

# Wattökologische Folgen bei Änderung von Klima und Küste

*Karsten Reise  
Wattenmeerstation Sylt der  
Biologischen Anstalt Helgoland, List*

## 1. Einleitung

Flache Gezeitenküsten wie das Wattenmeer sind gegenüber einem Klimawandel besonders sensibel. Die Wassermasse ist relativ klein und der atmosphärische Einfluß groß. Daher bleibt die ausgleichende Wirkung des Meeres mit seiner hohen Wärmekapazität gering. Mit einer Klimaerwärmung ist ein Meeresspiegelanstieg verbunden. Dabei gilt: je flacher eine Küste, desto weitreichender die Folgen. Bei Überflutung werden limnisch-terrestrische Biotope in brackig-marine Biotope umgewandelt.

Der Klimawandel ist nur eine der vom Menschen verursachten, global wirksamen Umweltveränderungen - nicht die am besten verstandene, nicht die gegenwärtig bedeutendste und wahrscheinlich auch nicht die dauerhafteste (VITOUSEK 1994). Deswegen ist es wenig sinnvoll, den Klimawandel isoliert zu betrachten, sondern nur im Zusammenhang mit den anderen Veränderungen an der Wattenmeerküste.

Im Wattenmeer stößt der Klimawandel auf keine stabilen Verhältnisse. Die Zunahme der Sturmfluthöhen seit dem 16. Jahrhundert wird von RHODE (1992) aus historischen Quellen auf 28,5 cm in 100 Jahren geschätzt und nach Pegelaufzeichnungen ist das Tidehochwasser um 25 cm in den letzten 100 Jahren gestiegen (FÜHRBÖTER & JENSEN 1985, JENSEN et al. 1988). Höhere Wasserstände bewirken tiefere Gezeitenrinnen, Lageveränderungen der Inseln und eine landwärts wandernde Uferlinie. Letzteres wurde durch Deiche nicht nur abgewendet, sondern durch Verlandungsförderungen und Eindeichungen sogar in eine seewärts vorgeschobene Uferlinie umgekehrt (KRAMER 1992a). Die besiedelten Teile der Inseln werden in ihrer gegenwärtigen Position gehalten (KELLEKAT 1992; KRAMER 1992b). Wo Gezeitenrinnen zu Seehäfen füh-

ren, werden sie zunehmend ausgebaggert (FARKE 1994). Als Folge solcher Küstengestaltung klaffen natürlicher Sollwert und vom Menschen aufrecht erhaltener Istzustand weit auseinander. Morphologie und Hydrodynamik der Wattenmeerküste sind aus dem Gleichgewicht. Doch dies ist nur ein Aspekt.

Die Zahl der an der Wattenmeerküste lebenden und Erholung suchenden Menschen hat sprunghaft zugenommen. Die Nährstoffeinträge haben sich erhöht und dies verschob die ökologischen Produktionsverhältnisse. Populationen befischter Arten nahmen ab, während geschützte Vögel zunehmen konnten. Eingeschleppte Exoten haben sich in den Lebensgemeinschaften des Wattenmeeres fest etabliert.

Auf diese Situation an der Küste trifft nun, den Prognosen zufolge, ein beschleunigt ansteigender Meeresspiegel durch die vom Menschen ausgelöste Klimaerwärmung (SCHELLNHUBER & STERR 1993). Welche Wirkungen sind auf die ökosystemaren Prozesse und auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften zu erwarten? Eine Antwort wird im Kontext der übrigen Veränderungen gesucht. Diese werden in einem ersten Abschnitt zur modernen Küstenarchitektur und in einem zweiten Abschnitt zu weiteren Veränderungen dargelegt. Im dritten Abschnitt werden in dieses Veränderungsgeschehen die möglichen Folgen einer Klimaerwärmung integriert. Im letzten Abschnitt wird umsichtig überlegt, welche regionalen Maßnahmen sinnvoll wären, um unerwünschte Klimafolgen an der Küste zu mildern oder abzuwenden.

