **Abstract**

Agricultural land on the Eiderstedt peninsula in Schleswig-Holstein (Germany) is traditionally dominated by extensively used grassland. These grassland areas are home to many (endangered) bird species, making Eiderstedt one of the prime bird habitats at the west coast of Schleswig-Holstein. During the last few years, large shares of grassland have been converted to arable farm land to grow crops needed in an intensified dairy production and for biofuels. The possible impacts of such conversions on breeding bird populations of four key species are determined. The results indicate that the increase of arable farm land during the past six years has drastically reduced suitable bird habitat, which considerably diminishes the number of breeding pairs supported by the environment. Further land conversion is likely to have a less pronounced impact on bird populations compared to the consequences of the latest shift from grassland to arable farm land. Recent declarations of additional bird sanctuaries are supposed to alleviate the pressure on endangered bird species. Assessments using a combination of GIS and dynamic optimization models will be conducted to determine the expected efficiency of such management measures.

## **1 Landnutzung auf Eiderstedt in Vergangenheit und Gegenwart**

„*Gott schuf das Meer, der Friese die Küste*“; dieser Satz, einem Plakat bei Westerhever entnommen (Abb. 1), ist nicht nur Zeichen des Protestes gegen die Ausweisung von Schutzgebieten im Raum Eiderstedt, sondern er verdeutlicht auch schlaglichtartig, wie die ortsansässigen Landwirte die sie umgebende und von ihnen gestaltete Landschaft wahrnehmen („*Ökodiktatur – nein danke*“).

Eiderstedt ist eine Halbinsel an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste mit einem sich nach Südosten erstreckenden Geestrücken, die durch die Eider im Süden und das Stadtgebiet Husum im Norden begrenzt ist. Über Jahr-



**Abb. 1: Plakat bei Westerhever (Halbinsel Eiderstedt)**

Aufnahme Ch. Schlepner vom 10.3.2008

sich jedoch in jüngster Zeit eine Umstellung auf Mastfutteranbau und ganzjährige Stallhaltung sowie zu intensiverer Milchviehhaltung. Daraus resultieren bedeutende Veränderungen nicht nur im Landschaftsbild.

Die veränderten Bewirtschaftungsformen führen zu einem massiven Grünlandumbruch in der Region. Neben dem Verlust von Gruppen, Gräben und Tränkekuhlen beinhaltet dies auch eine Intensivierung der Entwässerung. Hinzu kommt die Förderung alternativer Energieerzeugung, so dass Biogasanlagen jüngst einen wahren Boom auf Eiderstedt erfahren, einhergehend mit weiterem Grünlandverlust zugunsten von Maisanbau. Zurzeit befinden sich 4 Biogasanlagen auf der Halbinsel, eine weitere ist in Planung (NEHLS 2007). Aufgrund von Plänen seitens der damaligen Landesregierung, Eiderstedt als Vogelschutzgebiet im Rahmen von Natura 2000 und der Vogelschutzrichtlinie zu melden, wurde der Grünlandumbruch seit 2004 verstärkt praktiziert.

Eiderstedt ist ein bedeutendes Gebiet für Wiesenvögel in Schleswig-Holstein und ganz Deutschland (HÖTKER et al. 2005). Der NABU stuft die Halbinsel mit ihren feuchten Weiden zudem als Feuchtgebiet mit internationaler Bedeutung für Zugvögel laut RAMSAR-Konvention ein. Nachdem zunächst ganz Eiderstedt (ca. 19800 ha) als Vogelschutzgebiet gemeldet werden sollte, wurde

hunderte hinweg wurde Eiderstedt überwiegend extensiv beweidet und zur Heugewinnung genutzt. Bis ins 20. Jh. hinein wurden die Flächen zumeist ausschließlich mit Stallmist gedüngt. Der Tierbesatz war gering, doch aufgrund der fruchtbaren Böden ergab sich ein relativ hoher Ertrag. Daher ist das Landschaftsbild Eiderstedts geprägt von feuchtem Grünland, durchzogen von Gräben und alten Prielten. Typisch für Eiderstedt sind auch die sog. „Gruppen“, parallel verlaufende Entwässerungsfurchen auf den Weiden, die diesen das charakteristische Aussehen von welligen „Beeten“ geben. Tränkekuhlen dienen als Süßwasserreservoir auf den Weiden. Neben Jungviehmast und Milchwirtschaft hat auch die Schafmast einen bedeutenden Anteil auf Eiderstedt. Einhergehend mit neuen Technologien und Bewirtschaftungsmitteln vollzieht

2006 nach heftigen Protesten seitens der Bevölkerung und einem politischen Wechsel in der Landesregierung die zu meldende Fläche auf drei Kernbereiche (Westerhever, Poppenbüll, Kotzenbüll) mit insgesamt 2836 ha vermindert. Die Erhaltungsziele des Schutzgebietsvorschlags belaufen sich auf die Erhaltung der Gebiete als Brut-, Nahrungs- und Rastgebiet. Voraussetzung dafür ist die Erhaltung der Tränkekühen und des Grabennetzes, die Erhaltung des Dauergrünlandanteils sowie eines hohen Anteils von Flächen mit charakteristischem Beet-Gruppen-System. Voraussetzung ist weiterhin, dass keine Absenkung des Wasserstandes unter den derzeitigen Stand erfolgt (MLUR 2006). Die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission bemängelte jedoch die unzureichende Berücksichtigung der Wiesenbrüter durch das schleswig-holsteinische Auswahlkonzept und forderte die Landesregierung auf, bis Ende Mai 2008 weitere Flächen nachzumelden unter Androhung, die Liste bedeutender Vogelgebiete zur weiteren Verfahrensgrundlage zu machen, in der die Halbinsel Eiderstedt mit 13000 ha als potentielles Vogelschutzgebiet genannt wird (SHZ 2008). Auf Anordnung des Ministers für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume trat daher am 7. Juni 2008 die Sicherstellungsverordnung in Kraft, die weitere Teile Eiderstedts vor Handlungen, die „den Charakter des Gebietes verändern können oder dem Schutzzweck zuwiderlaufen“, bewahren soll. Die drei bisherigen Teilflächen sollen nun zusammengefasst werden und auf insgesamt 7000 ha als Landschaftsschutzgebiet anwachsen (AMTSBLATT KREIS NORDFRIESLAND 2008).

Die ansässigen Landwirte hingegen sehen sich im globalen Markt nicht konkurrenzfähig und fürchten Wettbewerbs- und Entwicklungsnachteile durch die Ausweisung ihres Landes als Vogelschutzgebiet. Als Konsequenz daraus wurden Anpassungsmaßnahmen an eine mögliche Schutzgebietsausweisung vorgenommen, bei denen Grünlandumbruch dominiert und somit den eigentlichen Schutzziele bis in die Gegenwart entgegengewirkt wird (HUGO et al. 2006).

