



Risikobewertung ökologischer Systeme an der deutschen Nordseeküste im Klimawandel

Risk assessment of ecological systems on the German north sea coast under climate change

Stefan Wittig, Dietmar Kraft, Jürgen Meyerdirks & Michael Schirmer

Universität Bremen, Abt. Aquatische Ökologie, Germany

Abstract

Within the interdisciplinary research project "Climate Change and Preventive Risk and Coastal Protection Management on the German North Sea Coast" (KRIM) the subproject "Climate Change and Coastal Ecology" examines the ecological aspects of the processes that take place in the coastal landscape. The analysis of the ecological systems of the fore- and hinterland confirmed that the zoning of the biotope types within the salt marsh is determined mainly by hydrology and the associated morphodynamics (system analysis). Via these impact paths it is possible to determine climate change sensitivities for individual biotope types and for landscape sectors (sensitivity analysis). Analysis of how different users esteem these ecological systems has shown a strong competition between the user perspectives "coastal protection" and "nature protection" within the ecological properties of the foreland (function analysis). Climate-induced changes in the structure, functionality and productivity of the ecosystems and the resulting restrictions for the users mentioned could be assessed in a risk analysis. Therefore, our definition of an "ecological risk" use anthropocentric yardsticks. The loss of requirements on ecological properties from the view of the user perspective "coastal protection" was integrated to a space-oriented value (function-value "coastal protection"). This enables the calculation and comparison of the risk-potential of different development scenarios of sea level rise and coastal protection variants, which are conceivable in the future.

1 Einleitung

Die engen Wechselwirkungen zwischen der natürlichen Dynamik der ökologischen Systeme, insbesondere der Watten und Salzwiesen im Küstenvorland, und den auf ihrer Leistungs- und Funktionsfähigkeit beruhenden anthropogenen Nutzungen führen zu vielfältigen Nutzungs- und Zielkonflikten in der norddeutschen Küstenregion. Diese Konflikte zwischen den gesellschaftlichen Interessengruppen werden voraussichtlich durch einen globalen Klimawandel erheblich verschärft und dadurch letztlich zu veränderten Risikosituationen führen.

Aus diesem Grund wird im Deutschen Klimaforschungsprogramm (DEKLIM) das interdisziplinäre Forschungsvorhaben KRIM als Bestandteil der Klimawirkungsforschung (Teil C) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Teilprojekt „Küstenökologische Aspekte des Klimawandels“ analysiert in diesem Rahmen die Ansprüche verschiedener Nutzergruppen an die aus den ökologischen Eigenschaften und Strukturen abgeleiteten Funktionen der ökologischen Systeme. Aus einem möglichen Verlust dieser ökologischen Funktionen können dann ökologischen Schäden ermittelt werden.

Im Folgenden werden beispielhaft für die Vorlandflächen des Wangerlands, die für die Nutzerperspektive „Küstenschutz“ bedeutsamen ökologischen Funktionen dargestellt. Die ersten Ergebnisse aus den dafür notwendigen Arbeitsschritten der System-, Sensitivitäts- und Funktionsanalyse werden angeführt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Küstenschutz diskutiert.

2 Ergebnisse

2.1 System- und Sensitivitätsanalyse der Vorlandflächen im Wangerland

Als Beispiel für Vorländer im Rückseitenwatt an der Festlandküste wurde der Bereich östlich von Harlesiel (Landkreis Friesland) hinter der ostfriesischen Insel Wangerooge gewählt (Abbildung 1). Ein 15,8 km langes und durchschnittlich 380 m breites Vorland liegt seeseitig vor dem Haupt- bzw. Winterdeich und gehört seit 1986 zum Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Der bei der Sturmflut 1962 gebrochene Sommerdeich wurde 1969-1972 zum Hauptdeich ausgebaut. Die Vorländer können geomorphologisch als eine Terrassensalzweiese bezeichnet werden. Landgewinnungswerke (Lahnungen) mit ihren Schlingen wurden 1950/55 angelegt, bis 1968 teilweise und danach gar nicht mehr unterhalten. Der Küstenschutz beschränkt sich auf die Deichfußentwässerung und unterhält dazu Gräben der Deichvorflut im Abstand von etwa 200 m. Mahd auf etwa 130 ha ist die einzige landwirtschaftliche Nutzung (Blindow 1987).