## **2. Veränderungen durch die moderne Küstenarchitektur**

Die Umgestaltung der Küste zur besseren Nutzung durch Landwirtschaft, Schifffahrt und Tourismus, sowie zur höheren Sicherheit der Bewohner, hat weitreichende, ökosystemare Folgen gehabt (Abb. 1). Die Eindeichungsrate überflügelte die natürliche Verlandungsrate (DIJKEMA 1987). Dies führte zu dem heutigen Defizit an Salzwiesen und Buchten. Potentielle Überschwemmungsräume wurden vom Wattenmeer abgedeicht und Brackröhrichte verschwanden. Aus der Verkleinerung der Wattflächen bei gleichzeitig ansteigenden Wasserständen und vertieften Fahrrinnen folgt für das Watt vor den Deichen ein erhöhter Energieeintrag pro Flächeneinheit, verbunden mit stärkeren Turbulenzen und Sedimentumlagerungen (siehe auch KJERFVE et al. 1994, RAFFAELLI 1992). Dadurch nehmen die Schlickwatten ab und feine Partikel bleiben länger in der Schwebe, was zu trüberem Wasser führt. Der seewärtige

Gradient von feinen zu größeren Sedimenten wurde durch die Eindeichungen landseitig abgeschnitten (FLEMMING & NYANDWI 1994).

Dadurch ist das heutige Wattenmeer in einigen Bereichen ärmer an sedimentierbaren Partikeln geworden. Zumindest aber in den verbliebenen Buchten werden wahrscheinlich Salzwiesen und Watten dennoch durch Sedimentation mit dem ansteigenden Meeresspiegel mitwachsen können (BAKKER et al. 1993, STENGEL & ZIELKE 1994).

Auf biologischer Ebene bedeutet dies eine Abnahme der Primärproduktion wegen schlechterer Lichtverhältnisse, instabilerer Sedimente und weniger Schlickwatten. Dieser Produktionsverlust pflanzt sich über die Konsumenten in der Wattbodenfauna fort bis zu den Fischen und Vögeln. Für Fische bedeutet die Entbuchtung der Küstenlinie mit nur noch wenigen, hoch liegenden Schlickwatten eine Beeinträchtigung der Kinderstubenfunktion.

Diese insgesamt negativen Folgen der modernen Küstenarchitektur auf die wattökologischen Verhältnisse werden in ihrer Tendenz durch die Hypertrophierung kompensiert; Flächen- und Biotopverluste ausgenommen. Die erhöhten Nährstoffeinträge steigern die Primärproduktion wo das Licht noch ausreichend ist. Dieser Effekt pflanzt sich über die Konsumenten in der Wattbodenfauna zu den Fischen und Vögeln fort. Eine solche Kompensation durch verschiedene Einwirkungen von außen darf nicht mit ökologischer Stabilität verwechselt werden, denn die beruht auf internen Rückkopplungen (REISE 1995). Weitere Faktoren, wie Fischerei, Jagd und Schadstoffe verstärken die negativen Folgen moderner Küstenarchitektur, während Naturschutz und das Einschleppen von Exoten die Anzahl der Organismen und die Biodiversität steigern.

### **3. Veränderte Populationen im Wattenmeer**

Durch die diversen Einwirkungen des Menschen auf die Ökologie des Wattenmeeres wurden einige Organismenarten gefördert und andere benachteiligt oder geschädigt (Tab. 1). Die Ursachen sind in einigen Fällen umstritten, da sich meist mehrere Faktoren gleichzeitig änderten, so daß Kombinationswirkungen möglich sind. Ein Hauptfaktor ist die Hypertrophierung. Die durch den Menschen erhöhten Nährstoffeinträge in das Küstenwasser haben Planktonblüten verstärkt, auf den Wattböden ein Massenwachstum von Grünalgen ausgelöst und in einigen Wattgebieten zu höherer Individuenzahl und Biomass-

se der Wattbodenfauna geführt (REISE 1994a). Diesen Steigerungen stehen Verluste an Seegraswiesen entgegen, deren Entwicklung durch epiphytische Algen gestört wird, vielleicht auch durch dichtere Wattwurmsiedlungen, die beide wiederum durch die Hypertrophierung begünstigt