## **2 Forschungsansätze**

Derzeit erscheinen die Ziele des Naturschutzes mit der vorherrschenden agrarischen Landnutzung unvereinbar. Aus wissenschaftlicher Sicht ist vor diesem Hintergrund die Frage von Bedeutung, welcher Landnutzungsart im Zweifelsfall der Vorzug zu geben bzw. ob es möglich ist, einen nachhaltigen Umgang mit den begrenzten ökologischen Ressourcen der Region zu erreichen, der in größtmöglichem Maße allen Nutzern gerecht wird.

Die Region Eiderstedt ist wirtschaftlich stark von der Landwirtschaft abhängig und ein flächendeckendes Schutzgebiet hätte weitreichende Folgen für die ansässigen Landwirte. Daher ist es von großer Bedeutung, die ökonomischen Folgen eines Vogelschutzgebietes für die Landwirte zu ermitteln und mögliche

Alternativen der Bewirtschaftung einzuschätzen. Auch der Tourismus lebt von der Landschaft, und es ist in diesem Zusammenhang notwendig, die Landnutzungsänderungen und deren Einfluss auf den Tourismussektor auf Eiderstedt abschätzen. Eine wesentliche Frage ist, ob sich mithilfe von physischen und sozioökonomischen Parametern ein optimales Vogelschutzgebiet finden lässt, welche Größe es haben muss und wo dieses lokalisiert werden kann. Hierbei wird mit beidseitigen Kompromissen zu rechnen sein. Es können verschiedene Szenarien dargestellt werden. Letztendlich soll geklärt werden, ob sich die Parameter mit Hilfe eines dynamischen Entscheidungsmodells verräumlichen lassen, um sowohl positive als auch negative Folgen von Landnutzungsveränderungen für alle Beteiligten besser aufzuzeigen.

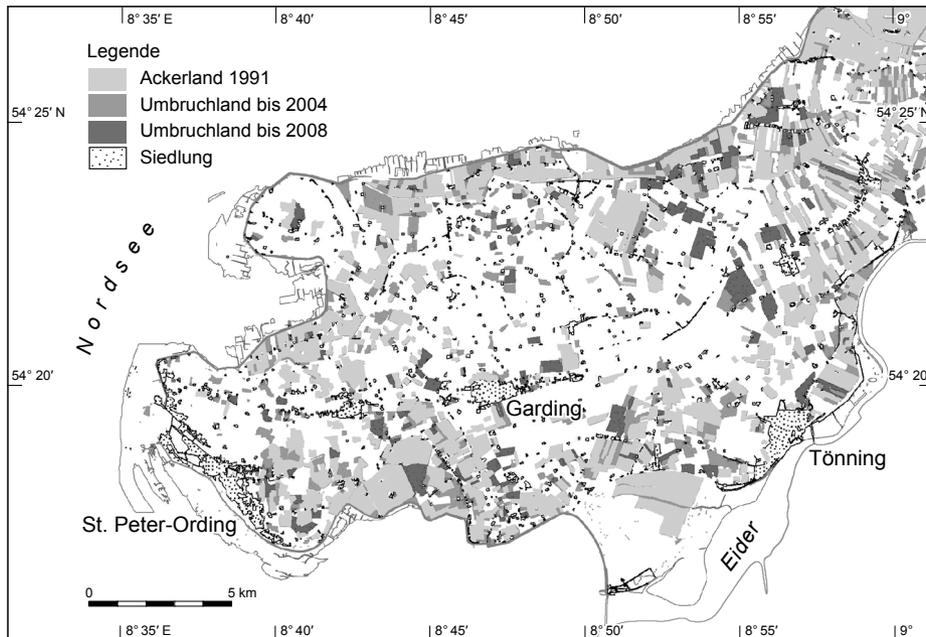
Im Wesentlichen ergibt sich hieraus folgender Forschungsansatz: Zunächst wird die Landnutzungshistorie der Region Eiderstedt rekonstruiert und mit Hilfe von historischen Karten, Beschreibungen und Statistiken bis in die Gegenwart ermittelt. Mit Hilfe von jüngsten Landnutzungsänderungen sowie Aussagen des Bauernverbandes und des NABU werden verschiedene Szenarien zukünftiger Landnutzungsänderungen entworfen und unter Zuhilfenahme eines GIS dargestellt. Die ökologische Qualität der aktuellen Landnutzung und der Szenarien wird anschließend durch Kombination unterschiedlicher ökologischer Parameter des Landscape-Metrics-Konzeptes miteinander verglichen. Auf diese Weise sollen die ökologischen Folgen eines Grünlandverlustes abgeschätzt werden. Zusätzlich werden diese Ergebnisse mit Brutvogeldichten von vier ausgewählten und bedeutenden Wiesenvogelarten Eiderstedts korreliert, um zum einen Zusammenhänge zwischen Landnutzung und den betrachteten Vogelarten zu untersuchen und zum anderen die Folgen von Landnutzungsveränderungen auf Wiesenbrüter quantifizieren zu können. Die Methodik und Ergebnisse der historischen Landnutzungsentwicklung werden in SCHLEUPNER & LINK (2008) dargestellt, weshalb in dieser Studie schwerpunktmäßig auf die jüngsten Veränderungen der Landnutzung einzugehen ist.

Die folgenden Ausführungen geben einen Einblick in erste Forschungsergebnisse und erläutern das methodische Konzept der Verknüpfung eines GIS mit einem dynamischen Optimierungsmodell.

### **3 Jüngste Landnutzungsveränderungen**

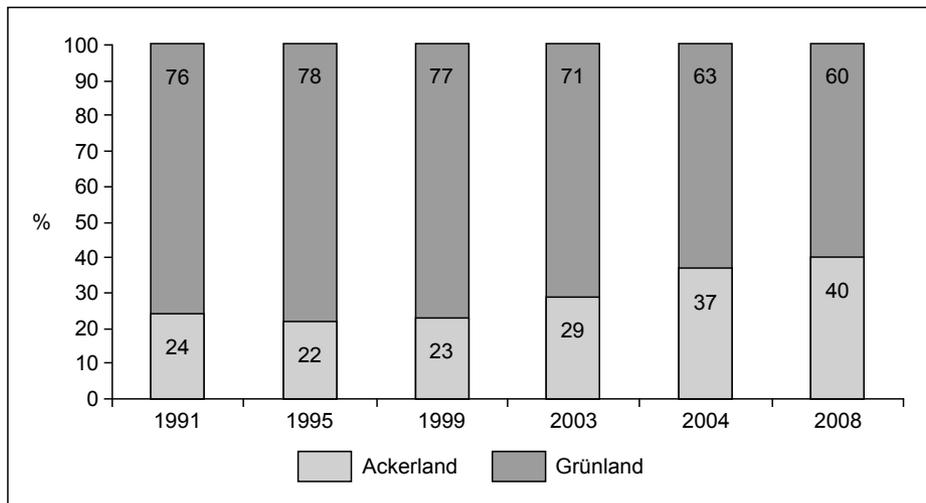
Die Landnutzungsänderungskarte (Abb. 2) verdeutlicht den Verlust von Grünland im Zeitraum von 1991 bis 2008. Für die Analyse wurden die Biotopkartierung von 1991 (LANL 1993), eine Landnutzungskartierung durch das LVERMA-SH (2007) sowie eigene Kartierungen im Frühjahr 2008 herangezogen. Erkennbar ist der verstärkte Grünlandumbruch im Bereich der jüngeren Köge