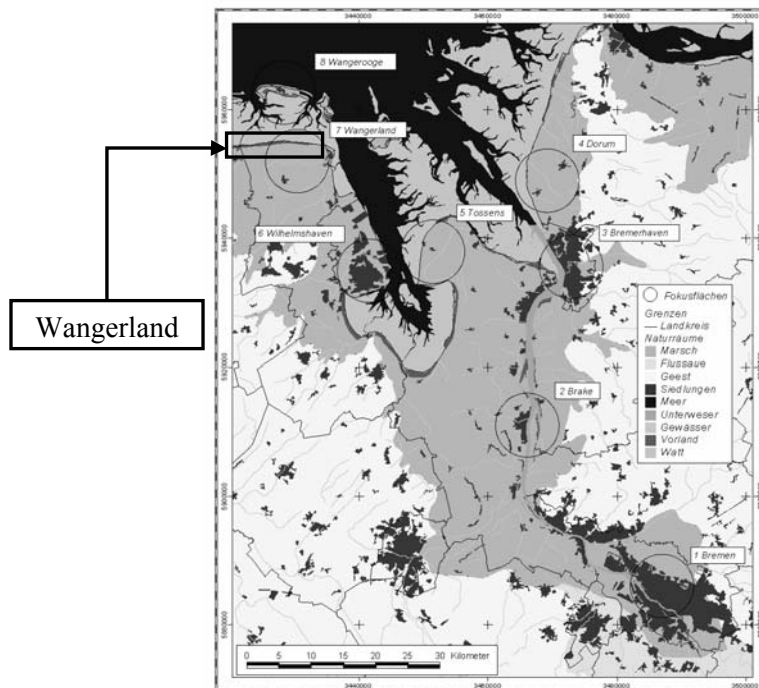


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet von KRIM. Der Ausschnitt markiert die in der Abbildung 2 dargestellten Vorlandflächen im Wangerland.

Die Wirkungen einer möglichen Klimaänderung auf die Biozönosen der Vorlandflächen (Supra- und Eulitoral) lassen sich einerseits aus der Kenntnis der heutigen spezifischen ökologischen Bedingungen ihrer Lebensräume ableiten. Andererseits kann über einen historischen Vergleich der beobachteten Morphodynamik und Flächenentwicklung abgeschätzt werden, welche Einflussfaktoren in der Vergangenheit die Ausprägung der Litoralflächen maßgeblich bestimmt haben (Tabelle 1).

Primäre Wirkungen der prognostizierten Klimaänderung treten bei den Organismen der supra- und eulitoral Küstenökosysteme auf. Ihre ökologische Plastizität und Anpassungsfähigkeit wird u.a. durch eine Zunahme der Überflutungshäufigkeit, höhere und längere Salzbelastung, veränderte Bodenverhältnisse und stärkere mechanische Belastung infolge erhöhter Strömungs- und Wellenenergie beansprucht. Dies beeinflusst die Konkurrenzsituation und kann zur Umstrukturierung der Biozönosen, insbesondere der Pflanzengesellschaften, die in hohem Maße die Landschaft prägen, führen (Vagts et al. 2000). Veränderungen der hydrologischen Parameter werden im Projekt KRIM vom Teilprojekt „Hydro- und Morphodynamik“ modelliert und bilden die Grundlage für die Abschätzung der Überflutungssensitivitäten der Vorlandbiotoptypen (s. Grabemann et al. i.d. Band).

Biotoptyp- komplex	Morphodynamik und Flächenentwicklung		Sensitivität hinsichtlich Überflutung			
	letzten 30 bis 40 Jahre	zwischen 1991 und heute	Häufigkeit		Lage zu MThw	
			säk	klima	säk	klima
gesamtes Wan- gerland	Sedimentation 0,5 - 2 cm pro Jahr, Kantenerosion 0,5 - 1 m pro Jahr	-19% (169 ha)	mittel - durch Lage im Rückseitenwatt, terrassenförmige Morphologie mit Ufer- wall und Lahnungssystemen			
Pionierzone (Eulitoral)	Sedimentation 1 - 2 cm pro Jahr	-53% (162 ha)	gering bis mittel	mittel	mittel bis hoch	hoch bis sehr hoch
Untere Salzwiese (Supralitoral)	Sedimentation 1 cm pro Jahr	-30% (58 ha)	gering	hoch	mittel	hoch
Obere Salzwiese (Supralitoral)	Sedimentation 0,5 - 1 cm pro Jahr	+19% (45 ha)	sehr ge- ring bis hoch	gering bis sehr hoch	mittel bis hoch	mittel bis sehr hoch

