

5.3 Umweltschutzmanagement

Anpassungsoptionen für das Vorlandmanagement deutscher Ästuarer angesichts des Klimawandels

Dipl.-Geoökol. Maïke Heuner

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Biol. Eva-Maria Bauer

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dr. Elmar Fuchs

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Geogr. Uwe Schröder

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dr. Andreas Sundermeier

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Schwerpunkt: Vorstellung des Forschungsprojektes „Klimabedingte Änderung der Vorlandvegetation und ihrer Funktionen in Ästuarer sowie Anpassungsoptionen für die Unterhaltung“

1. Hintergrund

Der Klimawandel hat möglicherweise Auswirkungen auf Leistungsfähigkeit und Management der Bundeswasserstraßen. Daher hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) seine Fachbehörden beauftragt, im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS von 2009 - 2013 wirtschaftliche und ökologische Folgen für Wasserstraßen wissenschaftlich zu untersuchen. Eines der 30 Projekte in diesem Programm, das im Folgenden näher vorgestellt wird, hat zum Ziel, Anpassungsoptionen für das Vorlandmanagement im Elbe- und Weserästuar zu erarbeiten.

Ästuarer stellen eine Vielfalt an Ökosystemdienstleistungen bereit (MEA 2005; UNEP 2006). Die Wirtschaft der Metropolregion Hamburg, z. B., profitiert wesentlich vom Handel mit Seegütern. Dank der Schiffbarkeit der Tideelbe (gefördert durch Anpassungen an zunehmend große Frachtschiffe) ist Hamburg zu einer Weltstadt geworden. Sie besitzt nicht nur den wichtigsten Hafen Deutschlands, sondern stellt auch einen der bedeutendsten Umschlagplätze der Welt für Seegüter dar. Daneben bieten Weser- und Elbeästuar für tierische (und menschliche) Konsumenten große Mengen an Nahrung, wie z. B. Phytoplankton, Makrozoobenthos und Fische (MEA 2005; UNEP 2006). Ihre Vorländer spielen eine wichtige Rolle in der Primärproduktion (Bereitstellung von v. a. pflanzlicher Biomasse). Je nach dominierender Pflanzenart können salz- und tidebeeinflusste Vorländer eine Nettopräproduktion von bis zu $2400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ besitzen, die höchste Rate im Vergleich mit anderen Ökosystemen (TINER 1984 in HARTIG et al. 1997). Die zur Verfügung stehende Biomasse kann neben der Grünlandnutzung z. B. auch der Gewinnung von Reet als Dachabdeckung dienen (PERRY & ATKINSON 2009). Die letztgenannte Nutzung wurde im Untersuchungsgebiet an der Weser in jüngerer Zeit wieder verstärkt, da das einheimische Schilf gegen

Pilzbefall weniger anfällig ist als das importierte. Um solche Ökosystemdienstleistungen für die Zukunft zu erhalten, ist es wichtig, auch die regulierenden Dienstleistungen v. a. der Vorländer zu sichern. Zu diesen zählen u. a. Regulierung von Erosionskräften und Sturmfluten, Flächenpotenzial zur Akkumulation von Sedimenten, Filterung der Schadstoffe und die Regulierung klimarelevanter Gase. Deshalb tragen die Akteure in den Ästuarer nicht allein Verantwortung für die Bereitstellung und Instandhaltung der Wasserstraßen für die Schifffahrt sondern auch für die Erhaltung der genannten Funktionen und Dienstleistungen. Diese wiederum unterstützen die Vielfalt der Lebensräume, der Arten und somit des Nahrungskreislaufs und schaffen damit die Voraussetzung für die oben beschriebenen sog. „bereitstellenden Dienstleistungen“. Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnen intakte („funktionierende“) Ökosysteme als Puffer gegenüber Extremereignissen an Bedeutung (LIMBURG 2009; HARTIG et al. 1997).