<b>Objekt</b>	<b>Effekt</b>	<b>Ursache</b>
<i>Phaeocystis</i> (Phytoplankton), Grünalgen	Zunahme	Hypertrophierung
Seegras	Abnahme	Hypertrophierung
Bodenfauna	Zunahme	Hypertrophierung
Rotalgen	Abnahme	Trüberes Wasser
Schnecken, Muscheln	Defekte	Organozinnverbindungen
Austernbänke	verschwunden	Raubbau
Eulitorale Miesmuschelbänke	Abnahme	Raubbau
Sublitorale Miesmuscheln	Zunahme	Muschelkulturen
Epifauna der Rinnen	Abnahme	Schleppnetzfisherei
Stör, Lachs	verschwunden	Flußfisherei
Nagelrochen	verschwunden	Nordseefisherei
Grundel, Zwergzunge	Abnahme	Beifang der Krabbenfisherei
Seestichling, Schlangennadel	Abnahme	Seegrasabnahme
Meeräsche	Zuwanderung	Klima
Ringelgans, Weißwangengans, Brandente, Kormoran	Zunahme	Jagdverbot
Eiderente, Säbelschnäbler, Austernfischer, Brandseeschwalbe	Zunahme	Brutvogelschutz, Hypertrophierung
Zwergseeschwalbe, Seeregenpfeifer	Abnahme	Badebetrieb im Brutgebiet
Lachmöwe, Sturmmöwe	Zuwanderung	Hypertrophierung ?
Heringsmöwe	Zuwanderung	Fischereiabfälle

Exoten

Zunahme

Schiffsverkehr, Marikultur,  
Anpflanzung

*Tab.1. Historische Veränderungen in den Populationen der Lebensgemeinschaften im Wattenmeer, zusammengestellt aus Angaben in FLEET et al. 1994, LOZÁN et al. 1994, REISE 1990, 1994, RÖSNER et al. 1994.*

sind (PHILIPPART 1994, 1995). Durch Überproduktion ausgelöster Sauerstoffmangel trat im Wattenmeer bisher nur kleinflächig auf, da der tidale Wasseraustausch kompensierend wirkt (HÖPNER & MICHAELIS 1994). Die fischereiliche Nutzung des Wattenmeeres führte zur Zerstörung der natürlichen Austernbänke und zur Umstrukturierung der Miesmuschelbestände, schädigte die Epifauna der Gezeitenrinnen durch über den Grund geschleppte Netze und dezimierte die Fischbestände (LOZÁN et al. 1994, MICHAELIS & REISE 1994, REISE 1994a). Letzteres geschah nur zum Teil durch die Fischerei im Wattenmeer, sondern mehr noch durch den Fang von Wanderfischen in den Flüssen (z.B. Stör und Lachs) oder durch den Fang in der Nordsee (z.B. Nagelrochen). Eine deutliche Populationszunahme erfuhr nur die Meeräsrche (*Mugil chelo*), die in flachen Buchten Mikroalgen von Schlickböden abweidet.

Vogelpopulationen profitierten vom Naturschutz. Dies gilt für Durchzügler wie Ringelgans, Weißwangengans und Kormoran (RÖSNER et al. 1994) ebenso wie für die Brutvögel Eiderente und Brandente, Austernfischer und Säbelschnäbler, Brandseeschwalben und Möwenarten (FLEET et al. 1994). Einigen dieser Arten halfen auch das bessere Nahrungsangebot durch die Hypertrophierung, die Fischereiabfälle (Möwen) und eingedeichte Watten, die ohne landwirtschaftliche Nutzung blieben (Säbelschnäbler).