Tab. 1: System- und Sensitivitätsanalyse der Vorlandflächen im Wangerland (säk = Fortschreibung des säkularen Meeresspiegelanstiegs und Tidenhubs (+ 20 cm bis 2050), klima = durch einen Klimawandel beschleunigter Meeresspiegelanstieg und vergrößerter Tidenhub (+ 65 cm bis 2050)).

Ob es zu einem Verlust von terrestrischen Küstenlebensräumen infolge des Meeresspiegelanstiegs kommt, hängt v.a. von dessen Geschwindigkeit sowie vom Aufwuchsvermögen und der Möglichkeit einer Verlagerung der Salzwiesen landeinwärts ab (Wittig & Meyerdirks 2002). Für die Salzwiesen sind die Voraussetzungen einer landseitigen Verschiebung aufgrund der feststehenden Hauptdeichlinie nicht gegeben. Darüber hinaus müssen die beteiligten Organismen hinreichend weite Toleranzamplituden aufweisen, um mit der Geschwindigkeit der Änderung ökologischer Bedingungen mithalten zu können. Ob und welche Konsequenzen für Struktur und Funktion der Küstenbiozönosen hieraus resultieren können, ist derzeit nur mit großen Unsicherheiten abschätzbar und soll im Folgenden über Szenarien der Entwicklungsmöglichkeiten beschrieben werden.

2.2 Entwicklungsmöglichkeiten des Vorlandes bis 2050

Aus der System- (z.B. Aufwuchsvermögen der Salzwiesen, maximale Sedimentationsraten, Erosionsgeschwindigkeiten) und Sensitivitätsanalyse (z.B. Überflutungstoleranz, Lage zu MThw) der ökologischen Systeme lassen sich nun mögliche Entwicklungen der Vorländer ableiten. Zusätzlich wird die morphodynamische Entwicklung vom Ausmaß der im Vorland vorhandenen Küstenschutzelemente (Lahnungen, Deckwerke, Kantensicherungselemente, u.a.) beeinflusst. Die zukünftige Intensität der Unterhaltung der küstenschutztechnischen Bauwerke wird dabei in zwei Küstenschutzvarianten festgelegt. Während in der Variante 1 davon ausgegangen wird, dass die Funktionsfähigkeit der heute existierenden Küstenschutzelemente gleich bleibt, so zeichnet sich die Variante 2 durch einen eingeschränkten Unterhaltungsaufwand aus, der dazu führt, dass die Funktionsfähigkeit der Küstenschutzelemente in Zukunft deutlich reduziert ist.

Bei diesen Annahmen lässt sich für die Vorlandflächen im Wangerland unter Berücksichtigung der Küstenschutzvariante 1 für alle Biotoptypenkomplexe in den schon heute gesicherten Bereichen keine Kantenerosion und ein mit dem Meeresspiegelanstieg (säkular und beschleunigt) Schritt haltendes Aufwuchsvermögen erwarten. Für die Küstenschutzvariante 2 gilt dieser positive morphodynamische Trend gleichermaßen. Hinsichtlich der Breitenentwicklung sind jedoch deutliche Vorlandverluste von 100 m für die Fortschreibung des säkularen bzw. 200 m für einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg anzunehmen, da der Schutz der Vorlandkante durch Verbauung stark abnimmt (Abbildung 2).