Bild 1: Schilf (*Phragmites australis*) mit Salz-Teichsimse (*Schoenoplectus tabernaemontani*) an der Unterweser (Tegeler Plate, gegenüber dem Hafen von Nordensham)

In diesem Projekt wird die klimabedingte Änderung der Vorlandvegetation (Bild 1) und ihrer Funktionen in den Ästuarer von Elbe und Weser untersucht. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erosionsschutzfunktion. Außerdem werden z. B. Studien zur Filterfunktion der Vorländer durchgeführt. Vegetationsänderungen können die Stabilität und damit auch den Schutz der Ufer beeinträchtigen (PERRY & ATKINSON 2009). Dies wiederum wirkt sich auf die Unterhaltung der Wasserstraßen aus. Mittels Untersuchungen zur Landnutzung und zur Störungsökologie sowie mittels Modellierung des potenziellen Lebensraums naturnaher Vegetation werden Handlungsempfehlungen für das Vorlandmanagement erarbeitet, die sowohl Anpassungsoptionen bzgl. des Klimawandels als auch die unterschiedlichen Nutzungsansprüche berücksichtigen.

2. Arbeitshypothesen

Der 4. Sachstandsbericht des International Panel of Climate Change (ALCAMO et al. 2007) berichtet über Projektionen basierend auf dem Special Report on Emissions Scenarios (SRES): Demnach ist in Zukunft mit selteneren, aber dafür heftigeren Sturmflutereignissen in der südlichen Nordsee zu rechnen. Höhere Wellen können die Ufer und Vorländer der Ästuarer stärker überfluten und vermehrt Erosion verursachen. Die Pro-

5. Planen mit der Natur, Umweltschutz

Anpassungsoptionen für das Vorlandmanagement deutscher Ästuare angesichts des Klimawandels

jektionsergebnisse zum Anstieg des globalen Meeresspiegels bis zum Jahr 2100 schwanken zwischen 0,09 und 0,88 m. In Europa kann der Anstieg aufgrund regionaler Bedingungen um bis zu 50 % höher ausfallen als im weltweiten Durchschnitt. Außerdem wird damit gerechnet, dass der Meeresspiegel dann viermal schneller ansteigt als 2007. Dies würde sich auf die Verwundbarkeit der Ästuare und ihrer Vorländer auswirken. Der Grad der Verwundbarkeit hängt stark von den lokalen Gegebenheiten ab. Das Forschungsprogramm KLIWAS hat die Aufgabe, mögliche regionale Auswirkungen des Klimawandels auf Bundeswasserstraßen zu projizieren sowie hierzu Anpassungsoptionen zu definieren. Im hier vorgestellten Projekt werden folgende Hypothesen für die Ästuare von Elbe und Weser geprüft:

- Es bestehen Zusammenhänge zwischen historischen Veränderungen der Tidekennwerte in der Längszonierung der Ästuare und der Röhrichtdynamik.
- Die morphologische Dynamik wird voraussichtlich durch die klimainduzierte Veränderung des hydrologischen Systems erhöht.
- Eine mögliche klimainduzierte verstärkte Dynamik in der Ufer- und Vorlandvegetation bedingt ein vermehrtes Auftreten von Störstellen im Röhricht, dem eine Verschmälerung bzw. Fragmentierung der Röhrichtgürtel folgen kann.
- Pionierarten und Hochstauden, inklusive invasiver Neophyten, nehmen auf Störstellen in den bisherigen Röhrichtgürteln zu, was eine Änderung der Ökosystemfunktionen wie Schutz- und Lebensraumfunktion zur Folge haben kann (vgl. Bild 2).
- Ein gezieltes Management von Uferbereichen und Vorland kann vor dem Hintergrund der prognostizierten klimainduzierten hydrologischen Veränderungen an Ästuaren die Funktionen der Vegetation für den Vorlandschutz nachhaltig sichern.