Zahlreiche Arten wurden von anderen Küsten her eingeschleppt und etablierten sich (REISE 1990, 1994). Mit dem Schiffsverkehr kamen die Planktonalge *Odontella sinensis* und die Wollhandkrabbe *Eriocheir sinensis* aus China, die Sandklaffmuschel *Mya arenaria* und die Schwertmuschel *Ensis americanus* aus Nordamerika und die Seepocke *Elminius modestus* aus Australien. Durch Austernkulturen kamen die Auster *Crassostrea gigas*, die Bohrmuschel *Petricola pholadiformis*, die Schnecke *Crepidula fornicata*, der Tang *Sargassum muticum* und die Planktonalgen *Coscinodiscus wailesii* und *Thalassiosira punctigera*. Angepflanzt wurde das Schlickgras *Spartina anglica* und breitete

sich dann aus, ebenso wie *Rosa rugosa* und der Sanddorn *Hippophae rhamnoides* und viele andere Pflanzen in den Dünen.

Abgesehen vom Vogelschutz, bewirkten alle diese Veränderungen in der Tendenz eine Abnahme habitatspezifischer, langsam reproduzierender Arten und eine Zunahme opportunistischer, schnell wachsender und kolonisierender Arten. Diese Verschiebung in den Anpassungsformen hat Implikationen für die Reaktionen auf künftige Veränderungen. Die bisherige Störungsgeschichte hat die Lebensgemeinschaften robuster gemacht.

#### **4. Klimaerwärmung und Meeresspiegelanstieg**

Zunächst sei der hypothetische Fall einer Erwärmung ohne Meeresspiegelanstieg betrachtet (Tab. 2). Die Primärproduktion würde sich voraussichtlich erhöhen, da Salzwiesenpflanzen wie das eingeführte Schlickgras in wärmeren Sommern besser wachsen würden (REISE 1994b). In Kombination mit der Hypertrophierung kann es nun aber auf den Watten bei erhöhter Algenproduktion zu Sauerstoffdefiziten kommen. Die durch Freisetzung von Schwefelwasserstoff verursachten schwarzen Flecken im sommerlichen Wattboden dehnen sich dann zum Nachteil der Bodenfauna aus. Deren Biomasse verringert sich, wenn die episodisch auftretenden, strengen Winter ausbleiben. Sie entkoppeln im Wattboden Räuber und Beute und ermöglichen dadurch im jeweils nachfolgenden Sommer das Heranwachsen starker Jahrgänge, insbesondere von Muscheln (BEUKEMA 1992, REISE 1985). Treten diese Entkopplungen nicht mehr auf, sinkt somit auch das Nahrungsangebot für Fische und Vögel. Die Biodiversität würde bei einer Erwärmung ansteigen. Sie ist generell höher an den südlicher gelegenen Küsten mit 2 oder 4°C höherem Temperaturdurchschnitt (VOOYS 1990). Die dort vorhandenen Arten würden zuwandern.

Die generelle Erwärmung wird nun allerdings zwangsläufig mit höheren Wasserständen verbunden sein. In dieser Kombination kommt es zu anderen ökologischen Konsequenzen, weil sich die negativen Auswirkungen der modernen Küstenarchitektur nun verstärken (Tab. 2). Der Energieeintrag pro Wattfläche erhöht sich jetzt schneller und damit auch der Abbruch an Salzwiesenkanten. Schlickwattflächen werden kleiner und durch die stärkeren Turbulenzen nimmt die Sedimentstabilität ab und die Wassertrübung weiter zu. Wo sich die Erwärmung auf die Primärproduktion steigernd auswirkte, werden die Pflanzen nun von der verstärkten Hydrodynamik entwurzelt. Die Bodenfauna, ohnehin in ihrer Gesamtheit nicht von der Erwärmung profitierend, wird nun zusätzlich

durch instabilere Sedimente und weitere Schlickwattverluste beeinträchtigt. Für Fische und Vögel nimmt die Nahrung somit verstärkt ab. Die Artenzusammensetzung wird sich mehr und mehr der einer exponierten Küste mit steilem Gefälle von der Hoch- zur Niedrigwasserlinie nähern. Solche Küsten sind artenärmer als buchtenreiche mit flachem Gradienten.

