

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

## Working Paper FNU-168

Christine Schleupner <sup>a,b</sup> & P. Michael Link <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Research Unit Sustainability and Global Change, Hamburg University and Center for Marine and Atmospheric Sciences, Hamburg, Germany

<sup>b</sup> International Max-Planck Research School on Earth System Modelling, Hamburg, Germany

*Correspondence to C. Schleupner:*

*Tel. +49 (40) 42838-7071*

*Fax +49 (40) 42838-7009*

*eMail: christine.schleupner@zmaw.de*

*Correspondence to P.M. Link:*

*Tel. +49 (40) 42838-7078*

*Fax +49 (40) 42838-7009*

*eMail: michael.link@zmaw.de*

### 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

Eiderstedt ist eine Halbinsel an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste mit einem sich nach Südosten erstreckenden Geestrücken, die durch die Eider im Süden und Husum im Norden begrenzt ist. Über Jahrhunderte hinweg wurde Eiderstedt überwiegend extensiv beweidet und das Land 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 Weideland, durchzogen von Gräben und alten Prielen. Typisch für Eiderstedt sind auch die sog. „Grüppen“, parallel verlaufende Entwässerungsfurchen auf den Weiden, die diesen das charakteristische Aussehen von welligen „Beeten“ geben. Tränkekühen 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 sich jedoch in jüngster Zeit ein Umbruch hin zu Mastfutteranbau und ganzjähriger

Stallhaltung sowie zu intensiverer Milchviehhaltung mit bedeutenden Veränderungen nicht nur für das Landschaftsbild.



**Abb. 1:** „Gott schuf das Meer, der Frieße die Küste“; dieser Text, einem Plakat bei Westerhever entnommen, ist nicht nur Zeichen des Protestes gegen die Ausweisung von Schutzgebieten im Raum Eiderstedt, sondern er offenbart auch einen Blick darauf, wie die ortsansässigen Landwirte die sie umgebende und von ihnen gestaltete Landschaft wahrnehmen.

Die veränderten Bewirtschaftungsformen führen zu einem massiven Grünlandumbruch in der Region. Dies beinhaltet neben dem Verlust von Grüppen, Gräben und Tränkekuhlen 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 seinen 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 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 Tränkekuhlen 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 diesen Jahres 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 (VON HUGO et al. 2006).

## **2 Forschungsansätze**

Derzeit erscheinen die Ziele des Naturschutzes mit der vorherrschenden agrarischen Landnutzung unvereinbar zu sein. Aus wissenschaftlicher Sicht ist vor diesem Hintergrund die Frage von Bedeutung, welcher Landnutzungsart im Zweifelsfall der Vorzug zu geben ist 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 abzuschätzen. 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 verräumen lassen, um sowohl positive als auch negative Folgen von Landnutzungsveränderungen für alle Beteiligten besser aufzeigen zu können.

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 zu Hilfenahme eines GIS verräumt. 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 U. LINK (2008) dargestellt, weshalb in dieser Studie schwerpunktmäßig auf die jüngsten Veränderungen der Landnutzung eingegangen wird.

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

Eine 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 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.

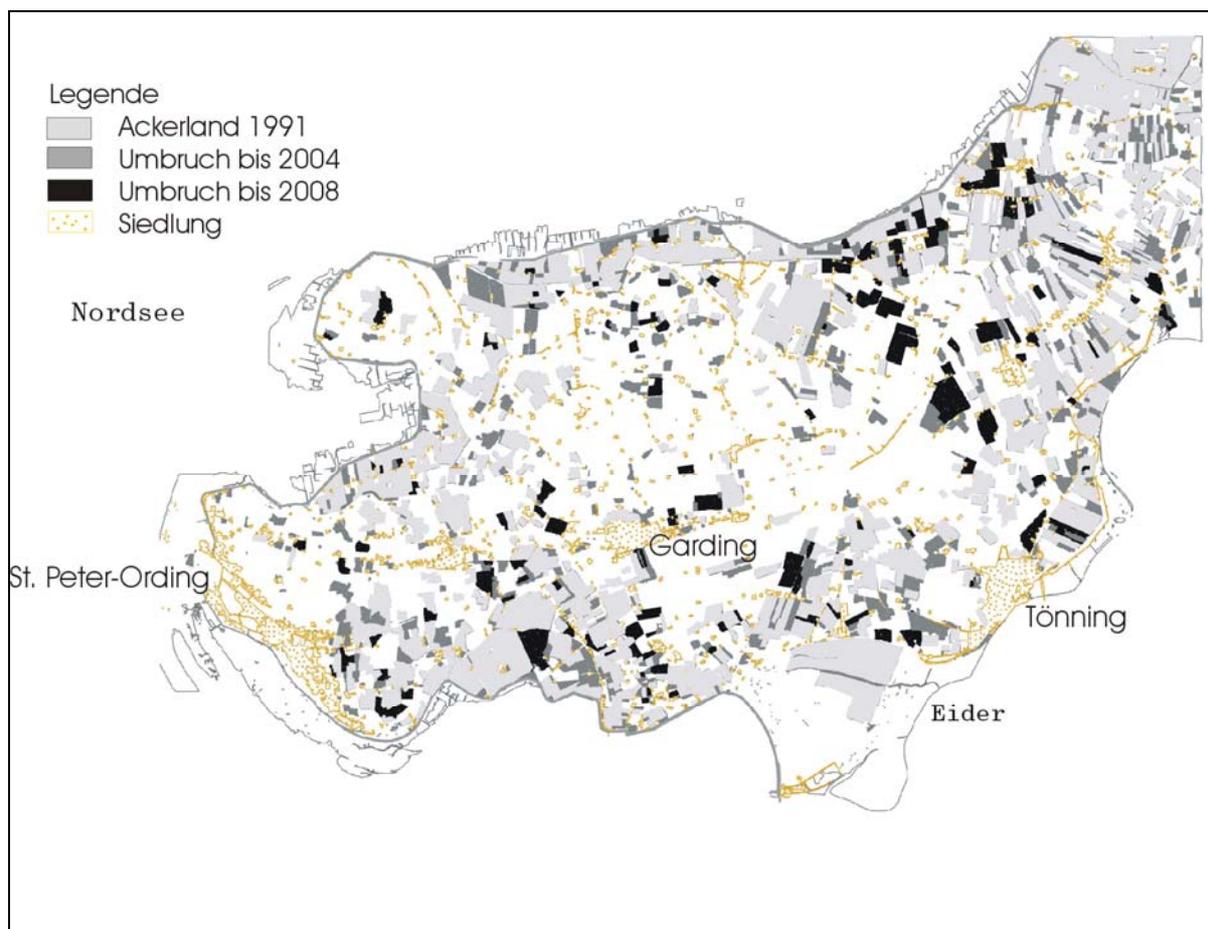
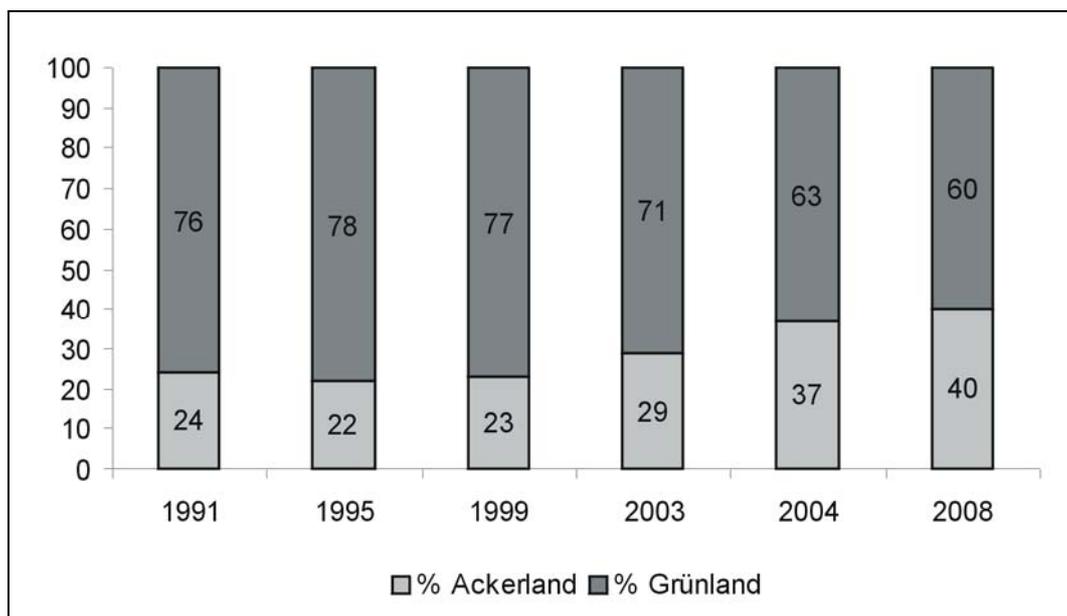