**Abb. 2: Karte Landnutzungsänderungen 1991, 2004 und 2008**



Quellen: LANL 1993, LVerMA-SH 2007; eigene Kartierungen

**Abb. 3: Verhältnis Ackerland zu Grünland auf Eiderstedt im Zeitraum von 1991 bis 2008**



Quellen: Landnutzungskartierungen aus Abb. 2; ergänzende Angaben des StatLA-SH

in direkter Nähe zur Nordsee sowie im östlichen Eiderstedt. Das Kerngebiet Eiderstedts ist hingegen nur marginal von Grünlandumbruch betroffen, wenngleich auch in der Umgebung von Osterhever Grünlandflächen in Ackerland umgewandelt wurden.

Abbildung 3 gibt das Verhältnis zwischen Ackerfläche und Grünlandfläche während des genannten Zeitraumes an. Während es bis 1995 zu einem leichten Wachstum von Grünland auf Eiderstedt kam, sind seither erhebliche Grünlandverluste zu verzeichnen: 1991 lag der Anteil des Ackerlandes noch bei etwa einem Viertel, doch bis 2008 stieg er auf 40% an. Ein Vergleich der Landnutzungskarten zeigt aber auch neben Grünlandumbruch Tendenzen zu Grünlandansaat auf ehemals umgebrochenen Feldern, die jedoch durch verstärkte Entwässerung und Begradigung des Reliefs gekennzeichnet sind. In der Regel sind diese Neuansaat von Grünland für einige Zeit ökologisch wertlos, was negative ökologische Konsequenzen hat, da diese Flächen als Bruthabitate für Wiesenvögel ungeeignet sind (GRUBER 2006). Durch die intensive Entwässerung geht zudem die ursprüngliche ornithologische Artengemeinschaft verloren (BEINTEMA 1983).

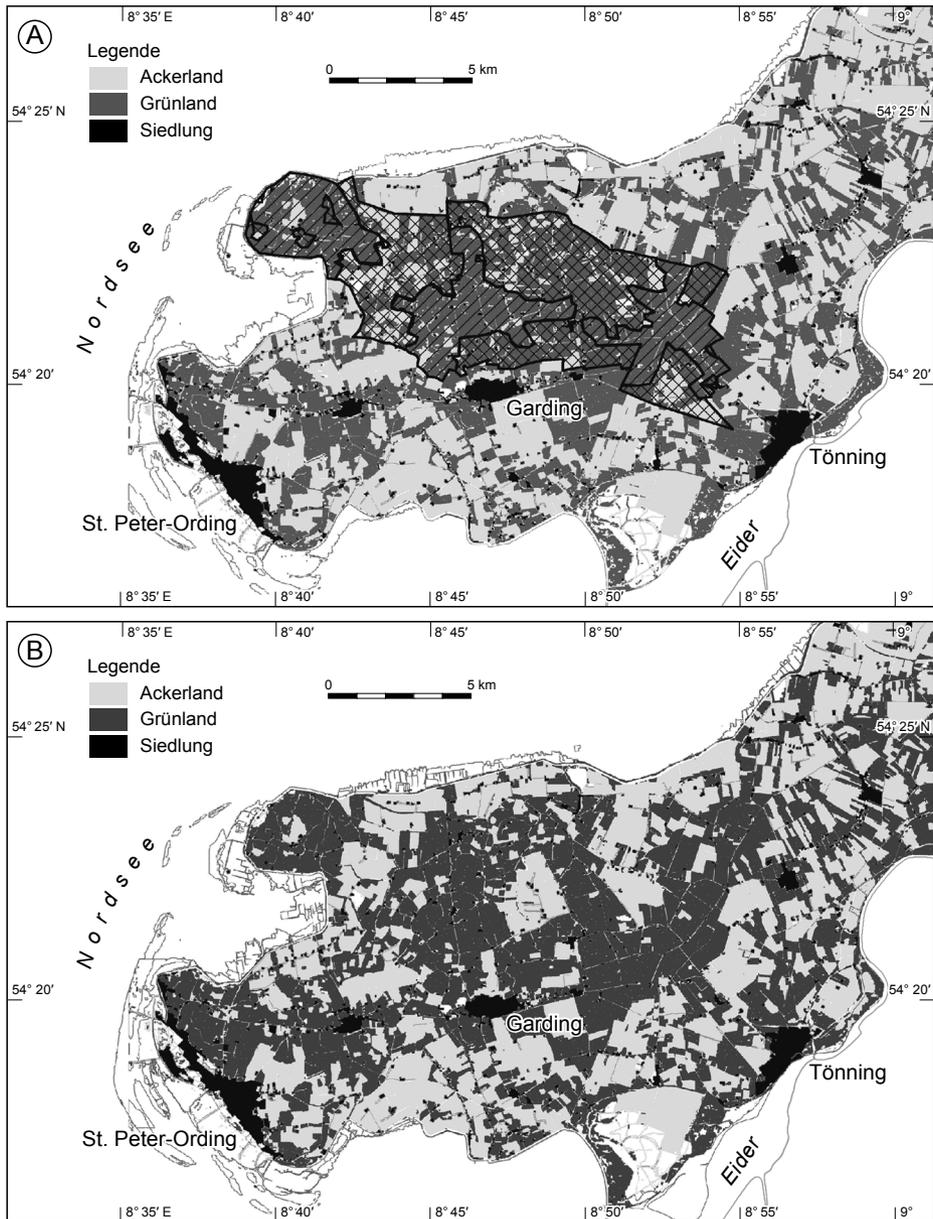
#### **4 Analyse der Habitateignung**

In einer vorangegangenen Studie (SCHLEUPNER & LINK 2008) wurde der Einfluss von Grünlandverlusten auf bedeutende Wiesenbrüter Eiderstedts untersucht. Hierfür wurden sowohl aktuelle als auch historische Landnutzungsveränderungen sowie verschiedene Szenarien des Grünlandumbruchs herangezogen, um durch Habitatbewertungen und deren Korrelation mit Brutvogelkartierungen auf mögliche Folgen in der Habitatqualität und somit der Brutvogeldichte zu schließen.

