



## **Risiko im Kontext von Offshore-Windkraft und systemischem Risikodiskurs**

Marcus Lange<sup>1</sup>, Benjamin Burkhard<sup>2</sup>, Kira Gee<sup>1</sup> & Andreas Kannen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Küstenforschung am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, Deutschland

<sup>2</sup>Christian-Albrechts-Universität Kiel, Deutschland

### **Abstract**

Emerging systemic risks are currently widely discussed as a new type of risk in the modern world. Developed to take account of the 'increasing complexity' (Renn & Keil 2008) and the connectedness of social, ecological and economic systems, the concept is used here as a context for discussing selected results obtained in the research project *Zukunft Küste – Coastal Futures*. Based on different conceptual approaches (such as the Ecosystem Services approach) and a range of tools the project has assessed various ecological and socio-economic impacts of offshore wind power generation in the North Sea. Since only one complete windpark has installed so far these results are based on assumptions using Germany's offshore wind energy targets for 2030 as a basis. The characteristics of systemic risks, namely complexity of causes and effects, uncertainty and ambiguity, are used as a framework for placing specific results into a wider systems context. This is helpful for assessing the cumulative impacts that can arise from large-scale offshore wind farm installation and the interaction of offshore wind farming with other marine uses. Whilst it is possible to establish a range of cause and effect relationships within the case study system, the concept of systemic risk offers a useful vantage point for understanding that these do not imply linear pathways of change or predictable outcomes.

### **1 Einleitung**

#### **Erforschung systemischer Risiken**

Risiko wird allgemein als mögliches, aber kalkulierbares Eintreffen von unerwünschten Folgen einer Handlung oder eines Ereignisses verstanden. Die Wahrnehmung spielt dabei eine besondere Rolle. Erst wenn die Gesellschaft oder Entscheidungsträger darüber entscheiden können, ob sie bereit sind, Gefahren für sich oder andere in Kauf zu nehmen oder sich dagegen zu entscheiden (Schaden-Nutzen-Abwägung) wird eine Gefahr oder Bedrohung zum Risiko (Luhmann 1991).

In Bezug auf den Aufbau der Offshore-Windkraft in der deutschen Nordsee wurde die Entscheidung zum Anlagenbau und über die in Kauf zu nehmenden Folgen bereits getroffen. Nach der Strategie der Bundesregierung sollen bis 2030 Windanlagen mit einer Gesamtleistung von bis zu 25.000 MW in den Ausschließlichen Wirtschaftszonen (AWZ) der Nord- und Ostsee installiert werden (BMU 2002, BMVBS 2009). Die zuständige Genehmigungsbehörde für Offshore-Windkraftanlagen hat bisher nur von Fall zu Fall entschieden (BSH 2009). Sie erteilt Zulassungen jeweils für einzelne Parks. Nach dem Verfahren kann eine Genehmigung dann erfolgen, wenn „Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt“ werden, die „Meeresumwelt nicht gefährdet wird“ und die „Erfordernisse der Raumordnung [...] oder sonstige überwiegende öffentliche Belange [...] nicht entgegenstehen“ (www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp, Stand 3. Dezember 2009). Eine Abwägung der Risiken aller in Planung befindlichen Windparke ist im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben nicht vorgesehen. Somit ist die Stärke der Auswirkungen nur bedingt beeinflussbar.

Bislang wurden von der zuständigen Behörde 21 Anträge für den Bau von Windparks in der deutschen AWZ der Nordsee bewilligt und der erste Windpark *alpha ventus* wurde 2009 in Betrieb genommen (BSH 2009). In einigen anderen europäischen Ländern sind bereits große Offshore-Windparke installiert, wie z. B. der im Jahre 2002 fertig gestellte Offshore-Windpark *Horns Rev* in der dänischen Nordsee (Abb. 1).



Abb. 1: Montageschiffe beim Aufbau der Anlagen für den dänischen Offshore-Windpark Horns Rev in der Nordsee (© Vestas Central Europe)

Bei der Beurteilung von Risiken, wie z. B. der Offshore-Windkraft sind Expertenabschätzungen mit möglichst genauer Modellierung der Schäden (z. B. als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß) und Laienabschätzungen zu unterscheiden. Beide werden in der Literatur als Konstrukte bezeichnet, „um drohende Schadenspotenziale in einer unsicheren, ergebnisoffenen Zukunft handhabbar zu machen“ (Zwick & Renn 2008: 77). Sie sollten daher in einen vorsorglichen Umgang mit Risiken integriert werden.