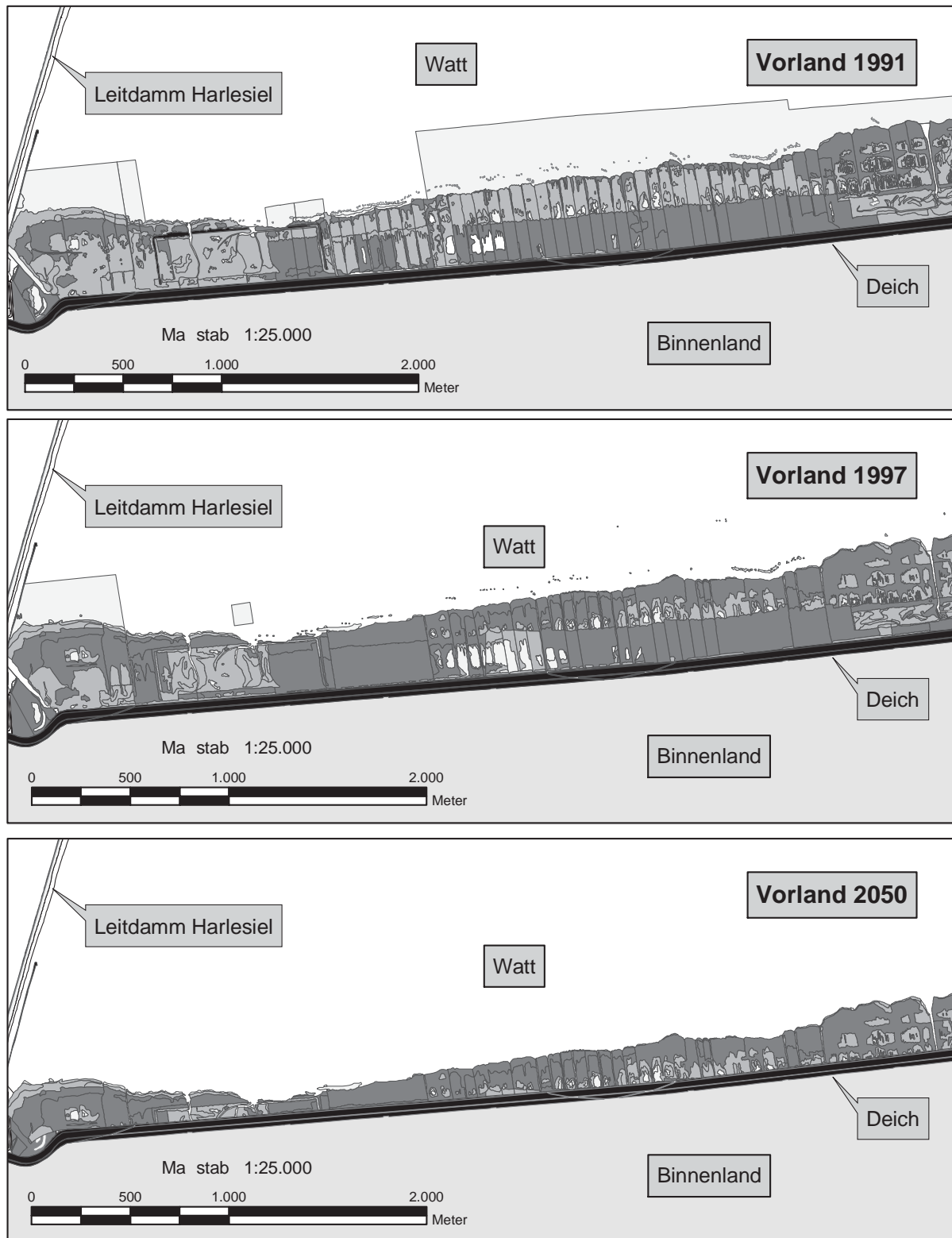


Abb. 2: Darstellung der Biotoptypkomplexe in den Vorländern des Wangerlandes in der Vergangenheit (oben: Kartierung 1991), im Status quo (mitte: Kartierung 1997) und prognostiziert für das Jahr 2050 (unten) abgeleitet aus den Entwicklungsmöglichkeiten (siehe im Text) unter Annahme der Küstenschutzvariante 2 (eingeschränkte Unterhaltung) und bei einem klimabedingt beschleunigten Meeresspiegelanstieg.

