



© selmaksan – iStockphoto

3.1.14 Meeresspiegelanstieg und hydrologische Probleme der Küstenzonen

MICHAEL SCHIRMER, BASTIAN SCHUCHARDT & HORST STERR

Sea level rise and hydrological problems of coastal areas: IPCC (2007a) estimates a sea-level rise by 18 to 59 cm until 2100 due to global warming. Evidence, however, is increasing, that accelerated melting of continental glaciers may result in a 100+ cm by the end of the 21st century. Further impacts on the coastal zone result from regional tectonic subsidence, shore erosion, changes in fresh water discharge and intensified cyclones. Increased precipitation will enhance river floods and threaten coastal cities and densely populated deltas, e.g. London, Bangkok, Calcutta and the Ganges/Brahmaputra, Jangtsekiang and Mekong deltas. As about 50% of the world's population live within coastal areas, their ecological functions, stability and benefits are rapidly deteriorating under anthropogenic pressure and climate change. General vulnerability assessments according to a Common Methodology proposed by IPCC are now being replaced by highly integrated regional risk assessments including natural and social sciences and public risk communication. Examples are given for the German island of Sylt and the Weser estuary region, for which the adaptation capacity is estimated as being high, whereas in many coastal regions and islands outside Europe and North America adaptation will pose huge problems. Examples are given which document a considerable reduction of costs when adaptation to sea level rise is initiated in an early stage.

Der vierte Klimazustandsbericht des IPCC (AR4) von 2007 (IPCC 2007a) kommt aus eher methodischen Gründen zu etwas geringeren Anstiegsraten für den Meeresspiegel als der dritte Report (TAR), der 8 bis 88 cm vermutet hatte (IPCC 2001a). Je nach zugrunde gelegtem Emissionsszenario geht AR4 von 18 bis 59 cm Anstieg zwischen 1980–1999 und 2090–2099 aus. Unter anderem schlägt dabei der Faktor thermische Ausdehnung mit 10 bis 41 cm zu Buche, das Abschmelzen der Gebirgsgletscher mit 0,7 bis 17 cm, der Beitrag Grönlands mit 0,1 cm bis 12 cm und der Beitrag der Antarktis mit -10 cm bis -3 cm (negatives Vorzeichen

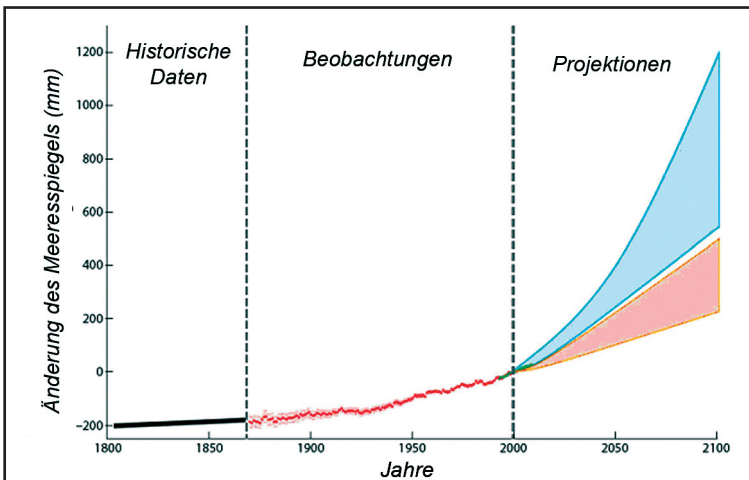


Abb. 3.1.14-1: Entwicklung des mittleren globalen Meeresspiegels zwischen 1800 und 2100 aus Beobachtungen (für das 19. und 20. Jahrhundert) und Modellprojektionen für das 21. Jahrhundert (CAZENAVE & LLOVEL 2010). Die **fette schwarze Linie** repräsentiert den Meeresspiegel entsprechend unterschiedlicher Beobachtungen aus dem 19. Jhd., die **rote Linie** basiert auf Pegeldaten, die **grüne Linie** beruht auf Satellitenmessungen seit 1993. Die **rosa eingefärbte Fläche** beinhaltet die Projektionen gekoppelter Klimamodelle (IPCC 2007a, AR4), die **hellblaue Fläche** enthält Projektionen von RAHMSTORF (2007).

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

bedeutet Absinken des Meeresspiegels). Nach eigener Einschätzung der Autoren und einer Anzahl in der Zwischenzeit publizierter Untersuchungen (u.a. RAHMSTORF 2010; CAZENAVE & LLOVELL 2010) muss jedoch davon ausgegangen werden, dass das Abschmelzen der Gebirgsgletscher und vor allem des grönländischen Eisschildes erheblich schneller voran schreitet als im AR4 angenommen. CAZENAVE & LLOVELL (2010) veranschaulichen den möglichen zukünftigen Anstieg des Meeresspiegels wie *Abb. 3.1.14-1* zeigt.

Ein gewichtiger Indikator für die überdurchschnittliche Erwärmung der arktischen Eismassen ist die dramatische Abnahme von Ausdehnung und Dicke des Eises mit Rekord-Minima seit 2006 (NSIDC 2011; NASA 2011) und die sommerliche Öffnung der Ost- und Westpassagen. In Vorbereitung auf den 5. IPCC-Bericht wurden die diesbezüglichen Probleme ausführlich diskutiert (IPCC 2010). NICHOLLS & CAZENAVE (2010) schätzen, dass das beschleunigte Abschmelzen der polaren Eismassen den Meeresspiegel um mehr als 1 m zum Ende des Jahrhunderts ansteigen lassen könnte.

Die Zahlen deuten an, dass die Unsicherheitsmargen bedeutsam sind, was sowohl für die frühen Pegelgestützten Beobachtungsdaten gilt (zumeist bis 1990, danach zunehmend Satellitendaten) als auch für die Modell-gestützten Untersuchungen der künftigen Entwicklung. GRINSTED et al. (2009) schätzen, dass der Anstieg des Meeresspiegels in AR4 um den Faktor 3 unterschätzt wird und der Meeresspiegel in 2090–2099 für das A1B-Szenario um 0,9 bis 1,3 m ansteigen dürfte (und mit hoher Wahrscheinlichkeit außerhalb der IPCC-AR4-Vertrauensbereiche liegen wird).

Die im vierten Statusbericht des IPCC (2007a) dargestellten Spannweiten beruhen zudem auf unterschiedlichen Annahmen über die zukünftigen sozialen, ökonomischen und technischen Entwicklungen weltweit, formuliert als Set von vier unterschiedlichen Storylines (SRES)(IPCC 2000). Aus diesen resultieren insgesamt 40 verschiedene Emissionsszenarien für Treibhausgase, die zu unterschiedlichen Veränderungen der atmosphärischen Zusammensetzung, entsprechenden Temperaturanstiegen und den oben genannten Veränderungen des Meeresspiegels führen.