3. Untersuchungen zu Ökosystemdienstleistungen

Im 19. Jh. war es notwendig, Land zur Nahrungsmittelproduktion zu gewinnen. Durch den Bau von Deichen und Buhnen wurden als mehr oder weniger nutzlos erachtete Feuchtgebiete in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt. Auch entlang von Elbe und Weser sind tidebeeinflusste Marschen eingedeicht worden. Damit ging die Schwächung einer Reihe von, insbesondere regulierenden, Ökosystemdienstleistungen der Ästuare einher. Dies wurde durch Baggermaßnahmen im Zuge von Fahrrinnenanpassungen noch verstärkt. Auf der anderen Seite wurden Dienstleistungen wie die Schiffbarkeit sowie die Nahrungsmittelproduktion im Gebiet verbessert. Mit der Zeit verursachte die Veränderung der Ökosystemdienstleistungen jedoch Probleme. So beeinträchtigt beispielsweise der Flutstromtransport die Leichtigkeit der Schifffahrt und erfordert zusätzliches Unterhaltungsbudget. Ein Ansatz zur Lösung dieser Probleme ist ein spezifisches Sedimentmanagement (NETZBAND 2007; BFG 2008). Ein anderer Ansatz ist es, das Ökosystem Ästuar zu schützen und damit gewünschte Dienstleistungen zu stärken. Heutzutage lebt die Bevölkerung Europas in einem Nahrungsüberfluss, und der landwirtschaftliche Nutzungsdruck auf die ursprünglichen Marschen hat nachgelassen. Andere Ökosystemdienstleistungen der Vorländer stehen nun-

mehr im Vordergrund. So hat z. B. die Hamburg Port Authority gemeinsam mit der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord ein Konzept vorgelegt, wonach zwischen Glückstadt und Geesthacht Flutraum geschaffen bzw. reaktiviert werden soll, um den Flutstromtransport zu reduzieren (DÜCKER et al. 2006). Dies trägt dazu bei, dass der Wert der Marschen als gemeinsames Umweltgut, das Erosions- und Ablagerungsprozesse reguliert, stärker in der Gesellschaft wahrgenommen wird (HANSLOW & GISSING 2008).



Bild 2: Von Erosion betroffenes Wurzelwerk des Japan-Knöterichs (*Fallopia japonica*) auf der Insel Pagensand (Tideelbe) im Schilfbestand

Um den aktuellen Wissensstand zu verbessern und um Aussagen für Gegenwart und Zukunft in räumlich hoher Auflösung treffen zu können, werden folgende Ökosystemdienstleistungen untersucht:

3.1 Erosionsschutz

In der Literatur wird darüber diskutiert, welche Rolle Störungen wie Orkane oder Sturmfluten unter temperaten Klimabedingungen für die Sedimentations- und Erosionsraten, und damit auch für die Ausdehnung von Marschen spielen. Andererseits ist es eine wohlbekannt Tatsache, dass Marschenvegetation ihrerseits das Erosions- und Sedimentationsgeschehen beeinflusst (PASTERNAK 2009). In diesem Projekt soll das Thema Erosionsschutz mit unterschiedlichen Untersuchungsansätzen angegangen werden, wobei Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen (siehe Kapitel 4 und 5) dafür berücksichtigt werden.

3.2 Filterung

Vorländer spielen eine entscheidende Rolle bei der Filterung von Oberflächen- und Grundwasser. Deshalb werden sie auch als ökologische Nieren bezeichnet (AMBASHT 2008). Sie speichern Sedimente und sich zersetzendes Pflanzenmaterial. Durch das Akkumulieren von Sediment und Schwebstoffen können sie als Senken das überschüssige Transportmaterial des Fluss-

ses binden (HEBERT 2002). In der feinkörnigen Fraktion ($< 20 \mu\text{m}$) der Sedimente sind oft Schadstoffe gebunden. Dementsprechend werden kontaminierte Schwebstoffe langfristig u. a. in den Marschen der Tideelbe gespeichert und dem aquatischen System entzogen. So werden größere zusammenhängende Wattflächen wie das Nordkehdinge oder das Fährmannssander Watt auch als Schadstoffsenken bezeichnet. Umgekehrt können Vorländer bei Erosionsprozessen auch als sekundäre Quelle von schadstoffbelastetem Sediment fungieren (ACKERMANN & SCHUBERT 2000; SCHUBERT & HUMMEL 2008). In den genannten Studien wurden bisher jedoch die von Vegetation befestigten Uferbereiche außer Acht gelassen.