Abb. 2: Karte Landnutzungsänderungen 1991, 2004 und 2008

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 dieser 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).

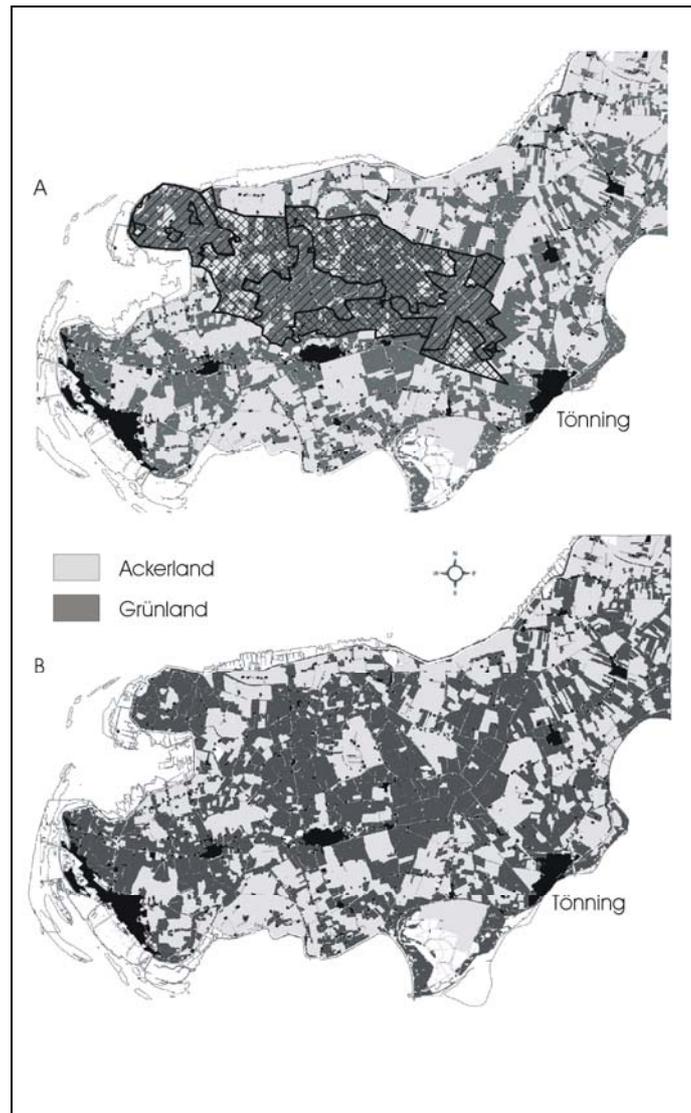


**Abb. 3:** Verhältnis Ackerland zu Grünland auf Eiderstedt im Zeitraum von 1991 bis 2008.

#### 4 Analyse der Habitataignung

In einer vorangegangenen Studie (SCHLEUPNER U. 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 U. 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 Umbruchsflächen (a) außerhalb des ausgewiesenen Schutzgebietes und (b) ohne Berücksichtigung des Vogelschutzgebietes.



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

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.

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 auch die Habitateignung, die hier durch fünf abgestufte Klassen ausgedrückt wird, verändert sich. Besonders dramatisch ist dieses im östlichen Eiderstedt festzustellen, wo die Grünlandverluste erheblichen Einfluss auf die verbleibenden Habitate haben.

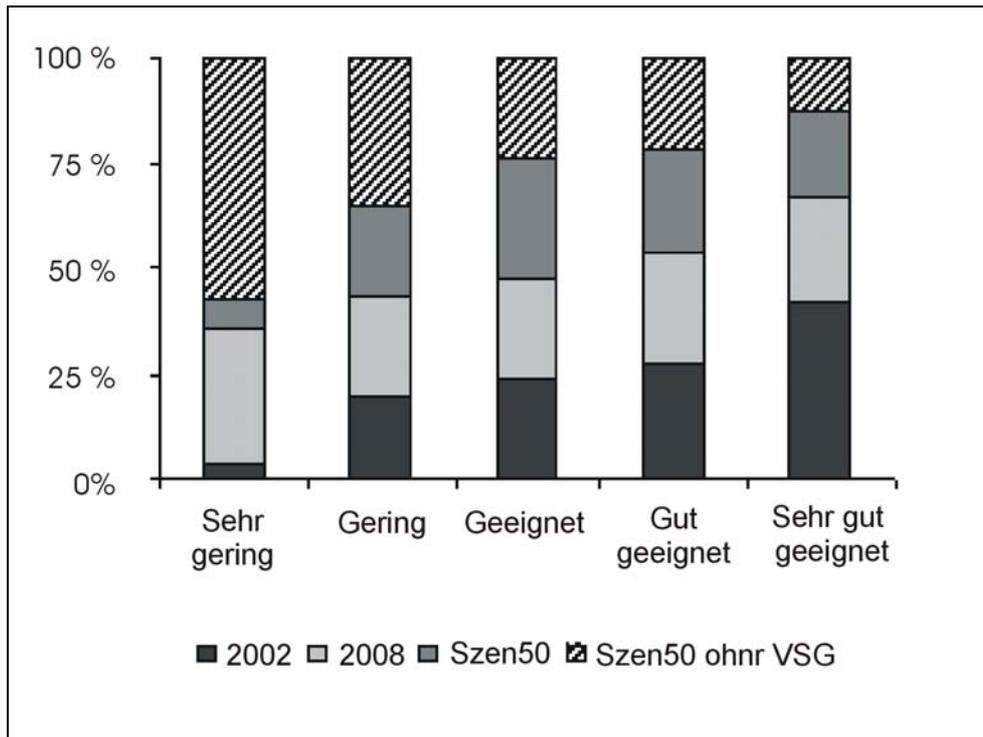
Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die relative Verteilung der Habitateignungsklassen innerhalb der vier dargestellten Landnutzungsverteilungen aus Abbildung 5. Es wird deutlich, dass bereits ein erheblicher Verlust an wertvollen Vogelhabitaten zwischen 2002 und 2008 stattgefunden hat. Insbesondere 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 zeigt sich, 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.