Die Regionalisierung bzw. das Downscaling von Annahmen über die zukünftige Meeresspiegellhöhe wird weiterhin erschwert durch die unterschiedliche Wirkung verstärkter Süßwasserzufuhr in die Küstenmeere und durch die regional u.U. bedeutsamen geotektonischen Bewegungen im Küstenbereich. So gilt z.B. für die südliche Nordseeküste postglazial eine Senkungsrate von etwa 10 bis 15 cm pro Jahrhundert (STREIF 1993), die dem globalen Meeresspiegelanstieg hinzuzurechnen ist. Vulnerabilitätsanalysen von

»weichen«, sedimentgeprägten Küsten müssen überdies durch Veränderungen küstennaher Strömungen bewirkte Erosions- oder Akkumulationsprozesse in Betracht ziehen und Sackungs- und Kompaktionsprozesse der eingedeichten und trocken gelegten Küstenmarschen berücksichtigen.

Die durch einen Klimawandel bewirkten Veränderungen im Wasserhaushalt der Atmosphäre mit ihren Folgen für Niederschlag und Kontinentalabfluss sind noch erheblich schwerer zu prognostizieren (vgl. Kap. 3.1.2). Hier spielen die geographische Lage der Flusseinzugsgebiete, ihre Größe, orographische Eigenschaften und auch menschliche Eingriffe in die Oberflächeneigenschaften sowie das Abflussregime eine große Rolle. Entsprechend dem Anstieg der Temperatur und der Wasseraufnahmekapazität der Atmosphäre wird sich der global gesicherte Trend zu mehr Niederschlägen fortsetzen. Für die gemäßigten Breiten Europas deutet sich – in Übereinstimmung mit den Klimaprognosen – bereits eine deutliche Zunahme der winterlichen Niederschläge und Abflüsse an, während im Sommer etwas weniger Regen fällt, der zudem aufgrund erhöhter Temperaturen zu noch weniger Abfluss führt (s. Kap. 3.1.5 und Kap. 3.1.6). In Übereinstimmung mit den Projektionen des IPCC kann es trotz einer Verringerung der sommerlichen Niederschläge insgesamt zu einer Häufung extremer Niederschlagsereignisse kommen.

Für Flüsse wie den Rhein, die einen Teil ihres Wassers aus alpinen Regionen beziehen, besteht somit die Gefahr, dass das sommerliche, durch die Schneeschmelze bedingte Abflussmaximum immer eher eintritt und, beim Zusammentreffen mit dem ebenfalls verstärkten Winter-/Frühjahrschwasser aus den tiefer liegenden Anteilen des Einzugsgebietes, zu extremen Hochwasserereignissen führt. KLIJN et al. (2004) zitieren Prognosen eines Anstiegs des für den holländischen Rhein geltenden 1.250-jährigen Bemessungshochwassers von derzeit 15.000 auf bis zu 18.000 m³/sec. Im Rheindelta führt diese Entwicklung, verstärkt durch den beschleunigt steigenden Meeresspiegel, zu einem enormen Anstieg der Gefährdung der dicht besiedelten Region. Das neu aufgelegte nationale Anpassungsprogramm (DELTAKOMMISSIE 2008) nimmt diesen Wert auf und verbindet ihn mit der Perspektive eines Meeresspiegelanstiegs um 0,65 bis 1,3 m bis 2100.

Ähnliche Entwicklungen mit einer Vergrößerung der saisonalen Abflussamplitude sind in den großen Deltas der Erde zu erwarten, insbesondere unter Monsuneinfluss (z.B. Ganges-/Brahmaputra, (vgl. SCHIRMER 2001), Irawaddi, Menam, Mekong, Jangtsekiang, Huang-he), wohingegen das Mississippi- und das Nildelta bereits heute unter Wasser- und Sedimentmangel Zerfalls-

erscheinungen zeigen (eine Übersicht geben ARNELL & LIU in IPCC 2001b; siehe auch die Ergebnisse der Konferenz »Deltas in Times of Climate Change« Rotterdam 2010 (PARRY 2010)). Als höchst sensibel gegenüber einem Klimawandel und Meeresspiegelanstieg muss des Weiteren die labile Grenze zwischen Süß- und Meerwasser im Küstenbereich angesehen werden. Dies gilt vor allem für die Süß-/Brackwassergrenze in Flussmündungen und im küstennahen Grundwasser der Fluss- und Seemarschen, die gleichzeitig durch landwirtschaftliche Nutzung und Trinkwassergewinnung anthropogen weltweit stark beeinflusst werden. IPCC (2007a) hält zudem eine Zunahme von Stürmen und Sturmfluten für wahrscheinlich. In Vorbereitung zur Klimakonferenz in Kopenhagen fassten ALLISON et al. den aktualisierten Stand der Wissenschaft zusammen (COPENHAGEN 2009) und bestätigten entsprechende Einschätzungen und messbare Tendenzen.

Die Überlagerung der genannten Klimateffekte in den Küstenräumen der Welt stellt schon mittelfristig für die dort konzentrierten Groß- und Megastädte erhebliche Gefahren dar. Akute Beispiele sind Bangkok, Dhaka, Kalkutta, New Orleans und Rotterdam als mittelfristig gefährdet müssen z.B. auch London, Mumbai und Shanghai angesehen werden (DELTA ROTTERDAM 2010). Ebenfalls als Trend erkennbar wird eine Zunahme starker Konvektionsniederschläge im Zusammenhang mit Gewittern, die insbesondere in Flüssen mit kleinem Einzugsgebiet und in Städten mit hohem Versiegelungsgrad das Niederschlagsmanagement zunehmend überfordern.

Direkte und indirekte Folgen

Vulnerabilität von Küstengebieten

Allgemein betrachtet erfüllen die Ozeane und Küstengewässer eine Vielzahl ökologisch und ökonomisch

wichtiger Funktionen, die in die drei Gruppen Regulationsfunktionen, Produktions-/Nutzungsfunktionen sowie Informationsfunktionen untergliedert werden können (STERR et al. 2003). Bereits jetzt leben knapp 50% der Weltbevölkerung in Küstenregionen – Tendenz zunehmend. Für die meisten dieser Menschen stellt das Küstenmeer Rohstoffe, Nahrung, Lebens- und Erholungsraum oder Lagerstätten für Abfälle zur Verfügung. Es wird oft übersehen, dass zusätzlich zur direkten Produktgewinnung aus dem Meer auch die »von selbst ablaufenden« Prozesse der Bio-Regulierung im aquatischen Milieu eine große wirtschaftliche Rolle spielen. Küstengewässer sind aber vielerorts bereits durch Umwelteinflüsse wie intensive Grundwassernutzung, Nähr- und Schadstoffeinträge, künstliche Vertiefung der Flussmündungen etc. in ihrem ökologischen Gleichgewicht gestört. Zu diesem vielschichtigen Nutzungsdruck wird sich nach derzeitiger Erkenntnis in den kommenden Jahrzehnten eine Reihe von klimabedingten Risiken hinzugesellen, welche die Problemlage vieler Küsten weiter verschärfen (SCHELLNHUBER & STERR 1993, BEUKENKAMP 1993, DASCHKEIT & STERR 2003, IPCC 2007b, NICHOLLS & CAZENAIVE 2010). Es ist somit zu befürchten, dass die für die ökologische Stabilität und menschliche Nutzung bedeutsamen Funktionen der Küstenlandschaften langfristig zumindest regional durch klimabedingte Einflüsse nachhaltig beeinträchtigt werden (Abb. 3.1.14-2).