Die jüngsten Landschaftsveränderungen mit der Sicherstellung von Arealen für die Ausweisung eines erweiterten Vogelschutzgebietes auf Eiderstedt haben die Ausgangssituation gegenüber den bisherigen Untersuchungen deutlich verändert. Deshalb erscheint es zweckmäßig, die entwickelte Methodik (SCHLEUPNER & LINK 2008) unter Berücksichtigung der aktuellen Gebietsabgrenzung und eines fortschreitenden Grünlandumbruchs um weitere 10% zugunsten von Ackerland erneut anzuwenden. Abbildung 4 illustriert das Szenario mit 50% Grünland- und 50% Ackerlandanteil unter zufälliger Selektion der Umbruchflächen (A) außerhalb des ausgewiesenen Schutzgebietes und (B) ohne Berücksichtigung des Vogelschutzgebietes.

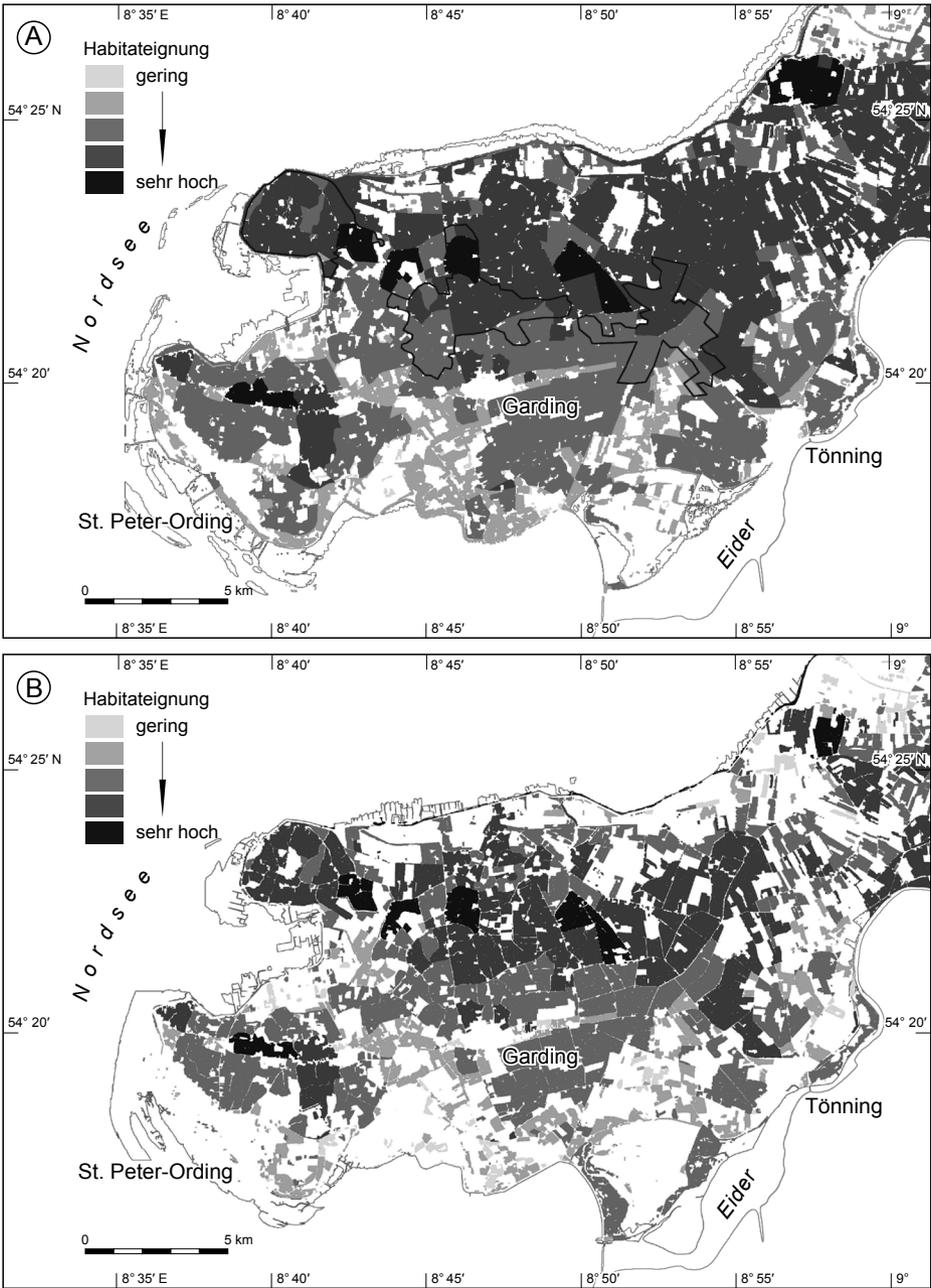
Die Landnutzungskarten bilden die Basis für die anschließende Habitateignungs-Analyse unter Berücksichtigung verschiedener Landschaftsparameter. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Analysen für 2002 und 2008 sowie für beide Szenarien.

**Abb. 4: Szenarien einer Zunahme des Grünlandumbruchs um weitere 10%: A unter Berücksichtigung der neuen Schutzgebietsabgrenzung, B ohne Schutzgebiet**