Entscheidend für diese insgesamt negative Prognose ist die zunehmende Diskrepanz zwischen der vom Menschen neu festgelegten Küstenlinie und dem natürlichen Sollwert, den eine Ausgleichsküste anstrebt. Durch die historische Entwicklung entstand eine Küstenform, die zwar bei der

	Moderne Küstenform	Hypertrophierung	Erwärmung ohne Meeresanstieg	Erwärmung mit Meeresanstieg
Primärproduktion	-	+	+	-
Bodenfauna	-	+	-	-
Fische und Vögel	-	+	-	-
Biodiversität	-	±	+	-

*Tab.2. Reaktionstendenzen im Ökosystem Wattenmeer auf die vom Menschen umgestaltete Küste, auf erhöhte Nährstoffeinträge und auf eine klimatische Erwärmung ohne und mit Meeresspiegelanstieg.*

prognostizierten Wasserstandszunahme (Verdopplung der bisherigen Rate) weiterhin gehalten werden kann (PETERSEN, dieser Band), aber die nachteiligen Wirkungen auf die ökologische Vielfalt im ungeschützten Wattbereich werden sich verschärfen. Damit wird die Klimaänderung im Wattenmeer insbesondere zu einem ökologischen Problem.

## **5. Von einer Konfrontation zur Verständigung mit dem ansteigenden Meer**

Globale Maßnahmen zur Abwendung vom Menschen verursachter Klimaänderung können nur sehr langfristig wirksam werden. Regionale Maßnahmen zur Abwehr unerwünschter Folgen sind daher zu überlegen. Bei den gegenwärtigen und den zu erwartenden ökologischen Veränderungen im Wattenmeer nimmt die moderne Küstenarchitektur eine Schlüsselrolle ein. Folglich ist nach einer neuen Küstenform zu suchen, die einen Erhalt oder sogar eine Wieder-

gewinnung von Biotopen und Lebensgemeinschaften trotz schneller ansteigendem Meeresspiegel ermöglicht (s.a. REISE et al. 1994).

An einer intensiv genutzten und dicht besiedelten Küste sind solchen Überlegungen enge Grenzen gesetzt. Änderungen der Küstenlandschaft sind nur dort möglich, wo Köge unbesiedelt blieben oder wo Veränderungen wirtschaftlich attraktivere Nutzungen versprechen als die bisherigen, so daß sich die Einwohner dafür entscheiden würden. Das im folgenden skizzierte Modell (Abb. 2) ist daher nur in kleinen Schritten umsetzbar. Außerdem müssen mit solchen Veränderungen erst Erfahrungen gesammelt werden, ehe sie ausgedehnt werden können.

Die Idee besteht darin, die heute abrupte Grenze zwischen entwässerter Marsch und dem Meer wieder fließender zu gestalten und mehr Wasser in der Landschaft zu speichern. Dadurch kann einerseits die Abgabe der Sturmflutenergie auf eine größere Fläche verteilt werden und andererseits wächst eine landschaftliche Vielfalt heran, die in wirtschaftlichen Gewinn umgemünzt werden kann.

Wo heute unbesiedelte Speicherbecken mit einem hohen Seedeich an das Wattenmeer grenzen, sollte bei Sturmfluten ein Eindringen des Meerwassers über einen abgeflachten Deich ermöglicht werden. Das übergeschwappte Sturmflutwasser wird anschließend nur langsam wieder dem Meer zurückgegeben. Mitgeführte Schwebstoffe können vorher sedimentieren. So entstehen binnendeichs Salzwiesen und Brackröhrichte, die durch Sedimentation mit dem ansteigenden Meeresspiegel hochwachsen.