Die Auswirkungen der einleitend beschriebenen hydrographischen und hydrologischen Veränderungen bzw. Szenarien werden sich in sehr unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen bemerkbar machen. Den eher graduellen, d.h. langsamen Entwicklungen, wie sie mit ozeanischen Einflüssen (Strömungen, Meeresspiegel) einhergehen, stehen die plötzlich und überraschend auftretenden Einwirkungen gegenüber – meist in Form oder Begleitung von katastrophalen Extremereignissen.

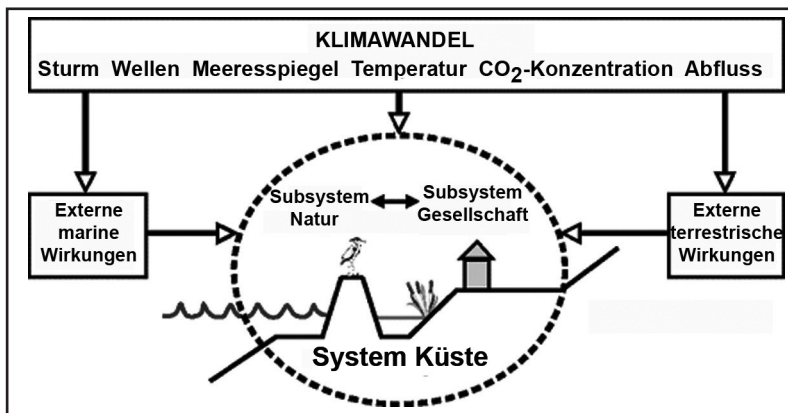


Abb. 3.1.14-2: Wirkungspfade des Klimawandels im Küstenbereich (aus IPCC 2007b) (http://ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/figure-6-1.html).

Die Palette der Möglichkeiten der klimatologischen und hydrologischen Beeinflussung von tief liegenden Küstengebieten wird im Bericht der IPCC-Working Group II (Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC 2007) im Kapitel 6 (Coastal Systems and Low-Lying Areas; http://ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch6.html) differenziert dargestellt. Von Bedeutung sind dabei insbesondere die folgenden Veränderungen und Prozesse als Folge:

- a) der zunehmende CO₂-Gehalte der Atmosphäre, des beschleunigten Meeresspiegelanstiegs und der höheren Wassertemperaturen:
 - Versauerung der Ozeane (anschaulich unter NOAA 2011),
 - Änderungen der tideabhängigen Wasserspiegellagen und des Tidenhubs (graduell, auch von wasserbaulichen Eingriffen abhängig; s. z.B. für die Weser HOLZWARTH & KÖSTERS 2010),
 - Abnahme der Meereisbedeckung und Änderungen im Salzgehalt,
 - Rückstau des Oberwassers in Ästuaren und anderen Flussmündungen,
 - Grundwasseranhebung mit Bodenvernässung,
 - Höhere statistische Häufigkeit von Extrempegelständen durch Anhebung des Ausgangsniveaus sowie infolge von Veränderungen der regionalen Ozeanzirkulationsmuster;
- b) als Folge von zunehmenden Wetterextremen, besonders von Starkwind- und Starkregenereignissen:
 - Zunahme von großflächigen Überflutungen unzureichend geschützter Küstenniederungen bei Sturmfluten; so scheint im Bereich der südlichen Nordsee und Ostsee ein Trend zu größerer Sturmfluthäufigkeit inzwischen belegt (GÖNNERT 2000, HUPFER et al. 2003, KLIMABERICHT 2010),
 - Zunahme der Sturmflut-bedingten Erosion von Stränden, Dünen und Kliffs etc. als globales Problem,
 - wachsende Überflutungsgefährdung an Flussunterläufen und in Ästuaren als Ergebnis von landseitigen Hochwasserwellen (u.a. Vergrößerung der Deichbruchwahrscheinlichkeit),
 - Verschärfung dieser Gefahr durch ein Zusammenreffen von Abflussspitzen im Einzugsgebiet und Sturmflutpegelständen von See her,
 - verstärkte Mobilisierung von Sedimenten (z.T. auch von Nähr- und Schadstoffen) sowohl im Einzugsgebiet als auch im Küstenvorfeld;
- c) resultierend aus den unter a) und b) genannten Effekten:
 - möglicher Verlust von seeseitigen Feuchtgebieten (bes. Watten, Salzwiesen/-marschen und Mangroven),

- Ausdehnung der Salinität in den Ästuargebieten flussaufwärts (HOLZWARTH & KÖSTERS 2010),
- Eindringen von Meerwasser in Aquifere, Süßwasserquellen, -linsen und Böden,
- mögliche lokale Vergrößerung landseitiger Feuchtgebiete durch Rückstaueffekte,
- zunehmender Stress für Korallenriffe (Korallenbleiche),
- massive Zunahme von Überflutungs- und Erosionsrisiken im Bereich flacher Inseln bis hin zum Verlust ganzer Atolle etc.

Aus den o.g. Prozessen und deren Folgen ergeben sich eine Fülle von Auswirkungen für die Küstenbevölkerung und die in der Küstenzone vorhandenen Siedlungs- und Nutzungsstrukturen. Kurzzeitige, meteorologisch bedingte Hochwasserereignisse führen im Allgemeinen zu gravierenderen sozio-ökonomischen Folgen als ein allmählicher Meeresspiegelanstieg. In Abhängigkeit von der Lage der Siedlungen und der Art bzw. Verteilung der Nutzungen variiert zudem die Überflutungsgefährdung entlang der Küste von Ort zu Ort, während sich ein allmählich steigender Meeresspiegel fast überall in Form von landwärtiger Verlagerung der Uferlinie bemerkbar macht.