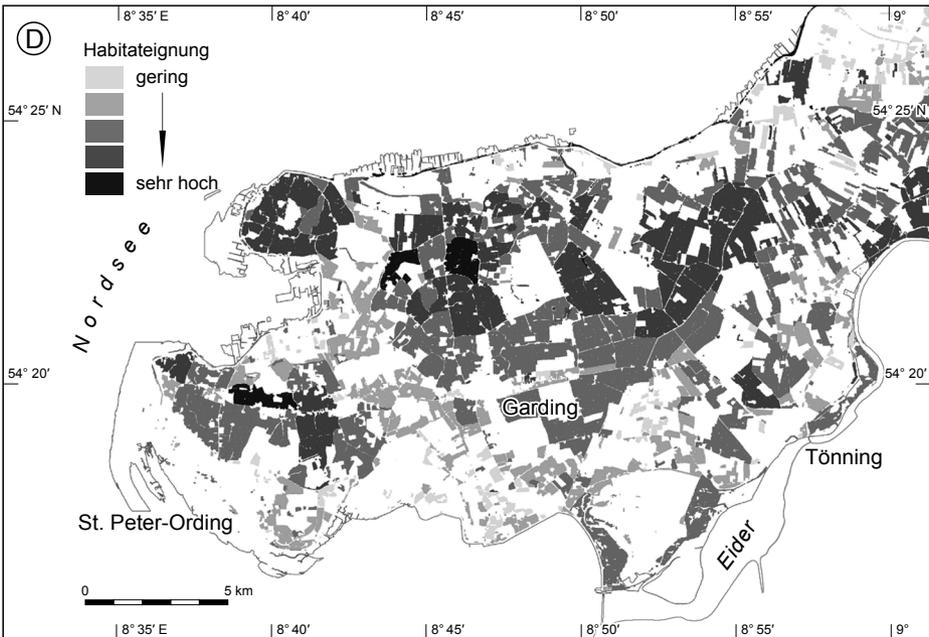
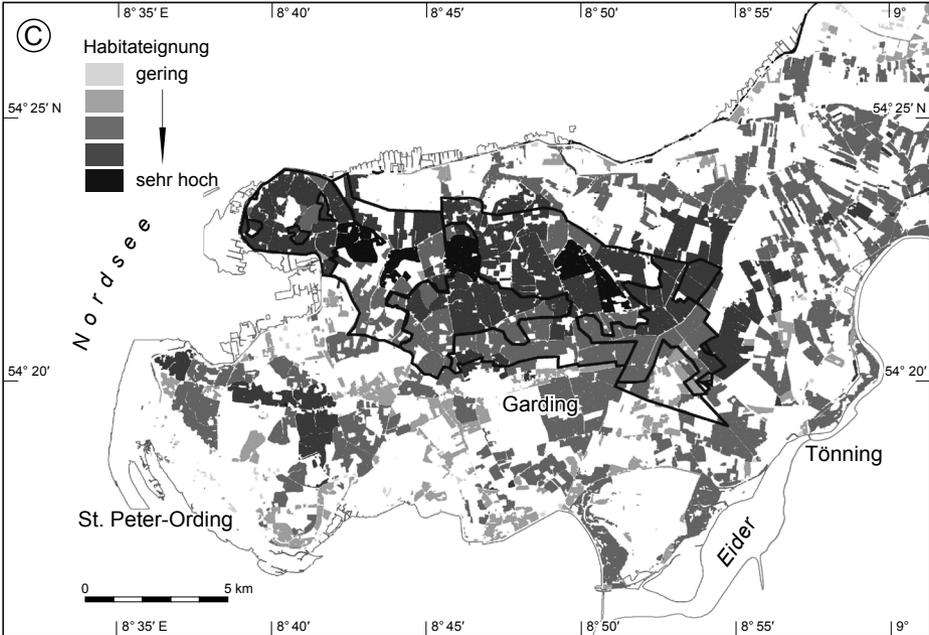


Quellen: Kartengrundlage LVerma-SH; eigene Kartierungen. Räumliche Umsetzung der Szenarien nach SCHLEUPNER & LINK 2008

**Abb. 5: Habitategnung für die Jahre 2002 (A), 2008 (B), für das Szenario mit 50% Grün- ohne Berücksichtigung derselben (D). Quellen: Kartengrundlagen LVerMA-SH 2007;**



**land- und 50% Ackerlandanteil mit Berücksichtigung des Vogelschutzgebietes (C) und eigene Kartierungen. Räumliche Umsetzung der Szenarien nach Schlepupner & Link 2008**



Anhand der Karten lässt sich für beide Szenarien die deutliche Reduzierung der geeigneten Habitatareale der betrachteten Vogelarten identifizieren. Doch nicht nur die absolute Arealgröße wird minimiert, sondern es verändert sich auch die Habitateignung, die hier durch fünf abgestufte Klassen ausgedrückt wird. Besonders dramatisch ist dies im östlichen Eiderstedt festzustellen, wo die Grünlandverluste erheblichen Einfluss auf die verbleibenden Habitate haben.

Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die relative Verteilung der Habitateignungsklassen innerhalb der vier dargestellten Landnutzungsverteilungen aus Abbildung 5. Es wird deutlich, dass bereits zwischen 2002 und 2008 ein erheblicher Verlust an wertvollen Vogelhabitaten stattgefunden hat. Insbesondere Areale mit sehr guter Habitateignung haben sich fast um die Hälfte reduziert, wohingegen Standorte mit sehr geringer Habitateignung exponentiell gestiegen sind. Mit zunehmendem Grünlandverlust, wie es die zwei Szenarien anzeigen, ist mit weiterer Verminderung der Habitateignung zu rechnen. Hierbei wird deutlich, dass die Ausweisung des benannten Vogelschutzgebietes und somit eine Verhinderung weiteren Grünlandumbruchs, durchaus Einfluss auf die Vogelhabitate hat. Ein Vergleich der Szenarien bringt zum Vorschein, dass ohne diese Maßnahme und somit mit zunehmender Fragmentation der Habitate über die gesamte Fläche Eiderstedts auch die Habitateignung zunehmend mit sehr gering bis gering eingestuft werden muss.

Die Habitateignung korreliert in großem Maße mit den Brutvogeldichten der betrachteten Wiesenvogelarten (SCHLEUPNER & LINK 2008). Diese Tatsache ist nicht nur eine gute Validierung der Methodik der Habitateignungsanalyse, sondern kann (unter Vorbehalt) angewendet werden, um mögliche Wiesenvogelpopulationsänderungen aufzuzeigen, die durch Landnutzungsveränderungen verursacht werden. Hierbei wird die Brutvogeldichte pro Hektar für jede Habitateignungsklasse und Wiesenvogelspezies ermittelt und mit den Arealgrößen der Habitateignungsklassen je Szenario multipliziert. Beispielhaft sollen im Folgenden die Ergebnisse für die Uferschnepfe (*Limosa limosa*) und die vier Vogelarten – Austernfischer (*Haematopus ostralegus*), Kiebitz (*Vanellus vanellus*), Rotschenkel (*Tringa totanus*) und Uferschnepfe – gemeinsam betrachtet werden.