Legende

Biotoptypkomplexe

- Pionierzone
- Untere Salzwiese
- Obere Salzwiese
- Küstenschutzbauwerk
- weitere Biotoptypen

Für die Vorländer im Wangerland wurde unter den erwähnten Annahmen die morphodynamische Entwicklung von uns als „squeeze“-Variante (z.B. nach Hofstede 1994) bezeichnet. Das bedeutet, dass die Vorländer aufgrund der festen Position der Winterdeichlinie vor dieser „zusammengedrückt“ werden. Die „Gewinner“ dieser Entwicklung sind die Biotoptypen der Pionierzone und teilweise der unteren Salzwiese, während die „Verlierer“ die Biotoptypen der oberen Salzwiese sind, da ihre Flächengröße relativ stärker abnimmt (Abbildung 3). Da sich die Salzwiesen im Rückseitenwatt des Wangerlandes aber durch eine terrassenförmige Struktur auszeichnen, konnte sich in der Vergangenheit die obere Salzwiese v.a. zu Ungunsten der unteren Salzwiese ausbreiten (Tabelle 1). Bei den angenommenen Entwicklungsmöglichkeiten für die Vorlandbreite wird nun also eine Verschiebung aller Biotoptypen in Richtung Deich um 100 m bzw. 200 m berechnet, da sich die Vorlandhöhe bei dem identifizierten Aufwuchsvermögen und der Überflutungssensitivität in Relation zum MThw nicht ändert (Abbildung 2 unten).

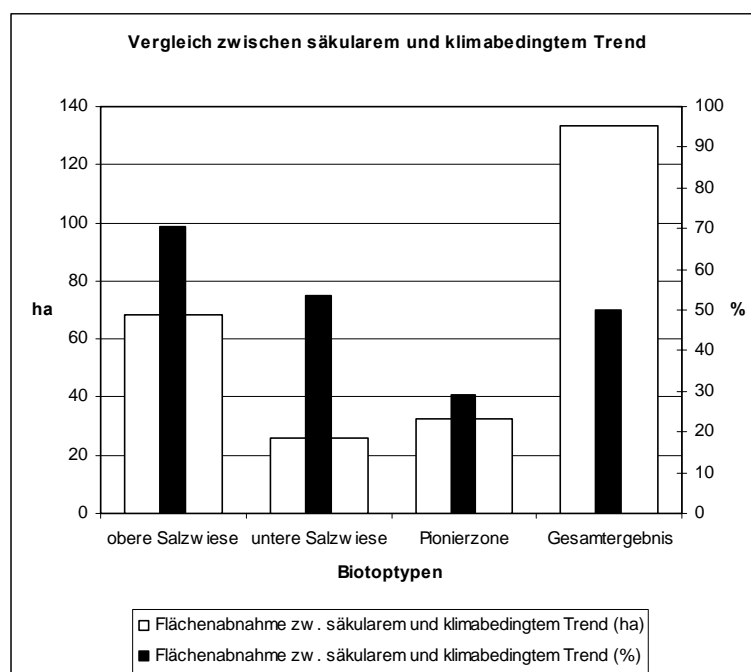


Abb. 3: Darstellung der Flächengrößenveränderungen der Biotoptypkomplexe (in ha und %) zwischen den Entwicklungsmöglichkeiten für die Vorlandbreite, d.h. zwischen säkularem und klimabeschleunigtem Trend des Meeresspiegelanstiegs, unter Annahme der Küstenschutzvariante 2.

2.3 Funktionsanalyse der Nutzerperspektive Küstenschutz

Das Wattenmeer wirkt mit seinen Außensänden, Wattflächen und v.a. den Vorländern als eine mehrfach gestaffelte Energieumwandlungszone, in der der aus der Nordsee anlaufende Seegang durch flächenhafte Brandung einen Teil seiner Energie abgibt und die Landesschutzdeiche nur noch mit reduzierter Wellenhöhe erreicht (Dieckmann 1987). Die Bedeutung der Vorländer als Bestandteile der Küstenschutzsysteme beruht also auf ihrer Fähigkeit die Seegangs- und Strömungsenergie des Tide- und Sturmflutgeschehens umzuwandeln und somit die hydrodynamische Belastung des Hauptdeiches zu reduzieren (Mai et al. 1998). Die Prozesse der Bodenreibung und des Wellenbrechens der Vorländer reduzieren dabei Höhe und Periode der den Hauptdeich erreichenden Wellen (Mai & Zimmermann 2000).