Es handelt sich also bei den Auswirkungen der Wasserstandsänderungen meist um negative Folgen, denen nur wenige positive Effekte gegenüberstehen. Der klimatische Trend des Meeresspiegelanstiegs wird häufig lokal noch durch Landsenkungstendenzen (s.o.) verstärkt. Für einen Vergleich ganz unterschiedlicher Küstenregionen wurde mit der Common Methodology (CM) ein methodisches Konzept entwickelt, mit dem speziell die aus einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg und geänderter Sturmfluthäufigkeit zu erwartenden Risiken für Küstenräume vergleichend untersucht und bewertet werden konnten (IPCC 1992). In der CM sind folgende Vulnerabilitätsindikatoren genannt:

- Betroffene Bevölkerung (population affected): Die Bevölkerung, die in der Risikozone lebt und ein Gebiet bewohnt, das ohne Schutzmaßnahmen mindestens einmal in 1.000 Jahren von Überschwemmung/Erosion oder Hochwasser betroffen wäre.
- Betroffene sozio-ökonomische Werte (capital values at loss), insbesondere die Sachwerte von Landflächen, Gebäuden und Infrastruktur, die dauerhaft durch Überschwemmungen oder Erosion verloren gehen können.
- Gefährdete Bevölkerung (population flooded) d.h. die Anzahl von Personen, die von den (künftigen) hydrologischen Szenarien betroffen sind, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit der jährlichen Überflutung des betroffenen Gebietes. Dabei wird unter-

- schieden in
- a) die Bevölkerung in einem Gebiet, das nicht durch weitere Flutschutzmaßnahmen gesichert wird (no measures),
 - b) die Bevölkerung in einem Gebiet, in dem zusätzliche Schutzmaßnahmen gegenüber einem Meeresspiegelanstieg vorgesehen sind (with measures).
- Gefährdung sozio-ökonomischer Werte (values at risk), d.h. Kapitalwerte und Subsistenzwerte wie Arbeitsplätze etc. in Relation zur Überflutungswahrscheinlichkeit.
 - Veränderung sozio-ökonomischer Werte (values at change), insbesondere Einschränkungen der Landnutzung und indirekte Schäden bzw. Kosten.
 - Verlust ökologischer Werte (area of land at loss), insbesondere Verlust bzw. Dezimierung von Feuchtgebieten, Watten, Dünenarealen und anderer intakter Küstenökosysteme, die dauerhaft überflutet oder in ihrer Funktion grundlegend verändert werden.
 - Verlust von Kulturdenkmälern.
 - Schutz- und Anpassungskosten (protection and adaptation costs), d.h. Kosten für Küstenschutz- und andere Anpassungsmaßnahmen (vor dem Hintergrund eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs und einer Häufung von Extremwasserständen), die zur Erhaltung eines Schutzstandards, der mindestens

dem heutigen Sicherheitsstandard für das betroffene Gebiet entspricht, erforderlich sind.

Neuere Studien haben den Ansatz der Common Methodology übernommen und weiterentwickelt. Überdies wurde es mit Hilfe satelliten-basierter digitaler Geländemodelle möglich, die Überflutungsgefährdung der Küsten weltweit besser einzuschätzen (VAFEIDIS et al. 2008). Auf der Grundlage dieser neueren Daten wurden jüngst die potentiellen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs für die Küstenländer der EU untersucht. In dieser aktuellen Studie werden mittels eines digitalen Simulationsmodells (DIVA) für die IPCC Szenarien A2 und B1 die Vulnerabilitätsparameter für den gesamten EU Küstenraum im 21. Jahrhundert berechnet (SRES-IPCC 2000; HINKEL et al. 2010). Dabei nimmt das A2 Szenario ein fortschreitendes Bevölkerungswachstum in Europa an, während im B1 Szenario die Bevölkerung allmählich abnimmt. Beide Fälle gehen jedoch von einer Zunahme der verletzlichen Sachwerte und Infrastruktur an Europas Küsten aus.

In Tab. 3.1.14-1 sind die Daten aus diesen Modellrechnungen zusammengefasst, welche die wahrscheinlichen Auswirkungen der möglichen Anstiegsbeträge des Meeresspiegels im Verlauf des 21. Jahrhunderts wiedergeben, und zwar in 2010, 2030, 2050 und 2100. Berücksichtigt wurden über diesen Zeitraum die pri-

Tab. 3.1.14-1: Auswirkungen der Meeresspiegelszenarien A2 und B1 auf Menschen, Landflächen und Sachwerte im Verlauf des 21. Jahrhunderts – ohne Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen (nach Hinkel et al. 2010).

Jahr	Flutgeschädigte [Tausend/Jahr]		Landverluste [km²/Jahr]		Schadenssummen [Mio €/Jahr]		Anpassungskosten [Mio €/Jahr]		Gesamtkosten [Mio €/Jahr]	
	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
2010	15.0	14.8	3.4	3.4	3,136	3,329	0	0	3,136	3,329
2030	21.3	20.1	6.7	5.6	4,767	5,662	0	0	4,767	5,662
2050	35.0	28.9	9.9	7.8	6,450	8,192	0	0	6,450	8,192
2100	776.2	204.5	16.4	12.2	16,933	17,496	0	0	16,933	17,496

Tab. 3.1.14-2: Auswirkungen der Meeresspiegelszenarien A2 und B1 auf Menschen, Landflächen und Sachwerte im Verlauf des 21. Jahrhunderts unter Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen (nach Hinkel et al. 2010).

Jahr	Flutgeschädigte [Tausend/Jahr]		Landverluste [km²/Jahr]		Schadenssummen [Mio €/Jahr]		Anpassungskosten [Mio €/Jahr]		Gesamtkosten [Mio €/Jahr]	
	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
2010	7.3	7.0	0	0	1,790	1,858	1,141	1,377	2,931	3,235
2030	6.4	3.9	0	0	1,936	1,632	1,677	1,591	3,613	3,223
2050	5.3	2.5	0	0	1,954	1,531	2,277	1,925	4,231	3,456
2100	3.4	1.8	0	0	2,291	1,917	3,536	2,621	5,827	4,538

mären Vulnerabilitätsindikatoren, nämlich Anzahl der von jährlicher Überflutung betroffenen Menschen (people flooded), jährliche Landverluste (land lost), jährliche Schäden (damage costs) sowie jährliche Gesamtkosten (total costs) – jeweils für Szenario A2 und B1. Allerdings sind in dieser ersten Berechnung keine Anpassungskosten z.B. für den Küstenschutz enthalten.