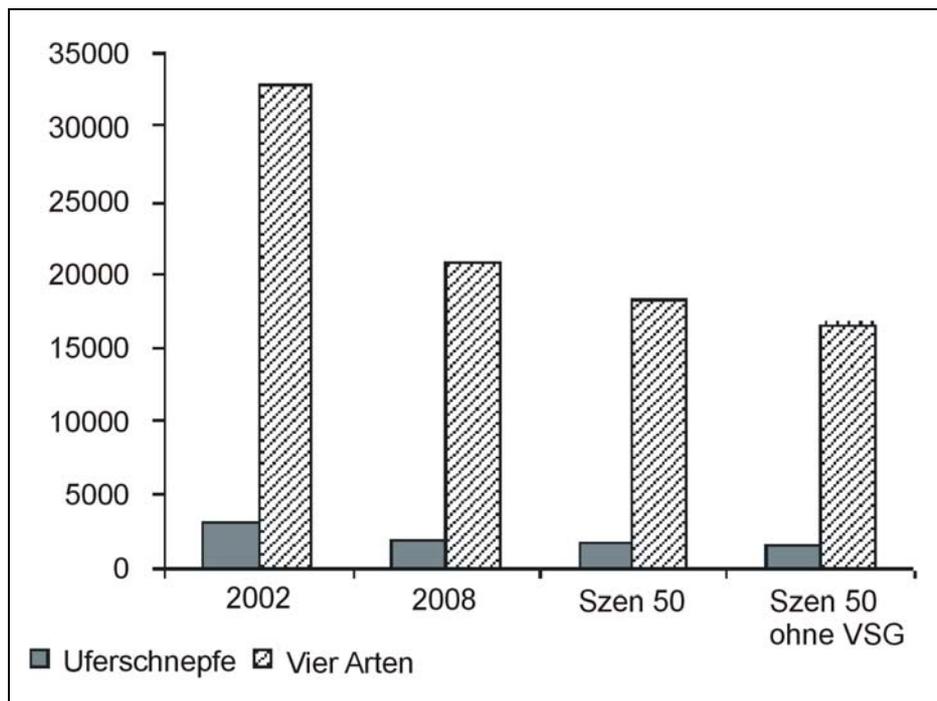


**Abb. 5:** Habitateignung für: A 2002, B 2008, C Szenario 50% mit VSG, D Szenario 50% ohne VSG.

Die Habitateignung korreliert in großem Maße mit den Brutvogeldichten der betrachteten Wiesenvogelarten (SCHLEUPNER U. 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 der vier Vogelarten (Austernfischer (*Haematopus ostralegus*), Kiebitz (*Vanellus vanellus*), Rotschenkel (*Tringa totanus*) und Uferschnepfe) gemeinsam betrachtet werden.



**Abb. 6:** Vergleich der Habitateignungsklassenverteilung der vier Landnutzungsverteilungen.



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

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 (INFONET UMWELT 2008). Ähnlich ist die Situation für Nonnengänse, für die das Grünland wertvolle Rast- und Überwinterungsflächen darstellt, wenn sie im Winter vorzugsweise binnendeichs überwintern (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 diese 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 und seine 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 U. LEWIS (2002) entwickeln 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 U. CAI (2002) erläutern detailliert, wie eine Verknüpfung zwischen einem GIS und einem Modell zur optimalen Nutzung von Wasserressourcen aussehen kann. 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 weitergegeben, 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 den vorgegebenen 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 die 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. Es wird als Beispiel 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 U. SCHLEUPNER (2007) und SCHLEUPNER U. 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 durchgeführt 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 Umbruchsmuster 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 Poppenüll tatsächlich zur Bestandssicherung bedrohter Brutvogelarten nützen. 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 kann die Effizienz des Artenschutzes überprüft werden, 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 dieser zwei unterschiedlichen Modelltypen kann Entscheidungsträgern eine weitere wichtige Grundlage an die Hand geben, aufgrund derer sie langfristig strategisch richtige Entscheidungen für diese beliebte, aber doch ökologisch sensible Region fällen können.

## **6 Schlussbemerkungen**

Die Ergebnisse der vorangegangenen 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 weitere Verluste der Habitateignung und somit der Anzahl der Wiesenbrüter. Inwiefern sich die jüngste Ausweisung weiterer Schutzgebiete als sinnvolle Maßnahme zur Bestandssicherung bedrohter Brutvogelbestände herausstellt, bleibt abzuwarten. Mit Hilfe eines gekoppelten GIS-Optimierungsmodell-Systems ist es jedoch möglich, Aussagen über die zu erwartende Effektivität dieser politischen Handlung 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

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

## Literatur

- AMTSBLATT KREIS NORDFRIESLAND (6.Juni 2008): Verordnung zur einstweiligen Sicherstellung des geplanten Landschaftsschutzgebietes „Halbinsel Eiderstedt“ vom 6.6.2008. 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.
- GUERRA, G. & J. LEWIS (2002): Spatial Optimization and GIS – Locating an Optimal Habitat for Wildlife Reintroduction. ArcUser April-June 2002: 32-34.
- HÖTKER, H., KÖSTER, H. & THOMSEN, K.M. (2005): Wiesenvögel auf Eiderstedt und in der Eider-Treene-Sorge Niederung/Schleswig-Holstein im Jahre 2001. Corax 20: 1-17.
- INFONET UMWELT (2008): <http://www.umwelt.schleswig-holstein.de> (last visited June 25, 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. & C. 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) (last visited June 25, 2007).
- NEHLS, G. (2007): Blauer Brief für schlechten Grünlandschutz. *Betrifft: Natur 04/07*: 8-9.
- SCHLEUPNER C. & 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 (last visited June 30, 2008).
- SHZ (Schleswig-Holsteinischer Zeitungsverlag) (8.5.2008): Neuer Ärger um Vogelschutz auf Eiderstedt. [www.shz.de](http://www.shz.de) (last visited July 20, 2008)
- VON HUGO, A., MÜLLER RAE & HANSEN PT (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)
- 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.