Die Ansprüche der Nutzerperspektive Küstenschutz an die Vorländer resultieren also aus den ökologischen Eigenschaften und Strukturen, die Funktionen hinsichtlich der Regulation von Wellen- und Strömungsenergie besitzen. Diese Regulationsfunktion beruht im Wesentlichen auf charakteristischen Strukturen des Pflanzenbewuchses der Vorländer wie sie in den Biotoptypen beschrieben sind. Es

kann zwischen den drei Funktionsansprüchen Erosionsschutz, Sedimentationsvermögen und Energietransmission unterschieden werden.

Erosionsschutz bezeichnet die Fähigkeit von Pflanzenarten und -gesellschaften, den Boden zu stabilisieren und die Strömungsenergie vom Boden abzulenken und somit Erosionsprozesse zu verhindern bzw. zu reduzieren (Erchinger et al. 1996). Ein durch- oder überströmter Pflanzenbestand bildet mit seinen Pflanzenstengeln und -blättern ein System von zufälligen und variablen Durchflussquerschnitten, die zu einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit und damit zur Herabsetzung der Sohlreibung führen. Besondere Bedeutung für die Erosionsstabilität hat die Ausprägung des Wurzelsystems, da Wurzeln und Bodenteilchen einen Verbund aus festen und elastischen Elementen bilden. Die Bodenteilchen besitzen eine hohe Stabilität gegenüber Druckkräften und das Wurzelgeflecht nimmt strömungsinduzierte Zug- und Scherkräfte auf (Grumblat 1987).

Das Sedimentationsvermögen ist v.a. von der strukturellen vertikalen und horizontalen Dichte der Vegetation abhängig (Osterthun & Partenscky 1991), da sie der wesentliche Regulator für die Sedimentrückhaltung und -resuspension ist. Die Sedimentationsrate steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der von der Höhenlage der Biotoptypen zum mittleren Tidehochwasser (MThw) abhängigen Überflutungsintensität. Überflutungshäufigkeit und -dauer, Tidenhub, Vorlandhöhe und -breite, verfügbare Sedimentmenge und -zusammensetzung sowie Sedimentablagerungen bei Sturmfluten sind weitere Parameter die die Aufwuchsgeschwindigkeit bestimmen.

Die Energietransmission ist abhängig von der Wuchshöhe, Bewuchselastizität und mechanischen Widerstandsfähigkeit der Pflanzen. Mit zunehmender Pflanzenhöhe wächst die Reduktion der Strömungsgeschwindigkeiten und führt somit zu einem verbesserten Schutz des Bodens (Führböter et al. 1992).

Für jede der genannten Eigenschaften kann ein ordinal skaliertes Wert definiert werden, der dann über mehrere Aggregationsschritte zu einem Funktionswert für die einzelnen Biotoptypen zusammengefasst wird (Tabelle 2). Die Multiplikation dieser Biotoptyp-Funktionswerte mit der zugehörigen Flächengröße ergibt für die gesamten Vorlandbereiche im Wangerland eine Funktionswertsumme, die die Ansprüche der Nutzerperspektive Küstenschutz an die Funktionsfähigkeit der ökologischen Eigenschaften des Systems widerspiegelt (Tabelle 3).

Biotoyp	Erosionsschutz		Sedimentationsvermögen		Energie- transmission		Gesamt- bewertung
	Wurzel- ausbil- dung (Bo- den)	De- ckungs- grad (Ab- schirm- ung)	Über- flutungs- intensität (Lage zu MThw)	strukturelle vertikale und hori- zontale Dichte (Rückhal- tung)	Elastizität und Wi- der- stands- fähigkeit	Vegeta- tionshö- he (Re- duzier- ung)	
Queller-Watt (KWQ)	+	++	+++	+	++	++	3
	+++		++++		++++		
Schlickgras-Watt (KWG)	++	+	+++	++	+	++	3
	+++		+++++		+++		
Untere Salzwiese, na- turnah (KHU)	++	++	++	+++	+++	+++	1
	++++		+++++		+++++		
Untere Salzwiese, be- weidet (KHW)	++	+++	++	++	++	++	2
	+++++		++++		++++		
Obere Salzwiese, na- turnah (KHO)	+++	++	++	++	+++	+++	1
	+++++		++++		+++++		
Obere Salzwiese, in- tensiv genutzt (KHI)	+++	+++	++	++	++	+	2
	+++++		++++		+++		
Obere Salzwiese des Brackübergangs (KHB)	++	+++	++	++	++	++	2
	+++++		++++		++++		
Queckenbestand der oberen Salzwiese (KHQ)	++	++	+	++	+++	++	3
	++++		+++		++++		