Es ist allerdings kaum zu erwarten, dass die EU-Küstenländer die Folgen des Meeresspiegelanstiegs im 21. Jahrhundert ohne Schutzmaßnahmen hinnehmen werden (NICHOLLS et al. 2009). Der Küstenschutz wird in Europa sicherlich intensiviert werden und dadurch höhere Kosten verursachen. Berücksichtigt man also diese Anpassungskosten (anhand plausibler Kostenschätzungen), so reduziert sich die Gefährdungslage für Menschen, Landflächen und Sachwerte deutlich, gleichzeitig sind aber natürlich die Aufwendungen für die Anpassungsmaßnahmen erheblich (Tab. 3.1.14-2). Die Zahlen in Tab. 3.1.14-1 und -2 machen deutlich, dass bei beiden Optionen die Gesamtkosten zunächst (2010) annähernd hoch sind, dann aber im 2. Fall aufgrund der Wirkung der Anpassungsmaßnahmen am Ende des 21. Jahrhunderts um mehr als 10 bzw. 13 Mrd. Euro niedriger liegen (HINKEL et al. 2010).

Der Verlauf sowie die Bewältigung von Hochwas-

serereignissen haben in den letzten Jahren deutlich gezeigt, dass nur eine integrative Analyse-, Bewertungs- und Handlungsstrategie Erfolg versprechend ist. In neueren Untersuchungen sind jüngst differenzierte Konzepte für die Analyse von Küstenrisiken entwickelt worden, welche natur- und ingenieurwissenschaftliche Methodenansätze mit denen der sozio-ökonomischen und der ökologischen Forschung verknüpfen (Abb. 3.1.14-3).

Dabei geht es zum einen um die Analyse bzw. Simulation der hydrologischen Gefährdungen infolge von Meeresspiegelanstieg und Sturm(flut)ereignissen; zum anderen muss auf der Grundlage relevanter Indikatoren eine detaillierte Abschätzung der Vulnerabilität des betroffenen Küstengebiets, seiner Menschen, Sachwerte und Ökosystemqualität erfolgen. Für die Erfassung der Grundparameter entlang einzelner Küstenabschnitte bietet sich als zentrales Werkzeug ein Geographisches Informationssystem (GIS) an. Mit Hilfe von GIS ist es möglich, physiographische und sozio-ökonomische Charakteristika miteinander zu verknüpfen, unter Zuhilfenahme von Höhendaten (digitalen Geländemodellen) gefährdete Regionen abzugrenzen, Überflutungsereignisse mit Hilfe von Wasserstandsszenarien zu simulieren und so eine belastbare Risikoanalyse zu erstellen. Im deutschen Küstenraum wurden GIS-gestütz-

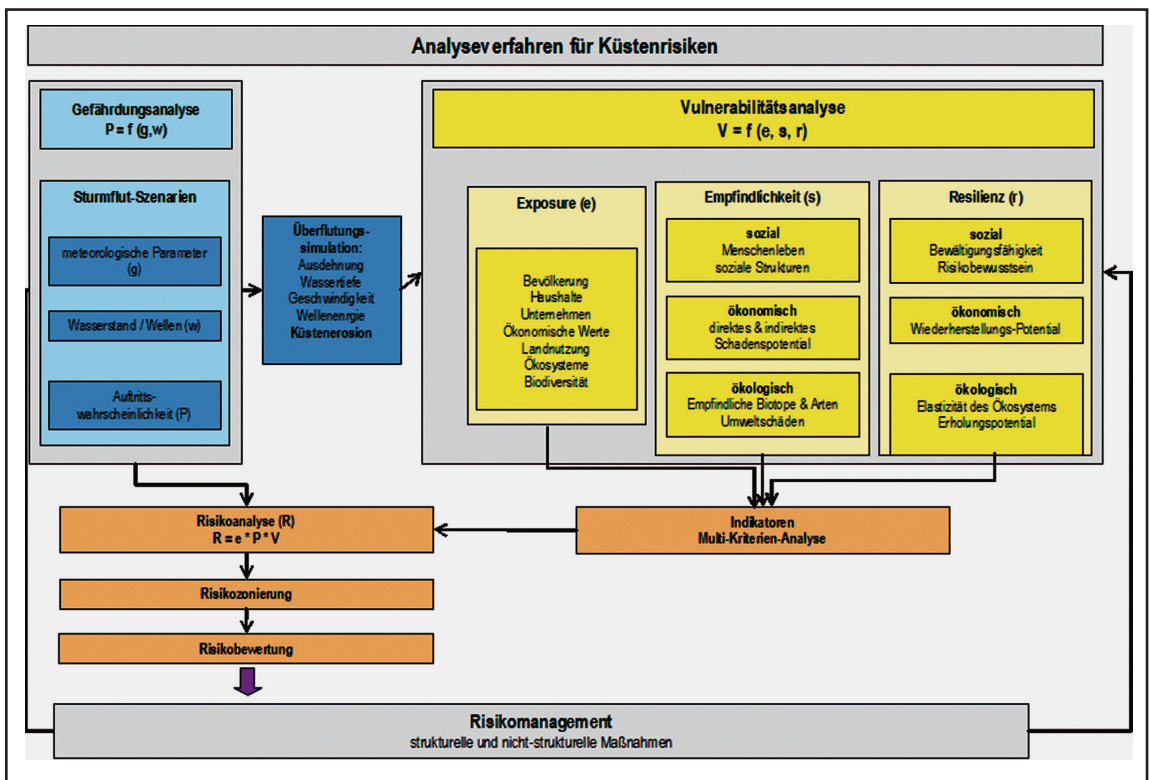


Abb. 3.1.14-3: Integratives Konzept für die Analyse und Bewertung von Küstenrisiken (nach STERR et al. 2009).

te Gefährdungsstudien auf allen drei Maßstabsebenen durchgeführt: makroskalig für den gesamten deutschen Küstenraum (BEHNEN 2000); mesoskalig für die schleswig-holsteinische Nord- und Ostseeküste (HAMANN & KLUG 1998) und mikroskalig u.a. für die Gemeinden St. Peter-Ording, Fehmarn, Timmendorfer Strand und die Stadt Kiel (REESE & MARKAU 2004) sowie für das Weserästuar und die Insel Sylt (s.u.).

Die Synthese der Ergebnisse aus der Gefährdungsanalyse und der Vulnerabilitätsabschätzung erlaubt dann eine fundierte Gesamtbewertung der zu erwartenden Risiken und bildet damit die Grundlage für nachhaltiges Risikomanagement (STERR et al. 2007). Während aber bisher die Vulnerabilitätsanalyse meist auf der meso- und z.T. der makroskaligen (großräumigen) Ebene ansetzte (z.B. IPCC 1992; NICHOLLS et al. 2009; NICHOLLS & CAZENAIVE 2010), ist für die Planung von Anpassungs- bzw. Schutzmaßnahmen gerade eine sehr detaillierte d.h. mikroskalige Betrachtungsebene relevant. In mehreren Untersuchungen in Norddeutschland zeigten Vergleiche von meso- und mikroskaligen Risikoanalysen signifikante Unterschiede im Hinblick auf ortsspezifische Gefährdungen und Schadenspotenziale (STERR et al. 2003, STERR 2008).