**Working Papers**  
**Research Unit Sustainability and Global Change**  
**Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science**

- Schleupner, C. and P.M. Link (2008), *Eiderstedt im Spannungsfeld zwischen Naturschutz- und Agrarpolitik - Entwicklung eines methodischen Ansatzes für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement in ökologisch sensiblen Regionen*, **FNU-168** (submitted)
- Sauer, T., P.M. Link and U.A. Schneider (2008), *The role of water resources in agricultural land use modeling: an extension of the land use model KLUM*, **FNU-167**
- Meier, H. and K. Rehdanz (2008), *Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Great Britain*, **FNU-166** (submitted)
- Link, P.M., C.I. Ramos, U.A. Schneider, E. Schmid, J. Balkovic and R. Skalsky (2008), *The interdependencies between food and biofuel production in European agriculture - an application of EUFASOM*, **FNU-165** (submitted)
- Schneider, U.A. and P. Smith (2008), *Greenhouse Gas Emission Mitigation and Energy Intensities in Agriculture*, **FNU-164** (submitted)
- Maddison, D. and K. Rehdanz (2008), *Carbon Emissions and Economic Growth: Homogeneous Causality in Heterogeneous Panels*, **FNU-163** (submitted)
- Osmani, D. and R.S.J. Tol (2008), *Evolution in time of Farsightedly Stable Coalitions: An Application of FUND*, **FNU-162** (submitted)
- Schneider U.A., P. Havlik, E. Schmid, I. Huck, M. Obersteiner, T. Sauer, C. Llull, R. Skalsky, J. Balkovic, S. Fritz, B. Dorin, and S. Leduc (2008), *Global interdependencies between population, water, food, and environmental policies*, **FNU-161** (submitted)
- Calzadilla, A, K. Rehdanz and R.S.J. Tol (2008), *Water Scarcity and the Impact of Improved Irrigation Management: A CGE Analysis*, **FNU-160** (submitted)
- Schleupner, C. and U.A. Schneider (2008), *A cost-effective spatial wetland site-selection model for European biotope restoration*, **FNU-159** (submitted)
- Schleupner, C. and U.A. Schneider (2008), *Evaluation of European wetland restoration potentials by considering economic costs under different policy options*, **FNU-158** (submitted)
- Bigano, A., J.M. Hamilton and R.S.J. Tol (2008), *Climate Change and Tourism in the Mediterranean*, **FNU-157** (submitted).
- Schneider U.A., J. Balkovic, S. De Cara, O. Franklin, S. Fritz, P. Havlik, I. Huck, K. Jantke, A.M.I. Kallio, F. Kraxner, A. Moiseyev, M. Obersteiner, C.I. Ramos, C. Schleupner, E. Schmid, D. Schwab, R. Skalsky (2008), *The European Forest and Agricultural Sector Optimization Model – EUFASOM*, **FNU-156**.
- Schneider, U.A. and P. Kumar (2008), *Greenhouse Gas Emission Mitigation through Agriculture*, **FNU-155**.
- Tol, R.S.J. and S. Wagner (2008), *Climate Change and Violent Conflict in Europe over the Last Millennium*. **FNU-154** (submitted).
- Schleupner, C. (2007), *Regional Spatial Planning Assessments for Adaptation to accelerated sea level rise – an application to Martinique’s coastal zone*. **FNU-153** (submitted).
- Schleupner, C. (2007). *Evaluating the Regional Coastal Impact Potential to Erosion and Inundation caused by Extreme Weather Events and Tsunamis*. **FNU-152** (submitted).
- Rehdanz, K. (2007), *Species diversity and human well-being: A spatial econometric approach*, **FNU-151** (submitted).
- Osmani, D. and R.S.J. Tol (2007), *A short note on joint welfare maximization assumption*, **FNU-150** (submitted).
- Osmani, D. and R.S.J. Tol (2007), *Towards Farsightedly Stable International Environmental Agreements: Part Two*, **FNU-149** (submitted).
- Ruane, F.P. and R.S.J. Tol (2007), *Academic Quality, Power and Stability: An Application to Economics in the Republic of Ireland*, **FNU-148** (submitted).
- Tol, R.S.J. (2007), *A Rational, Successive g-Index Applied to Economics Departments in Ireland*, **FNU-147** (forthcoming, *Journal of Informetrics*).
- Tol, R.S.J. (2007), *Of the h-Index and its Alternatives: An Application to the 100 Most Prolific Economists*, **FNU-146** (forthcoming, *Scientometrics*).
- Yohe, G.W. and R.S.J. Tol (2007), *Precaution and a Dismal Theorem: Implications for Climate Policy and Climate Research*, **FNU-145** (submitted).
- Tol, R.S.J. (2007), *The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes*, **FNU-144** (submitted, *economics*).
- Tol, R.S.J. (2007), *The Matthew Effect Defined and Tested for the 100 Most Prolific Economists*, **FNU-143** (submitted, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*).
- Berritella, M., K. Rehdanz, R.S.J. Tol and J. Zhang (2007), *The Impact of Trade Liberalisation on Water Use: A Computable General Equilibrium Analysis*, **FNU-142** (forthcoming, *Journal of Economic Integration*).
- Lyons, S., K. Mayor and R.S.J. Tol (2007), *Convergence of Consumption Patterns during Macroeconomic Transition: A Model of Demand in Ireland and the OECD*, **FNU-141** (submitted).
- Osmani, D. and R.S.J. Tol (2007), *Towards Farsightedly Stable International Environmental Agreements*, **FNU-140** (submitted).
- Rehdanz, K. and S. Stöwhase (2007), *Cost Liability and Residential Space Heating Expenditures of Welfare Recipients in Germany*, **FNU-139** (submitted).
- Schleupner, C. and P.M. Link (2007), *Potential impacts on bird habitats in Eiderstedt (Schleswig-Holstein) caused by agricultural land use changes*, **FNU-138** (*Applied Geography*, doi: 10.1016/j.apgeog.2008.04.001).

Link, P.M. and C. Schlepner (2007), *Agricultural land use changes in Eiderstedt: historic developments and future plans*, **FNU-137** (*Coastline Reports*, **9**, 197-206).

Anthoff, D., R.J. Nicholls and R.S.J. Tol (2007), *Global Sea Level Rise and Equity Weighting*, **FNU-136** (submitted).