Ein Ziel des Projektes ist ein Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Filterfunktion von Röhrichten für Sedimente und Schadstoffe. Dieses Wissen liefert einen Beitrag zum Systemverständnis bezüglich des Sediment- und Stofftransports in den Ästuaren von Weser und Elbe. Folgende Fragestellungen werden bearbeitet: Welche qualitativen Zusammenhänge bestehen zwischen Röhrichten, Sedimenten und Schadstoffen? Sind Korngrößenzusammensetzung, Schadstoffe und Salzgehalt in den Vorländern mit dem Vegetationstyp korreliert?

Im Herbst 2009 ist dazu eine Machbarkeitsstudie durchgeführt worden. Da der Schwerpunkt des Projekts auf der zukünftigen Vegetationsänderung im Kontext mit der Dynamik der Vorlandmorphologie liegt, richtet sich das Probedesign nach Vorlandprofilen, an denen die Wasser- und Schifffahrtsämter seit Jahrzehnten wiederholt die Höhen zu NN einmessen. Für die Vorstudie wurden sechs dieser Profile entlang der Unterweser ausgewählt. Jedes Profil wurde nach Biotoptypen und der Höhe zum mittleren Tidehochwasser (z) stratifiziert:

Stratum 1: vegetationslose Wattfläche, z = -1,5 bis -0,5 m

Stratum 2: Schilf, z = -0,5 bis 0,5 m

Stratum 3: Grünland, z = 0,5 bis 1,5 m

Boden- bzw. Sedimentproben wurden in drei Tiefen entnommen. Zusätzlich wurden Proben unterirdischer Pflanzenteile (v. a. von Schilf) genommen und Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Ebenso wurde die Höhe zu NN festgehalten. Die Korngrößenzusammensetzung sowie Nähr- und Schadstoffe in Bodenschichten und Wurzeln werden im Labor bestimmt. Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie werden im Vortrag vorgestellt.

3.3 Primärproduktion

Tidebeeinflusste Vorländer können eine ebenso hohe Netto-Primärproduktion aufweisen wie tropische Regenwälder oder Flächen intensiver Landwirtschaft (ROCHA & GOULDEN 2009). Im Fall der Süßwassermarschen hängt die hohe Primärproduktion mit folgenden Faktoren zusammen: der täglich zweimaligen Überflutung, dem fehlenden Salzstress und der guten Nährstoffversorgung (WHIGHAM 2009). Die mittlere und die hohe Salzmarisch sind ebenfalls sehr produktive Standorte. Grund hierfür ist die Entsalzung durch den Niederschlag. Entsprechend hoch ist hier die Konkurrenz zwischen den Pflanzenarten (BOUCHARD & LEFÈVRE 2000). Eine hohe Primärproduktion naturnaher Vegetation ist allgemein ein Indikator für gute Nährstoffversorgung der Böden. Daher erzielt die Landwirtschaft auf

Marschböden einen hohen Ertrag. Im Rahmen dieses Projektes wird die Landnutzung untersucht. Nutzungsbedingungen und -konflikte werden analysiert und eine Optimierung wird vorgeschlagen.