Der zweite Schritt eines integrativen Umgangs mit der Hochwassergefährdung – die Risikobewertung – ist in erster Linie normativer Natur. Die Vielzahl der Einflussfaktoren auf individueller und gesellschaftlicher Ebene (demographische Faktoren, sozioökonomische Parameter, gesetzliche Grundlagen, Naturverständnisse usw.) ist aus der Risikoforschung ansatzweise bekannt. Der sehr bedeutsame Aspekt der Risikowahrnehmung und -kommunikation (zwischen Betroffenen und Entscheidungsträgern) ist aber für das effektive Risikomanagement bislang unterschätzt und daher oft vernachlässigt worden. Sehr deutlich konnte das z.B. im Forschungsvorhaben INNIG in einer vergleichenden Analyse der Städte Bremen und Hamburg nachgewiesen werden, die entweder eine schwache Risikokommunikation betreiben (Bremen) oder eine deutlich aktivere (Hamburg) (INNIG 2008). Konsequenterweise sollte eine integrative Risikobetrachtung von Hochwasserereignissen in Küsten-, aber auch in Flussgebieten somit zukünftig verstärkt auf naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen der Risikoabschätzung fußen (Abb. 3.1.14-3). Eine diese Anforderungen und den Aspekt der Prognose-Unsicherheit berücksichtigende Strategie hat z.B. RICE (2010) für das Vorgehen in den Vereinigten Staaten vorgestellt. Die Notwendigkeit und auch die u.U. erheblichen Probleme eines handlungsorientierten Risikomanagements haben auch die nach dem verheerenden Tsunami vor Sumatra im Dezember 2004 entwickelten und z.T. auch

bereits implementierten Programme zur Identifikation von Risikogebieten, zur Risikokommunikation und zu Warn- und Alarmierungsplänen sehr deutlich gezeigt (STERR et al. 2009).

Konkrete Probleme und Risiken: Fallbeispiele aus dem deutschen Nordseeraum

Die möglichen Konsequenzen des Klimawandels und speziell eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs für die deutsche Nordseeküste sind im Rahmen von zwei querschnittsorientierten, vom BMBF geförderten interdisziplinären Fallstudien untersucht worden (DASCHKEIT & SCHOTTES 2002; SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005, 2007). In diesen Studien wurden die Auswirkungen ähnlicher Klimaszenarien für das Jahr 2050 betrachtet: ein beschleunigter mittlerer Meeresspiegelanstieg um +55 cm (10 cm isostatisch, 45 cm durch Klimawandel); eine Zunahme des Tidehubs um +30 cm, eine Zunahme der Temperatur bodennah um +2,7 °C (2,5 °C bei der Fallstudie Sylt) sowie eine Zunahme des winterlichen Niederschlags und der Windintensität (Fallstudie Weserästuar auch CO₂-Verdoppelung).

Die Fallstudie Sylt hat die Auswirkungen auf diese Insel sowie den Vorstrand und das Rückseitenwatt betrachtet, die Fallstudie Weserästuar die Unterweserregion zwischen Bremen und Bremerhaven analysiert. Wesentliche Ergebnisse waren:

Naturraum:

- Im Watt um Sylt ist nicht flächendeckend von einem »Mitwachsen« der Wattflächen auszugehen; örtlich wird es zu Erosion und einer Verkleinerung der Wattflächen kommen.
- Durch die Temperaturerhöhung sind Veränderungen, aber keine gravierenden Auswirkungen auf das marine Watt-Ökosystem zu erwarten; das gilt auch für die ökologische Situation in der Unterweserregion.
- Der Anteil naturnaher Lebensräume im Vorland der Unterweser wird durch die überflutungsbedingte Einstellung der landwirtschaftlichen Nutzung auf Teilflächen zunehmen.
- Eine deutliche Ausdehnung oder Zunahme der vorhandenen Versalzung des Grundwassers in der Unterweser-Marsch ist nicht zu erwarten.

Küstenschutz:

- Für die Unterweserregion kommt es durch den beschleunigten Meeresspiegelanstieg zu einer Reduzierung der Deichsicherheit und es entsteht mittelfristig Handlungsbedarf, um die Deichsicherheit und damit die Nutzbarkeit des Raumes langfristig sicherzustellen; verschiedene Anpassungsstrategien sind denkbar, die Verstärkung der Deiche auf der vorhandenen Linie ist am kostengünstigsten.
- Sylt als erosionsgefährdete, exponierte Nordseeinsel

ist bereits heute nur durch umfangreiche Sandvorspülungen zu halten. Durch das Klimaszenario sind keine signifikanten Veränderungen der Sedimenttransportkapazitäten seawärts der Insel zu erwarten und die Küstenschutzsituation ist, mit gesteigertem Aufwand, auch weiterhin durch Sandvorspülungen zu sichern (durchschnittlich ca. 1% Zunahme der jährlich vorzuspülenden Mengen).

Sozio-Ökonomie:

- Zur Sicherung von Sylt entstehen zwar nicht unerhebliche zusätzliche Kosten, durch die jedoch ein Vielfaches an Schäden vermieden werden kann.
- Eine Abnahme der touristischen Attraktivität Sylts durch den Klimawandel wird nicht befürchtet.
- Die Kosten der Deichverstärkung in der Unterweserregion sind zwar erheblich, bedeuten bei Beibehaltung der derzeitigen Finanzierungsform (70% zahlt der Bund, den Rest das Land) jedoch nur einen relativ kleinen Impuls für das regionale ökonomische System.
- Ökonomisch führt das Klimaszenarios für die Unterweserregion nur zu schwachen Beeinträchtigungen; Auswirkungen der veränderten hydrologischen Situation auf die Landwirtschaft der Marsch können durch Nutzung des historisch gewachsenen Wassermanagementsystems weitgehend vermieden werden.

Obwohl in den beiden Studien zwei sehr unterschiedliche Teilräume der deutschen Nordseeküste betrachtet worden sind, kommen sie doch zu einer ähnlichen Einschätzung: Die absehbaren direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels für die beiden betrachteten Räume scheinen beherrschbar. Die etablierten Techniken des Küstenschutzes und auch die soziale Organisation sind auch für steigende Anforderungen geeignet; die ökologischen Konsequenzen sind voraussichtlich nicht dramatisch und die Herausforderungen werden auch von lokalen Experten und der Bevölkerung als bewältigbar angesehen (DASCHKEIT & SCHOTTES 2002; SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005; 2007). Dem entsprechend wurde auch z.B. für die niedersächsischen Küsten und Inseln in 2007 bzw. 2010 ein »Generalplan Küstenschutz« beschlossen, welcher im Wesentlichen die Anpassung und Verteidigung der bisherigen Küstenschutzeinrichtungen vorsieht (NLWKN 2007; 2010). Das Adaptationspotential kann als hoch bezeichnet werden. Bei der für das Wattenmeer zentralen Frage des »Mitwachsens« der eulitoralischen Flächen und des Vorlandes schließt CPSL (2001; 2005) deutliche morphologische und in der Folge ökologische Veränderungen auf den Rückseitenwatten durch Defizite im Sedimentbudget nicht aus; von Bedeutung ist hier besonders eine verstärkte Kantenerosion der Fest-

landsalzwiesen. Strategien der Anpassung von Küstenschutzsystemen unter besonderer Beachtung des Sedimenthaushalts werden in CPSL (2010) diskutiert. Es besteht jedoch erheblicher weiterer Forschungsbedarf.