Schlepner, C. (2007), *Wetland Distribution Modelling for Optimal Land Use Options in Europe*, **FNU-135** (submitted).

Mayor, K. and R.S.J. Tol (2007), *The Impact of the EU-US Open Skies Agreement on International Travel and Carbon Dioxide Emissions*, **FNU-134** (*Journal of Air Transport Management*, **14**, 1-7).

Schneider, U.A., M. Obersteiner, and E. Schmid (2007), *Agricultural adaptation to climate policies and technical change*, **FNU-133** (submitted).

Lychnaras, V. and U.A. Schneider (2007), *Dynamic Economic Analysis of Perennial Energy Crops - Effects of the CAP Reform on Biomass Supply in Greece*, **FNU-132** (submitted).

Mayor, K. and R.S.J. Tol (2007), *The Impact of the UK Aviation Tax on Carbon Dioxide Emissions and Visitor Numbers*, **FNU-131** (*Transport Policy*, **14** (6), 407-513).

Ruane, F. and R.S.J. Tol (2007), *Refined (Successive) h-indices: An Application to Economics in the Republic of Ireland*, **FNU-130** (forthcoming, *Scientometrics*).

Yohe, G.W., R.S.J. Tol and D. Murphy (2007), *On Setting Near-Term Climate Policy as the Dust Begins to Settle: The Legacy of the Stern Review*, **FNU-129** (*Energy & Environment*, **18** (5), 621-633).

Maddison, D.J. and K. Rehdanz (2007), *Happiness over Space and Time*, **FNU-128** (submitted).

Anthoff, D. and R.S.J. Tol (2007), *On International Equity Weights and National Decision Making on Climate Change*, **FNU-127** (submitted).

de Bruin, K.C., R.B. Dellink and R.S.J. Tol (2007), *AD-DICE: An Implementation of Adaptation in the DICE Model*, **FNU-126** (submitted, *Climatic Change*).

Tol, R.S.J. and G.W. Yohe (2007), *The Stern Review: A Deconstruction*, **FNU-125** (submitted).

Keller, K., L.I. Miltich, A. Robinson and R.S.J. Tol (2007), *How Overconfident Are Current Projections of Anthropogenic Carbon Dioxide Emissions?*, **FNU-124** (submitted, *Energy Journal*).

Cowie, A., U.A. Schneider and L. Montanarella (2006), *Potential synergies between existing multilateral environmental agreements in the implementation of Land Use, Land Use Change and Forestry activities*, **FNU-123** (submitted).

Kuik, O.J., B. Buchner, M. Catenacci, A. Goria, E. Karakaya and R.S.J. Tol (2006), *Methodological Aspects of Recent Climate Change Damage Cost Studies*, **FNU-122** (forthcoming, *Climate Policy*).

Anthoff, D., C. Hepburn and R.S.J. Tol (2006), *Equity Weighting and the Marginal Damage Costs of Climate Change*, **FNU-121** (submitted, *Ecological Economics*).

Tol, R.S.J. (2006), *The Impact of a Carbon Tax on International Tourism*, **FNU-120** (*Transportation Research D: Transport and the Environment*, **12** (2), 129-142).

Rehdanz, K. and D.J. Maddison (2006), *Local Environmental Quality and Life Satisfaction in Germany*, **FNU-119** (forthcoming, *Ecological Economics*).

Tanaka, K., R.S.J. Tol, D. Rokityanskiy, B.C. O'Neill and M. Obersteiner (2006), *Evaluating Global Warming Potentials as Historical Temperature Proxies: An Application of ACC2 Inverse Calculation*, **FNU-118** (submitted, *Climatic Change*).

Berritella, M., K. Rehdanz and R.S.J. Tol (2006), *The Economic Impact of the South-North Water Transfer Project in China: A Computable General Equilibrium Analysis*, **FNU-117** (submitted, *China Economic Review*).

Tol, R.S.J. (2006), *Why Worry about Climate Change? A Research Agenda*, **FNU-116** (forthcoming, *Environmental Values*).

Hamilton, J.M. and R.S.J. Tol (2006), *The Impact of Climate Change on Tourism in Germany, the UK and Ireland: A Simulation Study*, **FNU-115** (*Regional Environmental Change*, **7** (3), 161-172).

Schwoon, M., F. Alkemade, K. Frenken and M.P. Hekkert (2006), *Flexible transition strategies towards future well-to-wheel chains: an evolutionary modelling approach*, **FNU-114** (submitted).

Ronneberger, K., L. Criscuolo, W. Knorr and R.S.J. Tol (2006), *KLUM@LPJ: Integrating dynamic land-use decisions into a dynamic global vegetation and crop growth model to assess the impacts of a changing climate. A feasibility study for Europe*, **FNU-113** (submitted).

Schwoon, M. (2006), *Learning-by-doing, Learning Spillovers and the Diffusion of Fuel Cell Vehicles*, **FNU-112** (submitted).

Strzepek, K.M., G.W. Yohe, R.S.J. Tol and M. Rosegrant (2006), *The Value of the High Aswan Dam to the Egyptian Economy*, **FNU-111** (forthcoming, *Ecological Economics*).

Schwoon, M. (2006), *A Tool to Optimize the Initial Distribution of Hydrogen Filling Stations*, **FNU-110** (*Transportation Research D: Transport and the Environment*, **12** (2), 70-82).

Tol, R.S.J., K.L. Ebi and G.W. Yohe (2006), *Infectious Disease, Development, and Climate Change: A Scenario Analysis*, **FNU-109** (forthcoming, *Environment and Development Economics*).

Lau, M.A. (2006), *An analysis of the travel motivation of tourists from the People's Republic of China*, **FNU-108** (submitted).

Lau, M.A. and R.S.J. Tol (2006), *The Chinese are coming – An analysis of the preferences of Chinese holiday makers at home and abroad*, **FNU-107** (submitted).

Röckmann, C., R.S.J. Tol, U.A. Schneider, and M.A. St.John (2006), *Rebuilding the Eastern Baltic cod stock under environmental change - Part II: The economic viability of a marine protected area*, **FNU-106** (forthcoming, *Natural Resources Modelling*).

Ronneberger, K., M. Berritella, F. Bosello and R.S.J. Tol (2006), *KLUM@GTAP: Introducing biophysical aspects of land-use decisions into a general equilibrium model. A coupling experiment*, **FNU-105** (submitted).

Link, P.M. and Tol, R.S.J. (2006), *Economic impacts on key Barents Sea fisheries arising from changes in the strength of the Atlantic thermohaline circulation*, **FNU-104** (submitted).

Link, P.M. and Tol, R.S.J. (2006), *Estimation of the economic impact of temperature changes induced by a shutdown of the thermohaline circulation: an application of FUND*, **FNU-103** (submitted, *Climatic Change*).