Die Erfassung von Risiken der heutigen Zeit erfordert neue Ansätze. Das Konzept der systemischen Risiken geht über die konventionelle Erfassung von Risiken hinaus (Renn et al. 2007). Systemische Risiken versteht man als aus der starken Vernetzung von Systemen und vielfältigen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen entstehend. Effekte, die in einem Bereich entstehen, verursachen Auswirkungen nicht nur in diesem, sondern ebenfalls in anderen Bereichen. Dabei sind Interaktionen nicht immer linear und vor allem schwer vorhersehbar. Renn et al. (2007) betonen dabei das interagierende Auftreten von Risiken mit hoher Ausprägung in verschiedenen Bereichen der ökonomischen, physischen und sozialen Welt. Starke Vernetzung im Sinne zahlreicher Interaktionen von Elementen innerhalb von Systemen ist ein wichtiger Faktor für deren Entstehung. Systemische Risiken stehen in enger Verbindung zu Ereignissen und Prozessen, „die weit über den Ort ihres Ursprungs oder ihrer unmittelbaren Wirkung hinaus negative Effekte in anderen Bereichen oder Systemen haben“ (Renn & Keil 2008). Sie werden daher auch als „entgrenzte“ Risiken bezeichnet. Systemische Risiken können „Folgen einzelner Ereignisse oder einer Verkettung von Ereignissen“ sein (Renn & Keil 2008). Seinen Ursprung hat der Begriff systemischer Risiken in der Finanzwirtschaft. Das Beispiel der aktuellen globalen Finanzkrise dient daher häufig als Ansatzpunkt für die Diskussion.

Bislang existiert keine allgemein anerkannte Definition für systemische Risiken. Auch eine scharfe Abgrenzung gegenüber den Merkmalen anderer „moderner“ Risiken ist bislang nicht möglich. Gleichwohl versuchen Wissenschaftler der Sozial- und Geisteswissenschaften Merkmale zu erarbeiten, um systemische Risiken zu identifizieren und zu charakterisieren (siehe Kapitel 3).

Die Analyse möglicher Risiken menschlichen Handelns zählt zu den klassischen Aufgaben der Wissenschaft (siehe Abb. 2). Nach einer Studie der OECD ist es für einen Umgang mit systemischen und allgemeinen Risiken notwendig, die wichtigsten Faktoren ihrer Entstehung zu identifizieren und sie in ihrem Ausmaß abschätzbar zu machen. Ein wichtiger Schritt ist hierbei die Verknüpfung des Wissens unterschiedlicher Disziplinen mit ihren zahlreichen Methoden und Ansätzen sowie unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Skalen. Darauf aufbauend sollten die Informationen verständlich aufbereitet werden. Integrative Ansätze leisten dabei einen wichtigen Beitrag (OECD 2003).



Abb. 2: Die Rolle der Wissenschaft im Kontext der Betrachtung von Risiken und dem Umgang mit ihnen

Die Risikoanalyse kann Ausgangspunkt einer ganzheitlichen Auseinandersetzung mit Risiken sein, die von der Identifizierung, Charakterisierung und Bewertung (Wissenschaft), über Fragen der Akzeptanz (Gesellschaftsaufgabe), die Entscheidung über Zumutbarkeit (durch die Politik) bis hin zum Management im Sinne einer Konfliktvorsorge reicht. Gesellschaftliche Akzeptanzfragen werden dabei durch wertorientierte Bewertung durch den Einzelnen bzw. durch gesellschaftliche Gruppen bestimmt (u. a. Steel et al. 1994). Die Entscheidung, welche erwünschten und unerwünschten Folgen tolerierbar sind, ist dabei nicht unwesentlich von der Qualität wissenschaftlicher Ergebnisse abhängig (WBGU 1998, OECD 2003).

Bei der Identifizierung und Charakterisierung von Risiken setzt der wissenschaftliche Ansatz des Projekts *Zukunft Küste – Coastal Futures* an.

## Ziel und Struktur des Beitrags

Der vorliegende Beitrag greift die im Projekt *Zukunft Küste – Coastal Futures* analysierten Auswirkungen der Offshore-Windkraft auf und stellt sie in den Kontext des aktuellen Diskurses um systemische Risiken. Dabei wird sich zeigen, dass die Risiken im Bereich der Offshore-Windkraft Merkmale von systemischen Risiken aufweisen (OECD 2003, Renn et al. 2007). Außerdem wird sich zeigen, dass der Projektansatz in Verbindung mit dem Konzept der systemischen Risiken einen konzeptionellen Rahmen aufspannt, um von der Bewertung des Risikos für einzelne Parks hin zu einer Abschätzung des Gesamtrisikos der geplanten Parks zu gelangen.