Für viele andere Küstenabschnitte der Welt muss die Vulnerabilität gegenüber einem Meeresspiegelanstieg, vor allem aufgrund einer (ökonomisch begründeten) geringen Adaptationskapazität, als deutlich höher eingeschätzt werden (einen Überblick geben STERR et al. 2003, KLEIN et al. 2001, IPCC 2007b, NICHOLLS et al. 2009). So wird die derzeitige Vulnerabilität der Nordküste Brasiliens (Bundesland Pará; Küstenlänge ca. 2.600 km) gegenüber Sturmfluten und Erosionsprozessen (verstärkt durch Meeresspiegelanstieg) als sehr hoch beurteilt (SZLAFSZTEIN & STERR 2007). Die dortigen Probleme, die in anderen Regionen außerhalb Europas und Nordamerikas in ähnlicher Weise auftreten, werden allerdings dadurch verschärft, dass ein aufstrebender Küstentourismus die bislang traditionelle (eher nachhaltige) Subsistenzwirtschaft in der Mangrovenzone mehr und mehr verdrängt. Die Ergebnisse dieser und anderer Arbeiten zeigen, dass die Vulnerabilität aus zwei Gründen regional sehr unterschiedlich ist: Zum einen ist es die spezifische naturräumliche Situation, zum anderen die Adaptationskapazität, die auch vom Naturraum, vor allem aber von sozialen und ökonomischen Parametern beeinflusst wird. Sowohl die Analyse der Vulnerabilität als auch die Ableitung möglicher Anpassungsmaßnahmen müssen also auf einer regionalen bzw. nationalen Skala erfolgen, wie es z.B. die Niederlande exemplarisch mit ihrem Deltaplan II durchgeführt haben (DELTAKOMMISSIE 2008).

Schlussbetrachtung

Ein aus heutiger Sicht als möglich, wenn nicht sogar als wahrscheinlich geltender Anstieg des Meeresspiegels um bis zu einem Meter stellt die dicht besiedelten Küsten der Welt vor existenzielle Herausforderungen. Besonders betroffen sind viele Megastädte auf allen Kontinenten und die z.T. extrem dicht besiedelten Deltaregionen, die überwiegend als hoch bis höchst vulnabel eingestuft werden müssen. Der Anstieg des Meeresspiegels, das Vordringen von Salzwasser in Flüsse und Grundwasserleiter, zunehmende Überflutungen und Sturmfluten, größere Schwankungen der Kontinentalabflüsse bei wachsendem Besiedlungsdruck auf die Küsten drohen, deren Lebensraumqualität nachhaltig zu verschlechtern. Klimaschutz, aber auch frühzeitige, integrierte Adaptation an die unvermeidlichen Folgen des Klimawandels sind dringende Aufgaben der Küstenstaaten der Welt.

Literatur

- BEHNEN T. (2000): Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und seine sozioökonomischen Folgen. *Hann. Geogr. Arbeiten* 54, 222 pp.
- BEUKENKAMP P. (Hrsg.) (1993): Proceedings of the World Coast Conference. Den Haag, 1050 pp.
- CAZENAVE A. & W. LLOVEL (2010): Contemporary Sea Level Rise. In: *Annual Review of Marine Science* 2010, Bd. 2, 145-173.
- COPENHAGEN (2009): The Copenhagen Diagnosis - Updating the World on the Latest Climate Science.- Allison, I. et al., The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60 pp. http://www.crcr.unsw.edu.au/Copenhagen/Copenhagen_Diagnosis_HIGH.pdf; (01/2011)
- CPSL (2001): Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL). Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No. 13. 54 pp.
- CPSL (2005): Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL). Solutions for Sustainable Coastal Protection in the Wadden Sea Region.- Wadden Sea Ecosystem No. 21, CWSS, Wilhelmshaven. 47 pp.
- CPSL (2010): Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL) Third Report: The Role of Spatial Planning and Sediment in coastal risk management.- Wadden Sea Ecosystem 28; CWSS, Wilhelmshaven; 58 pp.
- DASCHKEIT A. & P. SCHOTTES (Hrsg.) (2002): Klimafolgen für Mensch und Küste am Beispiel der Nordseeinsel Sylt. Springer, Heidelberg. 335 pp.
- DASCHKEIT A. & H. STERR (2003): Klimawandel in Küstenzonen. *UWSF* 15 (3): 199-207
- DELTAKOMMISSIE (2008): Working together with water - Findings of the Deltakommissie.- http://www.deltakommissie.com/doc/deltareport_full.pdf (01/2011).
- DELTAS ROTTERDAM (2010): Conference "Deltas in Times of Climate Change" Rotterdam 2010; <http://www.climatedeltaconference.org/nl/25222734-Home.html> (01/2011).
- GÖNNERT G. (2000): Einfluss von Fernwellen auf die Sturmfluten der Deutschen Bucht. In: VENZKE J.-F. (Hrsg.): Beiträge der 17. Jahrestagung des Arbeitskreises 'Geographie der Meere und Küsten' 13. und 14. Mai 1999 in Bremen. Bremen. Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung 36, 129-138.
- GRINSTED A. et al. (2009): Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100AD. In: *Clim Dyn*, 10.1007/s00382-008-0507-2.
- HAMANN M. & H. KLUG (1998): Wertermittlung für die potenziell sturmflutgefährdeten Gebiete an den Küsten Schleswig-Holsteins. In: C. PREU (Hrsg.) Aktuelle Beiträge zur interdisziplinären Küsten- und Meeresforschung. *VSA*, 20, 63-70.
- HINKEL J., NICHOLLS R.J., VAFEIDIS A.T., TOL R.S.J. & AVAGIANOU T. (2010). Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 15(7). 703-719.
- HOLZWARTH I. & F. KÖSTERS (2010): Effects of Changes in Sea Level on the Tidal Dynamics of the River Weser; *Coastline Reports* 16:97-100.
- HUPFER P., HARFF J., STERR H. & H.-J. STIGGE (2003): Die Wasserstände an der Ostseeküste. Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel. *Die Küste*, H. 66, 332 pp.
- INNIG (2008): Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft (INNIG).- Forschungsvorhaben im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“; <http://www.innig.uni-bremen.de/index.html> (02/2011).
- IPCC (1992): Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Report of the IPCC Coastal Zone Management Subgroup. Directorate General Rijkswaterstaat. The Hague, 85 pp.
- IPCC (2000): Special Report on Emissions Scenarios.- Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.); Cambridge University Press, UK. 570 pp; <http://www.ipcc.ch/ipcreports/sres/emission/index.php?idp=0> (01/2011)
- IPCC (2001a): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the TAR. Cambridge University Press. 881 pp.
- IPCC (2001b): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the TAR. Cambridge University Press. 1032 pp.
- IPCC (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment. Cambridge University Press, 996 pp; http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html (01/2011). 996 pp.
- IPCC (2007b): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 976 pp.
- IPCC (2010): IPCC Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities Kuala.- Lumpur, Malaysia, 21–24 June 2010; Workshop Report.- T. Stocker, Q. Dahe, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen & P. Midgley (Eds.); http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/SLW_WorkshopReport_kuala_lumpur.pdf (01/2011)
- KLEIN R.J.T., R.J. NICHOLLS, S. RAGOONADEN, M. CAPOBIANCO, J. ASTON & E.N. BUCKLEY (2001): Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. *Journal of Coastal Research* 17(3), 531-543.
- KLIMABERICHT (2010): Helmholtzzentrum Geesthacht & Norddeutsches Klimabüro: Klimabericht für die Metropolregion Hamburg.- <http://www.klimabericht-hamburg.de/zusammenfassung.html> (02/2011).
- NASA (2011): Global Climate Change – Evidence: Climate Change – How do we know? Shrinking Ice Sheets; <http://climate.nasa.gov/evidence/> (02/2011).
- NICHOLLS R., LOWE J., TOL R. & VAFEIDIS A.T. (2009). Impacts of sea level rise at 4 degree and above. International Climate Conference, 4 degrees & beyond. Oxford, UK.