Tab. 2: Bewertung ausgewählter Biotoypen anhand ihrer von der Nutzerperspektive Küstenschutz in Anspruch genommenen Funktionen. Legende: Bedeutung für den Küstenschutz 1 = sehr hoch, 2 = hoch, 3 = mittel, 4 = gering, 5 = sehr gering/ohne; +++, ++, + = hohe, mittlere und geringe Bedeutung der Einzelkriterien.

2.4 Risikoanalyse der Vorländer aus der Sicht des Küstenschutzes

In Anlehnung an die klassische technische Risikodefinition bezeichnet auch ein ökologisches Risiko das Produkt aus Schadensausmaß und der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens. Das schadensverursachende Ereignis ist hier v.a. der beschleunigte Meeresspiegelanstieg, der zu ökologischen Schäden (Funktionsverlusten) aus Sicht der Nutzerperspektive Küstenschutz führt. Das Ausmaß dieser Schäden lässt sich Anhand der Entwicklung der Funktionswertsummen vergleichend für die jeweiligen Küstenschutzvarianten und Klimaszenarien ermitteln (Tabelle 3).

Biotoypen im Wanger- land	Status quo		säkularer MSA			beschleunigter MSA		
	Flächen- größe	Funk- tionswert	Flächen- größe	Funk- tionswert	Abnahme Funk- tionswert	Flächen- größe	Funk- tionswert	Abnahme Funk- tionswert
Küstenschutz- Variante 1	595 ha	1962	375 ha	1250	36%	286 ha	948	24%
Küstenschutz- Variante 2			267 ha	900	54%	134 ha	448	50%

Tab. 3: Darstellung der Verluste an Vorlandflächen und Funktionswerten der Biotoypen aus der Sicht der Nutzerperspektive Küstenschutz unter Berücksichtigung veränderter Meeresspiegelanstiege (MSA) und der beiden Küstenschutzvarianten (siehe auch im Text).

Werden also Nutzungsansprüche an die Landschaft gerichtet, bestehen sehr wohl spezifische Risiken, falls diese Ansprüche negativ beeinflusst werden. Die Auswirkungen des schadenauslösenden Ereignisses treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ein und haben entsprechende Folgen für die ökologischen Strukturen und Eigenschaften sowie deren Funktionen.

3 Ausblick

Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen klimabedingter Veränderungen in ökologischen Systemen gewinnen für gesellschaftliche Entscheidungsprozesse zunehmend an Bedeutung. Neben dem naturwissenschaftlichen Aspekt der Auswirkungen auf ökologische Strukturen, Prozesse und Wechselwirkungen, spielen bei einer handlungsorientierten, integrativen Klimafolgenforschung mit dem Ziel eines vermeidungsorientierten Managements die sozioökonomischen Konsequenzen des Klimawandels eine wichtige Rolle. Eine rein naturwissenschaftlich „objektive“ Darstellung der Auswirkungen greift bei der Formulierung von Handlungsoptionen für Entscheidungsträger zu kurz. Vielmehr müssen Veränderungen, die Auswirkungen auf Funktion bzw. Funktionsfähigkeit von ökologischen Strukturen haben, vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Handlungsnotwendigkeiten bewertbar gemacht werden.