Eine solche Umwandlung bisheriger Speicherbecken hat zur Konsequenz, daß dort die zweite Deichlinie zum Schutzdeich verstärkt werden muß. Eine andere Konsequenz ist, daß die Funktion als Speicher für nicht ins Meer abfließendes Oberflächenwasser ausfällt. Dies führt in den ältesten, weiter binnenlands gelegenen Kögen zu Überschwemmungen. Das Niveau dieser Köge liegt unter dem heutigen Meeresspiegel. Sie entstanden zu einer Zeit als der Meeresspiegel etwa einen Meter tiefer lag als heute und außerdem traten durch die Entwässerung Bodensackungen auf (KRAMER 1992c). So würden Seen entstehen, wo jetzt das Weidevieh gras. Je nach örtlichen Gegebenheiten müßten für die bewohnten Bereiche zusätzliche Dämme errichtet oder die Häuser auf Warften mit erhöhter Zuwegung gesetzt werden. In der Marsch entstünde so ein



abwechslungsreiches Mosaik aus Seen, Bruchwäldern, Wiesen und bewohnten Bereichen, das touristisch so attraktiv zu gestalten wäre, daß landwirtschaftliche Verluste mehr als kompensiert werden.

Für das Wattenmeer vor den Deichen haben diese Veränderungen den Vorteil, daß bei Sturmfluten ein Teil der Wassermassen in die Köge mit niedrigem Außendeich eindringen kann und so eine graduelle Energieabgabe möglich wird. Das aufgewühlte Sediment wird mit dem Ebbwasser nicht ausschließlich in die Nordsee hinausgetragen, sondern bleibt zum Teil in den überfluteten Kögen zurück. In diesen Kögen entstehen Überschwemmungsbiotope mit entsprechender biologischer Vielfalt, die der Küste durch Eindeichungen und Entwässerungen verloren gegangen sind.

Die möglichst kurze, oft buchtenlos vorgeschobene und scharf liegende Deichlinie führt zu einer Konfrontation zwischen Land und Meer. Sie bewirkt zusammen mit der Meeresspiegelerhöhung eine Aufsteilung des Gradienten zwischen Deich und tiefen Gezeitenrinnen sowie einen höheren, hydrodynamischen Energieeintrag pro verbliebener Wattfläche. Durch ein Zulassen von Überschwemmungen könnte die Küste mit der Meeresspiegelerhöhung auf natürlichem Wege mitwachsen, könnte sich also anpassen und ihre Biotopvielfalt dabei erhalten.

Dieses Modell ist aber nur eine sinnvolle Option, wenn die Hypertrophierung nicht mehr so zur Geltung kommt wie bisher. In den neu geschaffenen Überschwemmungsgebieten könnte es sonst zu Sauerstoffdefiziten kommen, verbunden mit der Entwicklung toxischer Bakterien (z.B. Botulismus bei Wasservögeln) und Flagellaten (ELBRÄCHTER 1994, HAGGE 1994). Auch die Biodiversität würde in diesen hypertrophen Stillwasserzonen sinken. Wenn es gelingt, gleichzeitig mit der Renaturierung der Küstenform auch die Nährstoffeinträge zu drosseln, dann können sich durchaus auch positive Effekte für die ökologische Entwicklung an der Küste bei einer klimatischen Erwärmung ergeben.

## **6. Zusammenfassung**

Die ökologischen Folgen einer Klimaerwärmung mit ansteigendem Meeresspiegel können nur im Zusammenhang mit den anderen Veränderungen an der Wattenmeerküste prognostiziert werden. Die quantitativen Relationen im Ökosystem und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften sind in erheblicher