4. Analysen zur Dynamik der Vorlandvegetation

Ästuar gehören mit ihren Vorländern zu den dynamischsten Ökosystemen der Erde. Die tidebeeinflussten Vorländer als Lebensraum zwischen Wasser und Land sind fortwährend hydrodynamischen Vorgängen ausgesetzt. Diese können regelmäßig auftreten, wie die Gezeiten. Andere können unregelmäßig wirken, wie Schiffswellen, oder sporadisch, wie Sturmfluten. Solche Ereignisse verändern durch ihre hydraulische Energie ständig das Ufer und somit auch die Lebensräume für Pflanzen und Tiere. Pflanzenbestände werden aber nicht nur von der Hydrodynamik beeinflusst, sondern sie stehen auch in Wechselwirkung zu ihr (TEMERMANN et al. 2007). In diesem Zusammenhang werden zwei Themen näher untersucht: die Störungsökologie der Pflanzenbestände sowie die Korrelation zwischen Morphologie und Röhrichtbeständen im Hinblick auf die longitudinalen Standortgradienten im Ästuar.

4.1 Untersuchungen zur Störungsökologie

Eine Reihe von Störungsursachen, wie Treibsel (verdriftetes totes Pflanzenmaterial), Sedimente, Wellen oder Eisgang, beeinflussen die Dynamik der Ästuarvegetation. So ist z. B. für Treibsel bekannt, dass es das Wachstum von *Phragmites australis*, in Abhängigkeit von der Überdeckungsdauer, entweder positiv oder negativ beeinflussen kann (MINCHINTON 2002). Dieses Arbeitspaket verfolgt drei Ziele: Die Identifizierung relevanter Störungsursachen in den Untersuchungsgebieten, die Beschreibung von Sukzessionsstadien und die Analyse der Rolle von Schlüsselarten (einschließlich Neophyten). Schlussfolgerungen für die zukünftige Vegetationsdynamik werden gezogen.

4.2 Korrelationsanalysen in Bezug auf Vegetation und Morphologie

Ästuar zeichnen sich dadurch aus, dass sich fluviales Oberwasser und marines Salzwasser in ihnen gezeitenbeeinflusst mischen. Als Folge hieraus gibt es verschiedene Gradienten wie Salz- oder Sedimentationsgradienten. Die Gestalt des Ästuars hat ebenfalls Auswirkungen auf das Ökosystem. In den Ästuaren von Elbe und Weser ist, aufgrund der Trichterwirkung, der mittlere Tidehub an der Mündung niedriger als im oberen Ästuarabschnitt. Durch die Flusskorrekturen und die folgenden Fahrrinnenanpassungen an die modernen Güterschiffe stieg der Tidehub deutlich an (SCHUCHARDT 1995). Die Hansestadt Bremen verzeichnete den stärksten Tidehub innerhalb der deutschen Ästuar. Von 0,2 m im Jahr 1885, vor der Flusskorrektur, stieg er bis heute auf 4,0 m an (mittlerer Tidehub 2005 - 2009, Bezug Pegel Weserwehr UW). Hingegen entwickelte sich das Verhältnis von mittlerem Tidehochwasser (MThw) zu mittlerem Tideniedrigwasser (MTnw) entlang der Ästuar unterschiedlich. Beispielsweise stieg am Pegel Cuxhaven das MTnw synchron mit dem MThw an - im Gegensatz zum Pegel St. Pauli (Hamburg), wo das MTnw abfiel während das MThw angestiegen ist. HARTEN (1979) zeigt auf, dass in der Regel in oberen Ästuarabschnitten der MThw-Anstieg durch Fahrrinnenanpassungen $\frac{1}{4}$ des Tidehubanstiegs ausmacht und $\frac{3}{4}$ der MTnw-Absenkung.

Gegenstand der Untersuchungen ist in diesem Kontext der Einfluss des hydrodynamischen Längsgradienten auf die Vegetation im Vorland und insbesondere die Frage, in wieweit die Vegetationsbesiedlung auf Wattflächen durch die unterschiedlichen Überflutungsdauern gesteuert wird. Die Ergebnisse der Analysen fließen in Modelle ein, anhand derer die Lebensraumeignung von Vegetationstypen bestimmt werden kann (Habitatmodelle).