Tol, R.S.J. (2006), *Integrated Assessment Modelling*, **FNU-102** (submitted).

Tol, R.S.J. (2006), *Carbon Dioxide Emission Scenarios for the USA*, **FNU-101** (*Energy Policy*, **35**, 5310-5326).

Tol, R.S.J., S.W. Pacala and R.H. Socolow (2006), *Understanding Long-Term Energy Use and Carbon Dioxide Emissions in the USA*, **FNU-100** (submitted).

Sesabo, J.K, H. Lang and R.S.J. Tol (2006), *Perceived Attitude and Marine Protected Areas (MPAs) establishment: Why households' characteristics matters in Coastal resources conservation initiatives in Tanzania*, **FNU-99** (submitted).

Tol, R.S.J. (2006), *The Polluter Pays Principle and Cost-Benefit Analysis of Climate Change: An Application of FUND*, **FNU-98** (submitted)

Tol, R.S.J. and G.W. Yohe (2006), *The Weakest Link Hypothesis for Adaptive Capacity: An Empirical Test*, **FNU-97** (*Global Environmental Change*, **17**, 218-227)

Berritella, M., K. Rehdanz, R. Roson and R.S.J. Tol (2005), *The Economic Impact of Water Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis*, **FNU-96** (forthcoming, *Water Policy*)

Sesabo, J.K. and R. S. J. Tol (2005), *Technical Efficiency and Small-scale Fishing Households in Tanzanian coastal Villages: An Empirical Analysis*, **FNU-95** (submitted)

Lau, M.A. (2005), *Adaptation to Sea-level Rise in the People's Republic of China – Assessing the Institutional Dimension of Alternative Organisational Frameworks*, **FNU-94** (submitted)

Berritella, M., A.Y. Hoekstra, K. Rehdanz, R. Roson and R.S.J. Tol (2005), *The Economic Impact of Restricted Water Supply: A Computable General Equilibrium Analysis*, **FNU-93** (*Water Research*, **42**, 1799-1813)

Tol, R.S.J. (2005), *Europe's Long Term Climate Target: A Critical Evaluation*, **FNU-92** (*Energy Policy*, **35** (1), 424-434)

Hamilton, J.M. (2005), *Coastal Landscape and the Hedonic Price of Accommodation*, **FNU-91** (*Ecological Economics*, **62** (3-4), 594-602)

Hamilton, J.M., D.J. Maddison and R.S.J. Tol (2005), *Climate Preferences and Destination Choice: A Segmentation Approach*, **FNU-90** (submitted)

Zhou, Y. and R.S.J. Tol (2005), *Valuing the Health Impacts from Particulate Air Pollution in Tianjin*, **FNU-89** (submitted)

Röckmann, C. (2005), *International Cooperation for Sustainable Fisheries in the Baltic Sea*, **FNU-88** (forthcoming, in Ehlers, P./Lagoni, R. (Eds.): *International Maritime Organisations and their Contribution towards a Sustainable Marine Development*.)

Ceronsky, M., D. Anthoff, C. Hepburn and R.S.J. Tol (2005), *Checking the price tag on catastrophe: The social cost of carbon under non-linear climate response* **FNU-87** (submitted, *Climatic Change*)

Zandersen, M. and R.S.J. Tol (2005), *A Meta-analysis of Forest Recreation Values in Europe*, **FNU-86** (submitted, *Journal of Forest Economics*)

Heinzow, T., R.S.J. Tol and B. Brümmer (2005), *Offshore-Windstromerzeugung in der Nordsee -eine ökonomische und ökologische Sackgasse?* **FNU-85** (*Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, **56** (3), 68-73)

Röckmann, C., U.A. Schneider, M.A. St. John, and R.S.J. Tol (2005), *Rebuilding the Eastern Baltic cod stock under environmental change - a preliminary approach using stock, environmental, and management constraints*, **FNU-84** (*Natural Resources Modelling*, **20** (2), 223-262)

Tol, R.S.J. and G.W. Yohe (2005), *Infinite uncertainty, forgotten feedbacks, and cost-benefit analysis of climate policy*, **FNU-83** (*Climatic Change*, **83**, 429-442)

Osmani, D. and R.S.J. Tol (2005), *The case of two self-enforcing international agreements for environmental protection*, **FNU-82** (submitted)

Schneider, U.A. and B.A. McCarl, (2005), *Appraising Agricultural Greenhouse Gas Mitigation Potentials: Effects of Alternative Assumptions*, **FNU-81** (submitted)

Zandersen, M., M. Termansen, and F.S. Jensen, (2005), *Valuing new forest sites over time: the case of afforestation and recreation in Denmark*, **FNU-80** (submitted)

Guillerminet, M.-L. and R.S.J. Tol (2005), *Decision making under catastrophic risk and learning: the case of the possible collapse of the West Antarctic Ice Sheet*, **FNU-79** (submitted, *Climatic Change*)

Nicholls, R.J., R.S.J. Tol and A.T. Vafeidis (2005), *Global estimates of the impact of a collapse of the West Antarctic Ice Sheet: An application of FUND*, **FNU-78** (forthcoming, *Climatic Change*)

Lonsdale, K., T.E. Downing, R.J. Nicholls, D. Parker, A.T. Vafeidis, R. Dawson and J.W. Hall (2005), *Plausible responses to the threat of rapid sea-level rise for the Thames Estuary*, **FNU-77** (submitted, *Climatic Change*)

Poumadère, M., C. Mays, G. Pfeifle with A.T. Vafeidis (2005), *Worst Case Scenario and Stakeholder Group Decision: A 5-6 Meter Sea Level Rise in the Rhone Delta, France*, **FNU-76** (submitted, *Climatic Change*)

Olsthoorn, A.A., P.E. van der Werff, L.M. Bouwer and D. Huitema (2005), *Neo-Atlantis: Dutch Responses to Five Meter Sea Level Rise*, **FNU-75** (forthcoming, *Climatic Change*)

Toth, F.L. and E. Hizsnyik (2005), *Managing the inconceivable: Participatory assessments of impacts and responses to extreme climate change*, **FNU-74** (submitted, *Climatic Change*)

Kaspersen, R.E. M.T. Bohn and R. Goble (2005), *Assessing the risks of a future rapid large sea level rise: A review*, **FNU-73** (submitted, *Climatic Change*)

Schleupner, C. (2005), *Evaluation of coastal squeeze and beach reduction and its consequences for the Caribbean island Martinique*, **FNU-72** (submitted)

Schleupner, C. (2005), *Spatial Analysis As Tool for Sensitivity Assessment of Sea Level Rise Impacts on Martinique*, **FNU-71** (submitted)

Sesabo, J.K. and R.S.J. Tol (2005), *Factors affecting Income Strategies among households in Tanzanian Coastal Villages: Implication for Development-Conservation Initiatives*, **FNU-70** (submitted)