chem Umfang vom Menschen durch Deichbau und Entwässerungen, Hypertrophierung, Fischerei, eingeschleppte Exoten und Naturschutz beeinflusst. Ein Schlüsselfaktor ist die moderne Küstenform. Sie unterliegt zunehmender Diskrepanz zwischen dem durch Eindeichungen gesetzten Istwert und dem natürlichen Sollwert einer Ausgleichsküste. Bei schneller ansteigendem Meeresspiegel führt dies zu Erosionen im Wattbereich. Die Folge ist eine ökologische Verarmung des bisher vielfältigen Wattenmeeres. Zur Kompensation wird vorgeschlagen, die abrupte Grenze zwischen entwässerter Marsch und dem Meer wieder fließender zu gestalten. Dadurch kann einerseits die Sturmflutenergie über eine größere Fläche verteilt werden, andererseits wächst im Überschwemmungsbereich eine landschaftliche Biotopvielfalt heran, die für die wirtschaftliche Entwicklung der Region eine Chance bedeuten kann.

## Literatur

- BAKKER, J.P., LEEUW, J. de, DIJKEMA, K.S., LEENDERTSE, P.C., PRINS, H.H.T., ROZEMA, J. 1993. Salt marshes along the coast of The Netherlands. - *Hydrobiologia* 265: 73-95.
- BEUKEMA, J.J. 1992. Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: lessons from periods with mild winters. - *Neth. J. Sea Res.* 30: 73-79.
- DIJKEMA, K.S. 1987. Changes in salt-marsh area in the Netherland Wadden Sea after 1600. - In: Huiskers, A.H.L., Blom, C.W.P.M., Rozema, J. (Edts.). *Vegetation between Land and Sea*: 42-49, Junk, Dordrecht.
- ELBRÄCHTER, M. 1994. Phytoplankton und toxische Algen im Wattenmeer. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. v. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). *Warnsignale aus dem Wattenmeer*: 81-86, Blackwell, Berlin.
- FARKE, H. 1994. Eingriffe durch Baggararbeiten. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. v. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). *Warnsignale aus dem Wattenmeer*: 60-64, Blackwell, Berlin.
- FLEET, D.M., FRIKKE, J., SÜDBECK, P., VOGEL, R.L. 1994. Breeding birds in the Wadden Sea 1991. *Wadden Sea Ecosystem No.1*. Common Wadden Sea Secretariat & Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven.
- FLEMMING, B.W., NYANDWI, N. 1994. Land reclamation as a cause of fine-grained sediment depletion in backbarrier tidal flats (southern North Sea). - *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 299-307.
- FÜHRBÖTER, A., JENSEN, J. 1985. Säkularänderungen der mittleren Tidewasserstände in der Deutschen Bucht. - *Die Küste* 42: 78-100.

- HAGGE, A. 1994. Ökologische Rolle der Brackwasserseen, Speicherbecken und Ersatzwatten. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. V. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 205-211, Blackwell, Berlin.
- HÖPNER, T., MICHAELIS, H. 1994. Sogenannte 'Schwarze Flecken' ein Eutrophierungssymptom des Wattenmeeres. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. V. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 153-158, Blackwell, Berlin.
- JENSEN, J., MÜGGE, HE., VISSCHER, G. 1988. Untersuchungen zur Wasserstandsentwicklung in der Deutschen Bucht. - Die Küste 47: 135-161.
- KELLEKAT, D. 1992. Coastal erosion and protection measures at the German North Sea coast. - J. Coast. Res. 8: 699-711.
- KJERFVE, B., MICHENER, W.K., GARDNER, L.R. 1994. Impacts of climate change in estuary and delta environments. - In: PERNETTA, J., LEEMANS, R., ELDER, D., HUMPHREY, S. (Edts.). Impacts of Climate Change on Ecosystems and Species: Marine and Coastal Ecosystems: 31-43, IUCN, Gland, Switzerland.
- KRAMER, J. 1992a. Entwicklung der Deichbautechnik an der Nordseeküste. - In: Kramer, J, Rohde, H. (Hrsg.). Historischer Küstenschutz: 63-109, Wittwer, Stuttgart.
- KRAMER, J. 1992b. Schutz der sandigen Küsten. - In: Kramer, J, Rhode, H. (Hrsg.). Historischer Küstenschutz: 139-182, Wittwer, Stuttgart.
- KRAMER, J. 1992. Binnenentwässerung und Sielbau im Küstengebiet der Nordsee. - In: Kramer, J, Rohde, H. (Hrsg.). Historischer Küstenschutz: 111-138, Wittwer, Stuttgart.
- LOZÁN, J.L., BRECKLING, P., FONDS, M., VEER, H. van de, WITTE, J.IJ. 1994. Über die Bedeutung des Wattenmeeres für die Fischfauna und deren regionale Veränderung. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. v. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 226-233, Blackwell, Berlin.
- MICHAELIS, H., REISE, K. 1994. Langfristige Veränderungen des Zoobenthos im Wattenmeer. - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. v. WESTERNHAGEN, W. LENZ (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 106-116, Blackwell, Berlin.
- PHILIPPART, C.J.M. 1994. Interactions between *Arenicola marina* and *Zostera noltii* on a tidal flat in the Wadden Sea. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 111: 251-257.