Risiko ist das Resultat von Abwägungen zwischen Nutzen und Schaden aus Sicht der ausgewählten Nutzer. Diese Abwägungen setzen Entscheidungsalternativen voraus, wobei dem Bewertungsprozess letztlich moralische und politische Kriterien zugrunde liegen (Breckling & Müller 2000). Die Bewertung eines Risikos als akzeptabel oder inakzeptabel ist somit das Resultat einer Güterabwägung zwischen den Nutzerinteressen. Neben dem Küstenschutz sind hier insbesondere die Belange von Naturschutz, Landwirtschaft und Tourismus zu berücksichtigen. Eine ökologische Risikodefinition muss also auf menschliche bzw. gesellschaftliche Maßstäbe und Werte aus den verschiedenen Nutzerperspektiven zurückgreifen, die die Strukturen und Funktionen der ökologischen Systeme und ihre Änderungen abbilden und somit einer Risikobewertung zugänglich machen.

Literatur

- Blindow, H. (1987): Frieslands Salwiesen. Verlag C. L. Mettcker & Söhne, Jever, 93 S.
- Breckling, B. & F. Müller (2000): Der Ökologische Risikobegriff - Einführung in eine vielschichtige Thematik. In: Breckling, B.; Müller, F. (Hrsg.): Der ökologische Risikobegriff. Beiträge zu einer Tagung des Arbeitskreises Theorie in der Ökologie in der Gesellschaft für Ökologie vom 4.-6. März 1998, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, S. 1-15.
- Dieckmann, R. (1987): Bedeutung und Wirkung des Deichvorlandes für den Küstenschutz. In: Kempf, N., J. Lamp & P. Prokosch (Hrsg.): Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur? 1. Tagungsband der Umweltstiftung WWF-Deutschland, 2. Auflage, Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum, S. 163-187.
- Erchinger, H. F., H.-G. Coldewey & C. Meyer (1996): Interdisziplinäre Erforschung des Deichvorlandes im Forschungsvorhaben "Erosionsfestigkeit von Hellern". Die Küste, 58, S. 1-45.
- Führböter, A., H. Manzenrieder, M. Schulze & U. Kotzbauer (1992): Festigkeit von Hellern - Hydromechanik Hydraulik. Leichtweiss-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Bericht Nr. 732, 86 S.
- Grabemann, H.-J., I. Grabemann & D. Eppel (2004): Climate change and hydrodynamic impact in the Jade-Weser area: a case study. In: Schernewski, G. & T. Dolch (Hrsg.): Geographie der Meere und Küsten. Coastline Reports 1.
- Grumblat, J.-D. (1987): Auswirkungen von Beweidungsformen und Mahd auf Sedimentation und Erosion. In: Kempf, N., J. Lamp & P. Prokosch (Hrsg.): Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur? 1. Tagungsband der Umweltstiftung WWF-Deutschland, 2. Auflage, Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum, S. 189-213.

- Hofstede, J. (1994): Meeresspiegelanstieg und Auswirkungen im Bereich des Wattenmeeres, in: Lozán, J., E. Rachor, K. Reise, H. von Westernhagen, und W. Lenz (Hrsg.), Warnsignale aus dem Wattenmeer, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, S. 17-23.
- Mai, S. & C. Zimmermann (2000): Konzepte und Techniken im Küstenschutz im Lande Niedersachsen unter geänderten Klimabedingungen. Mitteilungen des Franzius-Institutes für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 84, S. 97-178.
- Mai, S., K.-F. Daemrich & C. Zimmermann (1998): Wellentransmission an Sommerdeichen. Wasser & Boden, Heft 11, S. 28-40.
- Osterthun, M. & H.-W. Partenscky (1991): Vorlandbildung an Deichen und Sicherungsdämmen. Teil 1: Morphologische Analyse der Vorlandentwicklung. Mitt. des Franzius-Institutes für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover, Heft 72, S. 369-391.
- Vagts, I., H. Cordes, G. Weidemann & D. Mossakowski (2000): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten (Salzwiesen & Dünen). Teil A: Synthese. Abschlußbericht des Verbundvorhabens, gefördert durch das BMBF & das Land Mecklenburg-Vorpommern, 199 S.
- Wittig, S. & J. Meyerdirks (2002): Küstenökologische Aspekte des Klimawandels. Verh. der Ges. für Ökologie, Band 32, S. 464.

Adresse

Dipl.-Biol. Stefan Wittig
c/o Dr. M. Schirmer
Universität Bremen
Abt. Aquatische Ökologie
Forschungsverfügungsgebäude (FVG)
Celsiusstraße
28359 Bremen

E-mail: swittig@uni-bremen.de