- Fisher, B.S., G. Jakeman, H.M. Pant, M. Schwoon. and R.S.J. Tol (2005), *CHIMP: A Simple Population Model for Use in Integrated Assessment of Global Environmental Change*, **FNU-69** (*Integrated Assessment Journal*, **6** (3), 1-33)
- Rehdanz, K. and R.S.J. Tol (2005), *A No Cap But Trade Proposal for Greenhouse Gas Emission Reduction Targets for Brazil, China and India*, **FNU-68** (submitted, *Climate Policy*)
- Zhou, Y. and R.S.J. Tol (2005), *Water Use in China's Domestic, Industrial and Agricultural Sectors: An Empirical Analysis*, **FNU-67** (*Water Science and Technology: Water Supply*, **5** (6), 85-93)
- Rehdanz, K. (2005), *Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Germany*, **FNU-66** (*Energy Economics* **29**)
- Ronneberger, K., R.S.J. Tol and U.A. Schneider (2005), *KLUM: A Simple Model of Global Agricultural Land Use as a Coupling Tool of Economy and Vegetation*, **FNU-65** (submitted, *Climatic Change*)
- Tol, R.S.J. (2005), *The Benefits of Greenhouse Gas Emission Reduction: An Application of FUND*, **FNU-64** (submitted, *Global Environmental Change*)
- Röckmann, C., M.A. St.John, U.A. Schneider, F.W. Köster, F.W. and R.S.J. Tol (2006), *Testing the implications of a permanent or seasonal marine reserve on the population dynamics of Eastern Baltic cod under varying environmental conditions*, **FNU-63-revised** (*Fisheries Research*, **85**, 1-13)
- Letsoalo, A., J. Blignaut, T. de Wet, M. de Wit, S. Hess, R.S.J. Tol and J. van Heerden (2005), *Triple Dividends of Water Consumption Charges in South Africa*, **FNU-62** (*Water Resources Research*, **43**, W05412)
- Zandersen, M., Termansen, M., Jensen, F.S. (2005), *Benefit Transfer over Time of Ecosystem Values: the Case of Forest Recreation*, **FNU-61** (submitted)
- Rehdanz, K., Jung, M., Tol, R.S.J. and Wetzal, P. (2005), *Ocean Carbon Sinks and International Climate Policy*, **FNU-60** (*Energy Policy*, **34**, 3516-3526)
- Schwoon, M. (2005), *Simulating the Adoption of Fuel Cell Vehicles*, **FNU-59** (submitted)
- Bigano, A., J.M. Hamilton and R.S.J. Tol (2005), *The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study*, **FNU-58** (submitted, *Integrated Assessment Journal*)
- Bosello, F., R. Roson and R.S.J. Tol (2004), *Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health*, **FNU-57** (*Ecological Economics*, **58**, 579-591)
- Hamilton, J.M. and M.A. Lau (2004) *The role of climate information in tourist destination choice decision-making*, **FNU-56** (forthcoming, Gössling, S. and C.M. Hall (eds.), *Tourism and Global Environmental Change*. London: Routledge)
- Bigano, A., J.M. Hamilton and R.S.J. Tol (2004), *The impact of climate on holiday destination choice*, **FNU-55** (*Climatic Change*, **76** (3-4), 389-406)
- Bigano, A., J.M. Hamilton, M. Lau, R.S.J. Tol and Y. Zhou (2004), *A global database of domestic and international tourist numbers at national and subnational level*, **FNU-54** (*International Journal of Tourism Research*, **9**, 147-174)
- Susandi, A. and R.S.J. Tol (2004), *Impact of international emission reduction on energy and forestry sector of Indonesia*, **FNU-53** (submitted)
- Hamilton, J.M. and R.S.J. Tol (2004), *The Impact of Climate Change on Tourism and Recreation*, **FNU-52** (forthcoming, Schlesinger et al. (eds.), Cambridge University Press)
- Schneider, U.A. (2004), *Land Use Decision Modelling with Soil Status Dependent Emission Rates*, **FNU-51** (submitted)
- Link, P.M., U.A. Schneider and R.S.J. Tol (2004), *Economic impacts of changes in fish population dynamics: the role of the fishermen's harvesting strategies*, **FNU-50** (submitted)
- Berritella, M., A. Bigano, R. Roson and R.S.J. Tol (2004), *A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism*, **FNU-49** (*Tourism Management*, **27** (5), 913-924)
- Tol, R.S.J. (2004), *The Double Trade-Off between Adaptation and Mitigation for Sea Level Rise: An Application of FUND*, **FNU-48** (*Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12** (5), 741-753)
- Erdil, E. and Yetkiner, I.H. (2004), *A Panel Data Approach for Income-Health Causality*, **FNU-47**
- Tol, R.S.J. (2004), *Multi-Gas Emission Reduction for Climate Change Policy: An Application of FUND*, **FNU-46** (*Energy Journal* (Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy Special Issue), 235-250)
- Tol, R.S.J. (2004), *Exchange Rates and Climate Change: An Application of FUND*, **FNU-45** (*Climatic Change*, **75**, 59-80)
- Gaitan, B., Tol, R.S.J., and Yetkiner, I. Hakan (2004), *The Hotelling's Rule Revisited in a Dynamic General Equilibrium Model*, **FNU-44** (submitted)
- Rehdanz, K. and Tol, R.S.J. (2004), *On Multi-Period Allocation of Tradable Emission Permits*, **FNU-43** (submitted)
- Link, P.M. and Tol, R.S.J. (2004), *Possible Economic Impacts of a Shutdown of the Thermohaline Circulation: An Application of FUND*, **FNU-42** (*Portuguese Economic Journal*, **3**, 99-114)
- Zhou, Y. and Tol, R.S.J. (2004), *Evaluating the costs of desalination and water transport*, **FNU-41** (*Water Resources Research*, **41** (3), W03003)
- Lau, M. (2004), *Küstenzonenmanagement in der Volksrepublik China und Anpassungsstrategien an den Meeresspiegelanstieg*, **FNU-40** (*Coastline Reports* (1), 213-224.)
- Rehdanz, K. and D.J. Maddison (2004), *The Amenity Value of Climate to German Households*, **FNU-39** (submitted)
- Bosello, F., Lazzarin, M., Roson, R. and Tol, R.S.J. (2004), *Economy-wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise*, **FNU-38** (*Environmental and Resource Economics*, **37**, 549-571)
- Schwoon, M. and Tol, R.S.J. (2004), *Optimal CO<sub>2</sub>-abatement with socio-economic inertia and induced technological change*, **FNU-37** (*Energy Journal*, **27** (4), 25-60)
- Hamilton, J.M., Maddison, D.J. and Tol, R.S.J. (2004), *The Effects of Climate Change on International Tourism*, **FNU-36** (*Climate Research*, **29**, 255-268)
- Hansen, O. and R.S.J. Tol (2003), *A Refined Inglehart Index of Materialism and Postmaterialism*, **FNU-35** (submitted)