5. Habitatmodellierung zur Projektion von klimabedingten Vegetationsänderungen

Die Modelle zur Projektion von klimabedingten Vegetationsänderungen gehören zu den Endgliedern der Modellkette, die KLIWAS verwendet. Die Kette beginnt mit globalen zukünftigen Emissionsszenarien, die die Basis für regionale Klimamodelle bilden; deren Ergebnisse wiederum finden Eingang in hydronumerische Modelle, die ihre Ergebnisse letztendlich an ökologische Modelle wie z. B. Habitatmodelle weitergeben. Nach Evaluierung der Vegetationsprojektionen können die Modelle als Entscheidungsunterstützung für ein zukünftiges Vorlandmanagement dienen: Anhand von projizierten Habitatveränderungen können Anpassungsoptionen, besonders für die änderungssensiblen Vorlandbereiche, formuliert werden. Zusätzlich sind sie ein Hilfsmittel bei der Einrichtung von ingenieurbioökologischen Ufersicherungen. Beispielsweise können verschiedene Varianten von Ufertopographien verglichen werden, um die beste Uferbeschaffenheit für Röhrichtstandorte zu identifizieren (siehe auch Beitrag von SCHRÖDER et al. in diesem Band). Diese Art von Modellen kann als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung (siehe auch Beitrag von FUCHS et al. in diesem Band) an Bedeutung gewinnen, nicht nur im Zuge der Zielumsetzung der Wasserrahmen-Richtlinie (EC 2000) sondern auch bei der Suche nach geeigneten Kompensationsflächen für Eingriffe an der Wasserstraße.

Die Modellierung von bewachsenen Vorländern unter Berücksichtigung der Interaktionen von Ökologie und Morphologie, mit dem Ziel, Aussagen über zukünftige Entwicklungen abzuleiten, ist zur Zeit ein Themenfeld, zu dem rege geforscht wird (WOLANSKI et al. 2009). SCHRÖDER wies in seiner Bilanzierung von historischen Röhrichtflächen einen Zusammenhang zwischen Sedimentations- und Röhrichtdynamik nach (BfG 2004; SCHRÖDER 2005). In der Vergangenheit konnten jedoch morphodynamische Prozesse der deutschen Ästuare mangels Daten und Analyseverfahren nicht in ökologischen Modellen berücksichtigt werden (OSTERKAMP 2006).

Eines der Ziele in diesem Projekt ist es, diese Prozesse in die Habitatmodelle für die Vorlandvegetation zu integrieren, um ein besseres Verständnis hinsichtlich der Vegetationsentwicklung in Abhängigkeit von Erosions- und Sedimentationsprozessen zu erreichen.

6. Ableitung von Handlungsempfehlungen

Um Handlungsempfehlungen formulieren zu können, wird die historische Analyse als Ausgangspunkt für die Anwendung der Klimaszenarien verwendet. Die Szenarien werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bereitgestellt. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) sowie die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) verwenden diese, um mit HN-Modellen die hyd-

rodynamische Entwicklung für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 zu projizieren. Im Rahmen dieses Projektes gehen diese Ergebnisse u. a. als Eingangsdaten in die Habitatmodellierung ein, um Projektionen für klimabedingte Veränderungen der Vorlandvegetation zu erstellen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Ökosystemdienstleistungen und zur Dynamik der Vorlandvegetation sowie aus den Habitatprojektionen bilden die Grundlage für die Ableitung der Handlungsempfehlungen für ein zukünftiges Vorlandmanagement. Vorrangiges Ziel ist es hierbei, die gewünschten Dienstleistungen der Vorländer, insbesondere den Erosionsschutz, zu sichern. Darüber hinaus werden auch naturschutzfachliche Unterhaltungsempfehlungen gegeben, gemäß Erlass zur wasserwirtschaftlichen Unterhaltung an Bundeswasserstraßen (BMVBS 2009) und unter Berücksichtigung der Ziele und Maßnahmenprogramme nach WRRL. Die Vorschläge werden in erster Linie für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung erarbeitet, jedoch auch anderen Landnutzern zur Verfügung gestellt.