- PHILIPPART, C.J.M. 1995. Effect of periphyton grazing by *Hydrobia ulvae* on the growth of *Zostera noltii* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. - Mar. Biol. 122: 431-437.
- RAFFAELLI, D. 1992. Conservation of Scottish estuaries. - Proc. Royal Soc. Edinburgh 100B: 55-76.
- REISE, K. 1985. Predator control in marine tidal sediments. - In: GIBBS, P.E. (Edt.). Proc. 19th Eur. Mar. Biol. Symp.: 311-321, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- REISE, K. 1990. Historische Veränderungen in der Ökologie des Wattenmeeres. - Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, N382: 35-50, West-deutscher Verlag.
- REISE, K. 1994a. Changing life under the tides of the Wadden Sea during the 20th century. - Ophelia Suppl. 6: 117-125.
- REISE, K. 1994b. Das Schlickgras *Spartina anglica*: die Invasion einer neuen Art. - In: Lozán, J.L. et al. (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 211-214, Blackwell, Berlin.
- REISE, K. 1995. Predictive ecosystem research in the Wadden Sea. - Helgoländer Meeresunters. 49: 495-505.
- REISE, K., LOZÁN, J.L., RACHOR, E., von WESTERNHAGEN, H. 1994. Ausblick: wohin entwickelt sich das Wattenmeer? - In: LOZÁN, J.L., E. RACHOR, K. REISE, H. v. WESTERNHAGEN, W. IENZ (Hrsg.). Warnsignale aus dem Wattenmeer: 343-348, Blackwell, Berlin.
- RHODE, H. 1992. Entwicklung der hydrologischen Verhältnisse im deutschen Küstengebiet. - In: KRAMER, J., H. RHODE, (Hrsg.). Historischer Küstenschutz: 39-62, Wittwer, Stuttgart.
- RÖSNER, HU., ROOMEN, M.van, SÜDBECK, P., RASMUSSEN, L.M. 1994. Migratory waterbirds in the Wadden Sea 1992/93. - Wadden Sea Ecosystem No. 2. Common Wadden Sea Secretariat & Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven.
- SHELLNHUBER, HJ., STERR, H. (Edts.) 1993. Klimaänderung und Küste: Einblick ins Treibhaus. - Springer, Berlin.
- STENGEL, T., ZIELKE, W. 1994. Der Einfluß eines Meeresspiegelanstiegs auf Gezeiten und Sturmfluten in der Deutschen Bucht. - Die Küste 56: 93-117.
- VITOUSEK, P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. - Ecology 75: 1861-1876.
- VOOYS, C.G.N. de 1990. Expected biological effects of long-term changes in temperatures on benthic ecosystems in coastal waters around the Netherlands.

- In: BEUKEMA, J.J., WOLFF, W.J., BROUNS, J.W.M. (Eds.). Expected Effects of Climatic Change on Marine Coastal Ecosystems: 77-82, Kluwer, Dordrecht.