- Heinzow, T. and R.S.J. Tol (2003), *Prediction of Crop Yields across four Climate Zones in Germany: An Artificial Neural Network Approach*, **FNU-34** (submitted, *Climate Research*)
- Tol, R.S.J. (2003), *Adaptation and Mitigation: Trade-offs in Substance and Methods*, **FNU-33** (*Environmental Science and Policy*, **8** (6), 572-578)
- Tol, R.S.J. and T. Heinzow (2003), *Estimates of the External and Sustainability Costs of Climate Change*, **FNU-32** (submitted)
- Hamilton, J.M., Maddison, D.J. and Tol, R.S.J. (2003), *Climate change and international tourism: a simulation study*, **FNU-31** (*Global Environmental Change*, **15** (3), 253-266)
- Link, P.M. and R.S.J. Tol (2003), *Economic impacts of changes in population dynamics of fish on the fisheries in the Barents Sea*, **FNU-30** (*ICES Journal of Marine Science*, **63** (4), 611-625)
- Link, P.M. (2003), *Auswirkungen populationsdynamischer Veränderungen in Fischbeständen auf die Fischereiwirtschaft in der Barentssee*, **FNU-29** (*Essener Geographische Arbeiten*, **35**, 179-202)
- Lau, M. (2003), *Coastal Zone Management in the People's Republic of China – An Assessment of Structural Impacts on Decision-making Processes*, **FNU-28** (*Ocean & Coastal Management*, No. 48 (2005), pp. 115-159.)
- Lau, M. (2003), *Coastal Zone Management in the People's Republic of China – A Unique Approach?*, **FNU-27** (*China Environment Series*, Issue 6, pp. 120-124; <http://www.wilsoncenter.org/topics/pubs/7-commentaries.pdf>)
- Roson, R. and R.S.J. Tol (2003), *An Integrated Assessment Model of Economy-Energy-Climate – The Model Wiagem: A Comment*, **FNU-26** (*Integrated Assessment*, **6** (1), 75-82)
- Yetkiner, I.H. (2003), *Is There An Indispensable Role For Government During Recovery From An Earthquake? A Theoretical Elaboration*, **FNU-25**
- Yetkiner, I.H. (2003), *A Short Note On The Solution Procedure Of Barro And Sala-i-Martin for Restoring Constancy Conditions*, **FNU-24**
- Schneider, U.A. and B.A. McCarl (2003), *Measuring Abatement Potentials When Multiple Change is Present: The Case of Greenhouse Gas Mitigation in U.S. Agriculture and Forestry*, **FNU-23** (submitted)
- Zhou, Y. and Tol, R.S.J. (2003), *The Implications of Desalination to Water Resources in China - an Economic Perspective*, **FNU-22** (*Desalination*, **163** (4), 225-240)
- Yetkiner, I.H., de Vaal, A., and van Zon, A. (2003), *The Cyclical Advancement of Drastic Technologies*, **FNU-21**
- Rehdanz, K. and Maddison, D. (2003) *Climate and Happiness*, **FNU-20** (*Ecological Economics*, **52** 111-125)
- Tol, R.S.J., (2003), *The Marginal Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties*, **FNU-19** (*Energy Policy*, **33** (16), 2064-2074).
- Lee, H.C., B.A. McCarl, U.A. Schneider, and C.C. Chen (2003), *Leakage and Comparative Advantage Implications of Agricultural Participation in Greenhouse Gas Emission Mitigation*, **FNU-18** (submitted).
- Schneider, U.A. and B.A. McCarl (2003), *Implications of a Carbon Based Energy Tax for U.S. Agriculture*, **FNU-17** (submitted).
- Tol, R.S.J. (2002), *Climate, Development, and Malaria: An Application of FUND*, **FNU-16** (forthcoming, *Climatic Change*).
- Hamilton, J.M. (2003), *Climate and the Destination Choice of German Tourists*, **FNU-15** (revised and submitted).
- Tol, R.S.J. (2002), *Technology Protocols for Climate Change: An Application of FUND*, **FNU-14** (*Climate Policy*, **4**, 269-287).
- Rehdanz, K. (2002), *Hedonic Pricing of Climate Change Impacts to Households in Great Britain*, **FNU-13** (*Climatic Change* **74**).
- Tol, R.S.J. (2002), *Emission Abatement Versus Development As Strategies To Reduce Vulnerability To Climate Change: An Application Of FUND*, **FNU-12** (*Environment and Development Economics*, **10**, 615-629).
- Rehdanz, K. and Tol, R.S.J. (2002), *On National and International Trade in Greenhouse Gas Emission Permits*, **FNU-11** (*Ecological Economics*, **54**, 397-416).
- Fankhauser, S. and Tol, R.S.J. (2001), *On Climate Change and Growth*, **FNU-10** (*Resource and Energy Economics*, **27**, 1-17).
- Tol, R.S.J. and Verheyen, R. (2001), *Liability and Compensation for Climate Change Damages – A Legal and Economic Assessment*, **FNU-9** (*Energy Policy*, **32** (9), 1109-1130).
- Yohe, G. and R.S.J. Tol (2001), *Indicators for Social and Economic Coping Capacity – Moving Toward a Working Definition of Adaptive Capacity*, **FNU-8** (*Global Environmental Change*, **12** (1), 25-40).
- Kemfert, C., W. Lise and R.S.J. Tol (2001), *Games of Climate Change with International Trade*, **FNU-7** (*Environmental and Resource Economics*, **28**, 209-232).
- Tol, R.S.J., W. Lise, B. Morel and B.C.C. van der Zwaan (2001), *Technology Development and Diffusion and Incentives to Abate Greenhouse Gas Emissions*, **FNU-6** (submitted).
- Kemfert, C. and R.S.J. Tol (2001), *Equity, International Trade and Climate Policy*, **FNU-5** (*International Environmental Agreements*, **2**, 23-48).
- Tol, R.S.J., Downing T.E., Fankhauser S., Richels R.G. and Smith J.B. (2001), *Progress in Estimating the Marginal Costs of Greenhouse Gas Emissions*, **FNU-4**. (*Pollution Atmosphérique – Numéro Spécial: Combien Vaut l'Air Propre?*, 155-179).
- Tol, R.S.J. (2000), *How Large is the Uncertainty about Climate Change?*, **FNU-3** (*Climatic Change*, **56** (3), 265-289).
- Tol, R.S.J., S. Fankhauser, R.G. Richels and J.B. Smith (2000), *How Much Damage Will Climate Change Do? Recent Estimates*, **FNU-2** (*World Economics*, **1** (4), 179-206)
- Lise, W. and R.S.J. Tol (2000), *Impact of Climate on Tourism Demand*, **FNU-1** (*Climatic Change*, **55** (4), 429-449).