Danksagung

Die hier dargestellten Arbeiten sind Teil des Ressortforschungsprogramms "KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt - Entwicklung von Anpassungsoptionen" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Literatur

ACKERMANN, F.; SCHUBERT, B.: Das Elbeästuar: Senke und Quelle für Schadstoffe; ATV-DVWK-Schriftenreihe 22: 298-299, 2000

ALCAMO, J.; MORENO, J.M.; NOVÁKY, B.; BINDI, M.; COROBOV, R.; DEVOY, R.J.N.; GIANNAKOPOULOS, C.; MARTIN, E.; OLESEN, J.E.; SHVIDENKO, A.: Europe; PARRY, M.L., CANZIANI, O.F., PALUTIKOF, J.P., VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (eds.): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580, 2007

AMBASHT, R.S.: Wetland ecology: An overview; Proceedings of the national academy of science India section B - Biological sciences 78, S. 3-12, 2008

BfG: Analyse der aktuellen räumlichen Veränderungen ufernaher Röhrichte und Uferstauden unter besonderer Berücksichtigung ihrer historischen Entwicklung (der letzten 30 bis 50 Jahre); BfG-1441, Koblenz, 2004

BfG: WSV-Sedimentmanagement Tideelbe. Strategien und Potenziale – eine Systemstudie. Ökologische Auswirkungen der Umlagerungen von Wedeler Baggergut; Untersuchungen im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Cuxhaven, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1584, Koblenz, 2008

BMVBS: Wasserwirtschaftliche Unterhaltung an Bundeswasserstraßen. Grundzüge für ein Handlungskonzept; Erlass WS 14/WS 15/5242.3/3, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 2009

BOUCHARD, V.; LEFEUVRE, J.C.: Primary production and macro-detritus dynamics in a European salt marsh:

5. Planen mit der Natur, Umweltschutz

Anpassungsoptionen für das Vorlandmanagement deutscher Ästuare angesichts des Klimawandels