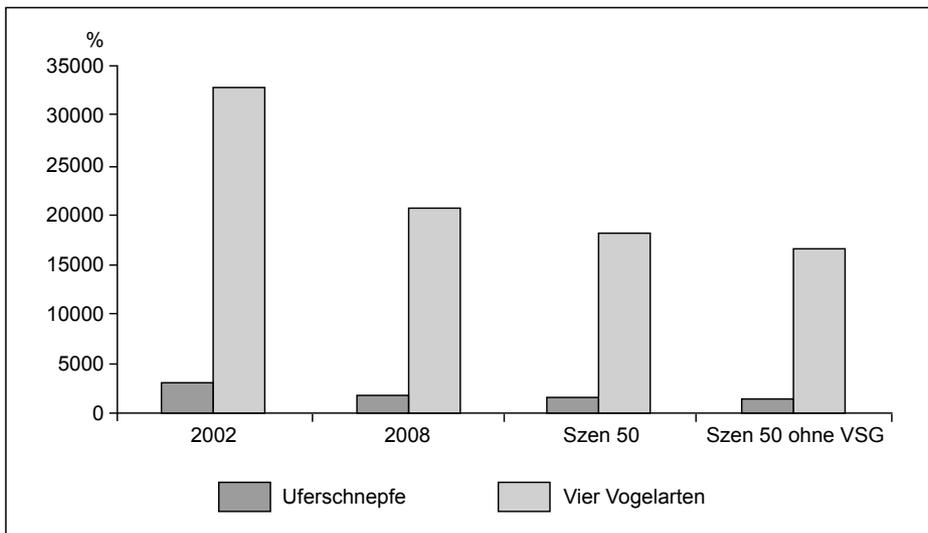
Auch hier wird deutlich, dass sich der größte Verlust an Brutvögeln bereits zwischen 2002 und 2008 vollzogen hat und in den Szenarien weitaus geringere Verluste auftreten (Abb. 7), wobei aufgrund der Habitateignungskriterien auch hier das Szenario mit Vogelschutzgebiet als das günstigere zu beurteilen ist. Aktuelle Untersuchungen zum Vogelbestand auf Eiderstedt unterstützen diese Aussagen. So gab es bis vor kurzem noch eine Trauerseeschwalbenkolonie mit rund 800 Brutpaaren, im Vorjahr wurden nur noch 36 Paare gezählt (INFO NET UMWELT 2008). Ähnlich ist die Situation für Nonnengänse, für die das Grünland

**Abb. 6: Vergleich der Habitateignungsklassenverteilung der vier Landnutzungsverteilungen. Erläuterungen: siehe Text**



Quellen: Analysen der Karten aus Abb. 5

**Abb. 7: Potentielle Brutvogelentwicklung der Uferschnepfe und von vier Vogelarten gemeinsam in Korrelation der Habitateignungsklassen für die vier Landnutzungsverteilungen. Erläuterungen: siehe Text**



Quellen: Brutvogelkartierungen des NABU Bergenhusen; eigene Erhebungen

wertvolle Rast- und Überwinterungsflächen darstellt, wenn sie sich im Winter vorzugsweise binnendeichs aufhalten (SCHUTZSTATION WATTENMEER 2008). Durch den Grünlandumbruch wird der Nutzungsdruck der Gänse auf den verbleibenden Grünlandflächen verschärft.

## **5 Verknüpfung des Geographischen Informationssystems mit einem dynamischen Optimierungsmodell**

Die Auswirkungen eines landwirtschaftlichen Grünlandumbruchs beschränken sich jedoch nicht nur auf die dargestellten Vogelpopulationen. Es ist zu erwarten, dass eine deutliche Veränderung des Landschaftsbildes sich auch auf die anderen Nutzungsarten dieser Küstenregion auswirkt. Um Aussagen darüber treffen zu können, inwieweit die Menschen Eiderstedts und ihre sozio-ökonomischen Strukturen von den Landschaftsveränderungen betroffen sind, ist eine Erweiterung des verwendeten Modellsystems notwendig.

In unseren Analysen der Auswirkungen möglicher Änderungen in der agrarischen Landnutzung auf Eiderstedt wurden bisher lediglich die Zustände der Landschaft in der Gegenwart und im Jahre 2025 auf statische Art und Weise miteinander verglichen. Diese Herangehensweise erlaubt es zwar, die Konsequenzen des Grünlandumbruchs für wichtige Elemente des lokalen Ökosystems, wie in diesem Falle die Brutvogelbestände von Wat- und Wiesenvögeln zu bestimmen. Die Ergebnisse bleiben jedoch in großem Maße von der Parametrisierung der zugrunde liegenden Szenarien abhängig. Da diese Szenarien extern, d.h. außerhalb der Modellumgebung, entwickelt wurden, können die auftretenden Wechselwirkungen und Konflikte zwischen den verschiedenen Landnutzungsarten und -nutzern nicht einbezogen werden. Um die verschiedenen Landnutzungsinteressen miteinander in Relation setzen und gegeneinander abwägen zu können, ist es notwendig, die Entwicklungsszenarien dynamisch zu gestalten. Zur Internalisierung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Akteuren muss das GIS samt seinen Daten mit einem dynamischen Optimierungsmodell verknüpft werden.

Die Notwendigkeit, Modelle zur Optimierung bestimmter Abläufe mit den raumbezogenen Daten aus GIS zu verbinden, wurde schon vor längerer Zeit erkannt. Es gibt bereits einige Ansätze zur Implementierung derartiger Kopplungen. GUERRA & LEWIS (2002) entwickelten eine Methode zur Bestimmung eines optimalen Habitats zur Wiederansiedlung von Wildbeständen. Dabei werden die raumbezogenen Ansprüche an die Landschaftsqualität seitens der anzusiedelnden Bestände mit den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. maximale Budgetierungen bei den Kosten der Ansiedlungsmaßnahmen, in Verbindung gesetzt. In einem ersten Schritt werden in einem linearen Optimierungsmodell in Microsoft Excel die optimalen Habitatcharakteristika wie

Größe und Form, die mit den ökonomischen Vorgaben zu erzielen sind, zusammengestellt. Im GIS werden danach in einem zweiten Schritt die Flächen ermittelt, die am ehesten die berechneten Charakteristika aufweisen.

Aufgrund der einfachen Struktur dieses Optimierungsmodells ist eine externe Lösung einfach zu erzielen und im GIS umzusetzen. Allerdings ist die Nutzung von Excel zur Lösung von Optimierungsproblemen bei höherer Komplexität problematisch, so dass die Nutzung von speziell zur Lösung von Optimierungsaufgaben entwickelter Software wie z.B. GAMS (McCARL 2008) sinnvoll erscheint.

MCKINNEY & CAI (2002) erläutern detailliert, wie eine Verknüpfung zwischen einem GIS und einem Modell zur optimalen Nutzung von Wasserressourcen aussieht. Die konzeptionelle Darstellung basiert auf einem objektorientierten Ansatz, wie er in vielen GIS mittels der integrierten Programmiersprachen vergleichsweise einfach umgesetzt werden kann. In ihrem Beispiel werden vorgegebene Daten zur Raumstruktur und zu Managementrichtlinien aufbereitet und automatisch aus dem GIS heraus an ein in GAMS geschriebenes Optimierungsmodell weitergeleitet, welches die entsprechenden Lösungen generiert. Die Ergebnisse werden danach wieder an das GIS zurückgegeben, das wiederum zur Ausgabe genutzt werden kann. Eine derartige Struktur des Modellverbundes hat den Vorteil, dass zum einen der Datentransfer zwischen dem Optimierungsmodell und dem GIS nicht manuell vollzogen werden muss und zum anderen die Möglichkeit besteht, auf diese Weise iterativ temporale Entwicklungen von Räumen unter bestimmten Rahmenbedingungen zu simulieren.