- NICHOLLS R. & A. CAZENAVE (2010): Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. In: Science 2010, Bd. 328. 1517-1520.
- NLWKN (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland.- Hannover/Bremen, 41 S. + Anl.; http://www.nlwkn.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=8127&article_id=45183&psmand=26 (02/2011).
- NLWKN (2010): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen – Ostfriesische Inseln.- Hannover; 41 S. + Anl.; http://www.nlwkn.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=16783&article_id=64978&psmand=26 (02/2011).
- NOAA (2011): NOAA Pacific Services Center: Ocean Acidification, http://www.csc.noaa.gov/psc/magic-planet/for%20website/datavisMain406_test_planet.html (02/2011).
- NSIDC (2011): National Snow and Ice Data Center, Univ. Colorado, Boulder, USA; <http://nsidc.org/arcticseaicenews/> (01/2011).
- PARRY M. (2010): CLIMATE CHANGE AND DELTAS: An IPCC perspective.- Vortrag im Rahmen der Tagung "Deltas in Times of Climate Change" Rotterdam 2010; <http://www.climatedeltaconference.org/nl/25222950-Results.html> (01/2011).
- RAHMSTORF S. (2010): A new view on sea level rise. In: Nature Reports 2010, Bd. 4, 44-45.
- RAHMSTORF S. (2007): A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. In: Science 2007, Bd. 315, 368-370.
- REESE S. & H.-J. MARKAU (2004): Mikroskalige Wertermittlung in sturmflutgefährdeten Küstenniederungen. In: Jahrbuch der Hafentechnik-Gesellschaft (Hrsg.). (im Druck).
- RICE J. S. (2010): Risk Management for Sea Level Rise Adaptation – Insights from a Decision Analysis Approach.- Vortrag auf dem LOICZ Storm Surges Congress Hamburg, September 14, 2010; http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/8_rice.pdf (02/2011).
- SHELLNHUBER H.-J. & H. STERR (1993): Klimaänderung und Küste. Springer, Heidelberg. 400 pp.
- SCHIRMER M. (2001): Challenges to the Protection of Coasts and Islands. In: Lozan et al. (eds.): Climate of the 21st Century: Changes and Risks, 388-392
- SCHUCHARDT B. & M. SCHIRMER (Hrsg.) (2005): Klimawandel und Küste: die Zukunft der Unterweserregerion. Springer Berlin; 341 pp.
- SCHUCHARDT B. & M. SCHIRMER (Hrsg.) (2007): Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050; oekom, München; 243 pp.
- STERR H., R. KLEIN & S. REESE (2003): Climate Change and Coastal Zones: An Overview of the State-of-the-Art on Regional and Local Vulnerability Assessment. In: GIUPPONI, C. & M. SHECHTER (eds.) Climate Change in the Mediterranean; Cheltenham (UK). 245-278.
- STERR H., MARKAU H.-J., DASCHKEIT A., REESE S. & KAISER G. (2007): Risikomanagement im Küstenschutz in Norddeutschland. In: FELGENTREFF C. & GLADE T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Spektrum. 337-352.
- STERR H. (2008): Assessment of Vulnerability and Adaptation to Sea-Level Rise for the Coastal Zone of Germany. In: Nicholls R. (ed.): Global Overview of coastal vulnerability and adaptation to sea-level rise. Journal of Coastal Research Special Issue 24; 380-393
- STERR H., KAISER, G., RÖMER, H., WILLROTH, P., REVILLA-DIEZ, J. & LUDWIG, R. (2009): Tsunami-gefährdung an den Küsten Thailands – was lehrt uns die Katastrophe von 2004 ?. Geographische Rundschau, 12/2009; 28 – 35
- SZLAFSZTEIN C.F. & STERR, H. (2007): A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. Journal of Coastal Conservation Vol.11, 53-66
- STREIF H. (1993): Geologische Aspekte der Klimawirkungsforschung im Küstenraum der südlichen Nordsee. In: SHELLNHUBER & STERR (1993): Klimaänderung und Küste, Springer, Heidelberg, 77-93.
- VAFEIDIS A. T., NICHOLLS R.J., MCFADDEN, L., TOL, R.S.J., HINKEL, J., SPENCER, T., GRASHOFF, P.S. BOOT, G., KLEIN, R.J.T. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea level rise. Journal of Coastal Research, Vol.24 (4), 917-924.

*Dr. Michael Schirmer
Universität Bremen
Fachbereich Biologie -
Institut für Ökologie und Evolutionsbiologie
Postfach - 28334 Bremen
schi@uni-bremen.de*

*Dr. Bastian Schuchardt
BioConsult Schuchardt & Scholle GbR
Reeder-Bischoff-Str. 54 - 28757 Bremen
Schuchardt@bioconsult.de*

*Prof. Dr. Horst Sterr
Universität Kiel
Geographisches Institut
24098 Kiel
sterr@geographie.uni-kiel.de*