- carbon and nitrogen budgets; *Aquatic Botany* 67: 23-42, 2000
- DÜCKER, H.P.; WITTE, H.H.; GLINDEMANN, H.; THODE, K.: Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg; Eigenverlag der HPA, Hamburg, 2006
- EC: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy; *Official Journal L* 327, 22.12.2000, S. 1-73, 2000
- FUCHS, E.; ROSENZWEIG, S.; SCHLEUTER, M.: Software zur ökologischen Modellierung in der integrierten Planung von Wasserstraßenprojekten; (in diesem Band), 2010
- HANSLAW, D.J.; GISSING, A.: Coastal erosion emergency planning; New South Wales State Emergency Service, Wollongong, 2008
- HARTEN, H.: Ausbaumaßnahmen in Tideästuaren der deutschen Nordseeküste und die Auswirkungen auf das Tidegeschehen; *Die Küste* 34: 150-158, 1979
- HARTIG, E.K.; GROZEV, O.; ROSENZWEIG, C: Climate change, agriculture and wetlands in Eastern Europe: Vulnerability, adaptation and policy; *Climatic Change* 46: 101-121, 1997
- HEBERT, P.D.N.: Discover Canada's Wetland Habitats; E-Book: <http://www.aquatic.uoguelph.ca>, 2002, Date of last access: 16.12.09
- LIMBURG, K.E.: Aquatic Ecosystem Services; Likens, G.E. (Hrsg.): *Encyclopedia of Inland Waters* 1, S. 25-30, Elsevier Publishers, Oxford, 2009
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT: Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis; World Resources Institute, Washington, DC., 2005
- MINCHINTON, T.E.: Disturbance by wrack facilitates spread of *Phragmites australis* in a coastal marsh; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 281: 89-107, 2002
- NETZBAND, A.: Sediment Management: An essential element of River Basin Management Plans; *Journal of Soils and Sediments* 7: 117-132, 2007
- OSTERKAMP, S.: GIS-gestützte Modellierung der räumlichen Verteilung der Vegetation im Tidebereich von Ästuaren unter den Bedingungen einer Klimaänderung mittels der Klassifikations- und Regressionsanalyse (CART) am Beispiel der Unterweservorländer; Dissertation, Universität Bremen, Netzpublikation, Deutsche Nationalbibliothek, 2006
- PASTERNAK, G.B.: Hydrogeomorphology and sedimentation in tidal freshwater wetlands; BARENDREGT, A.; WHIGHAM, D.; BALDWIN, A. (Hrsg.): *Tidal freshwater wetlands*; Backhuys Publishers, Leiden, S. 31-40, 2009
- PERRY, J.E.; ATKINSON, R.B.: York River Tidal Marshes; *Journal of Coastal Research* 57: 40-49, 2009
- ROCHA, A.V.; GOULDEN, M.L.: Why is marsh productivity so high? New insights from eddy covariance and biomass measurements in a *Typha* marsh; *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 159-168, 2009
- SCHRÖDER, U.: Analysis of shift in reed habitats along the tidal river Elbe; ERASMI, S.; CYFFKA, B.; KAPPAS, M. (HRSG.): *Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography*; Göttinger Geographische Abhandlungen 113: 109-115, 2005
- SCHRÖDER, U.; FUCHS, E.; HEUNER, M.: From artificial to natural bank protection - an approach of re-design by applying models for reed habitats in tidal River Elbe; (in diesem Band), 2010
- SCHUBERT, B.; HUMMEL, D.: Sedimentation areas of the Elbe estuary as secondary sources of contamination; Tagungsband Magdeburger Gewässerschutzseminar 2008: 137-139, 2008
- SCHUCHARDT, B.: Die Veränderung des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems. Ein Indikator für die ökologische Verformung der Gewässer; *Naturschutz und Landschaftsplanung* 27: 211-217, 1995
- TEMMERMAN, S.; BOUMA T.J.; VAN DE KOPPEL, J.; VAN DER WAL, D.; DE VRIES, M.B.; HERMAN, P.M.J.: Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape; *Geology* 35: 631-634, 2007
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME: Marine and Coastal Ecosystems and Human Well-being. A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment; UNEP, 2006
- WHIGHAM, D.F.: Primary production in tidal freshwater wetlands; BARENDREGT, A.; WHIGHAM, D.; BALDWIN, A. (HRSG.): *Tidal freshwater wetlands*; Backhuys Publishers, Leiden, S. 115-122, 2009
- WOLANSKI, E.; BRINSON, M.M.; CAHOON, D.R.; PERILLO, G.M.E.: Coastal wetlands: a synthesis; PERILLO, G.M.E.; WOLANSKI, E.; CAHOON, D.R.; BRINSON, M.M. (HRSG.): *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*; Elsevier, Amsterdam, 2009

5. Planen mit der Natur, Umweltschutz

Anpassungsoptionen für das Vorlandmanagement deutscher Ästuare angesichts des Klimawandels

Verfasser

Dipl.-Geoökol. Maike Heuner,
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U2: Ökologische Wirkungszusammenhänge
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5960
E-Mail: heuner@bafg.de

Dipl.-Biol. Eva-Maria Bauer
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U3: Vegetationskunde, Landschaftspflege
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5575
E-Mail: bauer@bafg.de

Dr. Elmar Fuchs
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U2: Ökologische Wirkungszusammenhänge
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5338
E-Mail: fuchs@bafg.de

Dipl.-Geogr. Uwe Schröder
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U3: Vegetationskunde, Landschaftspflege
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5140
E-Mail: uwe.schroeder@bafg.de

Dr. Andreas Sundermeier
Referat U3: Vegetationskunde, Landschaftspflege
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5151
E-Mail: sundermeier@bafg.de