Insbesondere bei Fragen der Land- bzw. Ressourcennutzung profitiert die Modelluntersuchung von einer integrierten Nutzung dieser beiden unterschiedlichen Modellsysteme, da die Interaktionen zwischen verschiedenen Akteuren in den Untersuchungsgebieten oftmals nichtlinear und dementsprechend schwer vorhersehbar sind. WANG et al. (2004) nutzen Fuzzy Logic, um Datenlücken und Unsicherheiten in Parametergrößen auszugleichen, die insbesondere bei der Einbeziehung von Verhaltensmustern von Entscheidungsträgern auftreten. Diese müssen berücksichtigt werden, da politische Maßnahmen oftmals einen nachhaltigen Einfluss auf die Entwicklungsmuster geographischer Regionen besitzen. Als Beispiel wird ein umfassendes Modell zur Landnutzung in einem Flusseinzugsgebiet in China dargestellt, mit dessen Hilfe eine optimale Verteilung unterschiedlicher Landnutzungsformen im Untersuchungsgebiet ermittelt wird. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für lokale politische Entscheidungen zur weiteren Landnutzungsentwicklung. Die gemeinsame Berücksichtigung von „harten“ (quantifizierbaren) und „weichen“ (regelbasierten) Raumdaten im Optimierungsmodell ist ein wesentlicher Fortschritt gegenüber der oftmals praktizierten Beschränkung auf die gängigen empirisch ermittelbaren „harten“ Daten.

Auch für die Halbinsel Eiderstedt sollen die GIS-Analysen aus LINK & SCHLEUPNER (2007) und SCHLEUPNER & LINK (2008) entsprechend ausgeweitet werden. In den bisherigen Untersuchungen wurde von einem bestimmten Entwicklungsendpunkt ausgegangen, für den die Landnutzungsänderungen und die Auswirkungen auf die ornithologische Fauna in zwei aufeinander folgenden Schritten bestimmt wurden. Die dabei zugrunde liegenden Entwicklungsszenarien wurden im Vorfeld separat auf der Basis möglicher politischer Entwicklungsziele entwickelt und konnten während der Simulationen nicht verändert werden. Politische Entwicklungen sind jedoch immer dynamisch und abhängig von übergeordneten Tendenzen, so dass insbesondere über den betrachteten Zeitraum von mehreren Jahrzehnten Veränderungen und Anpassungen in Entwicklungsstrategien wahrscheinlich sind. Um diesen Veränderungen im Modell Rechnung zu tragen, sind die Erweiterung des GIS und die Einbeziehung eines Optimierungsmodells, das für das Untersuchungsgebiet relevante sozio-ökonomische Prozesse berücksichtigt, notwendig. Die technische Umsetzung der Konstruktion eines geeigneten GIS/Optimierungsmodell-Komplexes wird derzeit vorgenommen.

Da die Einflüsse verschiedener Akteure auf die letztendlich praktizierte Landnutzung äußerst vielschichtig sind und oftmals nicht offensichtliche Feedbackmechanismen aufweisen, wird zur Umsetzung des Optimierungsalgorithmus auf das Softwaresystem GAMS zurückgegriffen. In GAMS ist es möglich, die Attribute der einzelnen Flächen-, Linien- und Punktsegmente aus dem GIS in Datensätzen (so genannten *sets*) zu übernehmen und sie als veränderlich bzw. konstant zu kennzeichnen. Sozioökonomische und ökologische Randbedingungen, wie z.B. maximal verfügbare Landgrößen, ökologische Tragfähigkeiten, Budgets für Umweltschutzmaßnahmen, aber auch variable Erlöse für landwirtschaftliche Produktionsgüter in Abhängigkeit von Erträgen, können in den GAMS-Gleichungen berücksichtigt werden. Unter Einhaltung der in den Gleichungen gegebenen Beschränkungen wird dann eine bestmögliche Landnutzung der Halbinsel ermittelt. Die Ergebnisse werden automatisch in das GIS zurückgeführt, mit dessen Hilfe dann weitere, raumbezogene Analysen vorgenommen werden können.

Ein derartiger Modellaufbau erlaubt es, die Szenarien eines Grünlandumbruchs auf Eiderstedt flexibler zu gestalten. Schließlich ist es für jeden Zeitschritt während der Umsetzung der Landnutzungsänderung möglich, die Konsequenzen z.B. für Wat- und Wiesenvögel zu bestimmen und eventuelle politische Kurskorrekturen in den Modellablauf einzubeziehen. Auf diese Weise kann ermittelt werden, welche agrarischen Flächen umgewandelt werden müssten, damit die Auswirkungen auf die Fauna so gering wie möglich bleiben, ohne jedoch all zu große negative wirtschaftliche Konsequenzen hervorzurufen.

Es ist anzunehmen, dass das Umbruchmuster in einem Szenario mit den geringsten ökologischen Auswirkungen keinen einfachen Regeln folgt und

außerdem in großem Maße von etwaigen politischen Vorgaben, wie z.B. der Ausweisung von speziellen Vogelschutzgebieten, abhängig ist. In diesem Zusammenhang soll der Frage nachgegangen werden, inwiefern die derzeit auf Eiderstedt ausgewiesenen Vogelschutzgebiete Westerhever, Kotzenbüll und Poppenbüll tatsächlich bei der Bestandssicherung bedrohter Brutvogelarten von Nutzen sind. Anhand der vorhandenen Daten zur Landnutzung auf der Halbinsel kann die Lage und räumliche Ausbreitung eines bzw. mehrerer „optimaler“ Vogelschutzgebiete bestimmt werden, wodurch auch die Größen der zu erwartenden Brutvogelbestände in solch einem Falle abgeschätzt werden können. So lässt sich die Effizienz des Artenschutzes überprüfen, indem die Ergebnisse derartiger Simulationen mit den tatsächlichen Bestandsgrößen verglichen werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten eines gekoppelten GIS/Optimierungsmodell-Systems für Eiderstedt beschränken sich jedoch nicht nur auf die Untersuchungen von möglichen Auswirkungen eines Grünlandumbruchs auf Vogelbestände. Durch die Vielschichtigkeit der Landnutzung in dieser Küstenregion, insbesondere aufgrund des nicht zu unterschätzenden Faktors Tourismus, sind Entscheidungen über großflächige und wirtschaftlich weit reichende Veränderungen, wie z.B. der Ansiedlung von Anlagen zur Erzeugung von Bioenergie, mit äußerster Umsicht zu fällen. In dem Optimierungsmodell können die unterschiedlichen Managementstrategien der verschiedenen Akteure miteinander in Verbindung gesetzt und gegeneinander abgewogen sowie die Auswirkungen der sich ergebenden Verflechtungen detailliert untersucht werden, ohne dass man sich auf die begrenzte Menge empirisch erhobener Daten über diese Region beschränken muss. Ein funktionierendes gekoppeltes System der beiden unterschiedlichen Modelltypen kann Entscheidungsträgern eine weitere wichtige Grundlage an die Hand geben, aufgrund derer sie langfristig strategisch richtige Entscheidungen für diese bei Touristen beliebte, aber ökologisch sensible Region fällen können.

## **6 Schlussbemerkungen**

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass ein Grünlandumbruch Folgen für die Habitateignung von Wiesenbrütern hat, die nicht nur in absoluten Flächenverlusten zu messen sind, sondern sich auch in einer Verminderung der Habitatqualität auf den verbleibenden Arealen niederschlagen. Die dramatischsten Änderungen diesbezüglich haben sich bereits bis 2008 vollzogen, die untersuchten Szenarien führen den Trend in vermindertem Maße fort. Hierbei verhindert die Ausweisung eines weiteren Vogelschutzgebietes durchaus neuerliche Verluste der Habitateignung und somit der Anzahl der Wiesenbrüter. Inwiefern sich die jüngste Ausweisung weiterer Schutzgebiete als sinnvolle Maßnahme zur Be-

standssicherung bedrohter Brutvogelbestände herausstellt, bleibt abzuwarten. Mit Hilfe eines gekoppelten GIS-Optimierungsmodell-Systems ist es jedoch möglich, Aussagen über die zu erwartende Effektivität dieses politischen Handelns zu treffen. Dies ist Gegenstand der nächsten geplanten Untersuchungen.

Darüber hinaus sollen das Modellsystem und die verwendeten Szenarien qualitativ verbessert werden, indem weitere sozio-ökonomische Aspekte der Landnutzung berücksichtigt werden. Grundlage der Parametrisierungen sollen die Ergebnisse von Umfragen und Aussagen zur Landschaftsentwicklung sein, die in Zusammenarbeit mit der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn mittels partizipativer Gestaltung erhoben werden. Schwerpunkte der Untersuchungen bilden die Wirtschaft Eiderstedts, insbesondere die Landwirtschaft, die Energieversorgung und der Tourismus, die auf der Halbinsel die dominanten Wirtschaftsfaktoren darstellen. Ein erweitertes Modellsystem, das die verschiedenen Landnutzungsaspekte und deren Auswirkungen auf die Umwelt integriert, ist dann ein mögliches Hilfsmittel für Entscheidungsträger, die oftmals konträren Ansprüche an die ökologisch sensible Region Eiderstedt miteinander in Einklang zu bringen und eine bestmögliche Nutzung der limitierten Ressourcenmenge dieser Landschaft zu erzielen.

## Dank

Die vorliegende Studie leistet einen Beitrag zum EU-geförderten GEOBENE-Projekt (<http://www.geo-bene.eu/>). Sie wird zudem unterstützt von der Max Planck Research School on Earth System Modelling (<http://www.earthsystem-school.mpg.de/>).

## Literatur

- AMTSBLATT KREIS NORDFRIESLAND (2008): Verordnung zur einstweiligen Sicherstellung des geplanten Landschaftsschutzgebietes „Halbinsel Eiderstedt“ vom 6. Juni, Ausgabe 18, Husum.
- BEINTEMA, A.J. (1983): Meadow birds as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 3: 391-398.
- GRUBER, S. (2006): Habitatstrukturen in Nahrungsrevieren jungführender Kiebitze (*Vanellus vanellus* L.) und deren Einfluss auf die Reproduktion. Dissertation Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel.
- GUERRA, G. & J. LEWIS (2002): Spatial optimization and GIS – Locating an optimal habitat for wildlife reintroduction. *ArcUser* April-June: 32-34.
- 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.

- HUGO, A. von, R.A.E. MÜLLER & P.Th. HANSEN (2006): Vogelschutz auf Eiderstedt: Chance oder Bedrohung für die Landwirtschaft? [http://www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/II/PDFs/HT\\_2006.pdf](http://www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/II/PDFs/HT_2006.pdf)
- INFO NET UMWELT (2008): <http://www.umwelt.schleswig-holstein.de> (Zugriff: 25. Juni 2008).
- LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE SCHLESWIG-HOLSTEIN (LANL) (1993): Landesweite Biotopkartierung – Kreis Nordfriesland. Kiel.
- LANDESVERMESSUNGSAMT SCHLESWIG-HOLSTEIN (LVermA-SH) (2007): Digitale Topographische Karte 1:25000 – Vorläufige Ausgabe (DTK25-V) of 2002: 1518, 1519, 1617, 1618, 1619, 1717, 1718, 1719.
- LINK, P.M. & Ch. SCHLEUPNER (2007): Agricultural land use changes in Eiderstedt – historic developments and future plans. *Coastline Reports* 9: 197-206.
- MCCARL, B.A., A. MEERAUS, P. VAN DER EIJK, M. BUSSIECK, S. DIRKSE & P. STEACY (2008): *McCarl GAMS User Guide – Version 22.7*. Washington, DC.
- McKINNEY, D.C. & X. CAI (2002): Linking GIS and water resources management models – an object-oriented method. *Environmental Modelling & Software* 17: 413-425.
- 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) (Zugriff: 25. Juni 2007).
- NEHLS, G. (2007): Blauer Brief für schlechten Grünlandschutz. *Betrifft: Natur* 04: 8-9.
- SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER ZEITUNGSVERLAG (SHZ) (2008): Neuer Ärger um Vogelschutz auf Eiderstedt. 8.5. – [www.shz.de](http://www.shz.de) (Zugriff: 20. Juli 2008).
- SCHLEUPNER, Ch. & P.M. LINK (2008): Potential impacts on bird habitats in Eiderstedt (Schleswig-Holstein) caused by agricultural land use changes. *Applied Geography* doi: 10.1016/j.apgeog.2008.04.001.
- SCHUTZSTATION WATTENMEER (2008): Nonnengänse überwintern am Wattenmeer. <http://www.schutzstation-wattenmeer.de/aktuell/2008> Ausgabe vom 05.02.2008 (Zugriff: 30. Juni 2008).
- WANG, X., S. YU & G.H. HUANG (2004): Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning* 66: 61-74.

---

Dipl.-Geogr. Christine Schleupner  
 Universität Hamburg  
 Forschungsstelle Nachhaltige Umwelt-  
 entwicklung  
 Bundesstrasse 55  
 D-20146 Hamburg  
[christine.schleupner@zmaw.de](mailto:christine.schleupner@zmaw.de)

Dr. Peter Michael Link  
 Universität Hamburg  
 Forschungsstelle Nachhaltige Umwelt-  
 entwicklung  
 Bundesstrasse 55  
 D-20146 Hamburg