Hierzu werden zunächst der Hintergrund der Projektstudie, der verwendete Ansatz und Beispiele aus den Forschungsergebnissen umrissen (Kapitel 2). Im darauf folgenden Kapitel werden die Merkmale systemischer Risiken beschrieben. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts werden daraufhin in den Zusammenhang der Merkmale von systemischen Risiken gestellt, um so einen Bezug zwischen der Theorie und dem Fallbeispiel herzustellen (Kapitel 3). Danach soll eine Beurteilung möglich sein, ob sich die Auswirkungen der Offshore-Windkraft in den aktuellen Diskurs um systemische Risiken einordnen lassen (Kapitel 4) und welche Herausforderungen sich für den zukünftigen Umgang mit diesen Risiken ergeben (Kapitel 5).

Folgende Fragen sollen dabei beantwortet werden:

- Eignet sich der Diskurs um die Erfassung systemischer Risiken zur Charakterisierung und Einordnung von Risiken der Offshore-Windkraft? Wenn ja,
- Kann der im Projekt verfolgte interdisziplinäre und integrative Ansatz zur Erfassung von Ursache-Wirkungs-Ketten, zur Beurteilung von Risiken und zur Reduzierung von Unsicherheiten beitragen?

## 2 Der Projektansatz von *Zukunft Küste - Coastal Futures*

### Erneuerbare Energien und Offshore-Windkraft

Die erneuerbaren Energien und insbesondere die Windenergie spielen bei der zukünftigen Energieversorgung für Deutschland eine wichtige Rolle. Das zuletzt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte und vom Bundesministerium für Umwelt, Natur und Reaktorsicherheit (BMU) in Auftrag gegebene „Leitszenario 2009“ skizziert beim Ausbau der erneuerbaren Energien eine Entwicklung mit hohen Investitionen und großer Dynamik. Prognostiziert wird ein Beitrag der erneuerbaren Energien zur Gesamtenergieerzeugung in Deutschland bis 2020 von 20 %. Im Jahr 2050 könnte der Anteil gar auf über 50 % steigen (BMU 2009, DLR 2009). Dieses Szenario unterstützt die Zielvorgaben der europäischen Richtlinie 2009/28/EG (EU 2009), nach denen bis 2020 ebenfalls ein Anteil von 20 % an erneuerbaren Energien erreicht werden soll.

Treibende Kraft der geplanten Maßnahmen ist der beschleunigte Klimawandel, der bereits in den frühen 1990er Jahren eine umwelt-, klima- und energiepolitische Diskussion um Maßnahmen für einen nachhaltigen Klimaschutz angestoßen hatte. Wichtigstes Ziel ist eine Senkung klimaschädigender CO<sub>2</sub>-Emissionen. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und einer effizienteren Energienutzung könnte der Ausstoß an Treibhausgasen auf etwa 20 % der Emissionen von 1990 (DLR 2009) gesenkt werden.

In diesem Zusammenhang soll der Ausbau der Windenergie, insbesondere im Offshore-Bereich, vorangetrieben werden. Hinzu kommt der Ersatz älterer, kleinerer Windkraftanlagen durch moderne, leistungsfähigere bzw. effizientere Anlagen (*Repowering*). Bis 2030 plant Deutschland im Rahmen seiner langfristigen Strategie für den Ausbau der erneuerbaren Energien 15 % des Endenergieverbrauchs durch Offshore-Windkraft abzudecken (BMU 2002). Bis heute ist dieses Ziel unverändert. Auch das „Leitszenario 2009“ betont die hohe Bedeutung der Offshore-Windkraft, wonach die aus Offshore-Windkraft erzeugte Energie im Jahr 2025 die aus Biomasse erzeugte Energie

überholt haben und danach den mit Abstand größten Anteil bei den erneuerbaren Energien leisten wird (BMU 2009).

Der Arbeitsmarkt wird voraussichtlich stark von den Entwicklungen profitieren. Nach einem verhalten optimistischen Szenario des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Stiftung Offshore-Windenergie (2007) könnten die Arbeitsplätze im Offshore-Bereich stark zunehmen und einen großen Anteil an der Entwicklung der gesamten Windkraft ausmachen. Danach ist davon auszugehen, dass die Offshore-Windenergie eine zentrale Rolle bei der zukünftigen Energieversorgung spielen wird.

### **Betrachtung der Risiken von Offshore-Windkraft**

Während durch den Ausbau der Offshore-Windkraft Risiken im Zusammenhang mit Klimaveränderungen vermindert werden können, verstärkt die neue Technologie wiederum andere Risiken oder lässt neue Risiken entstehen. Im Forschungsvorhaben *Zukunft Küste – Coastal Futures* wurde ein interdisziplinärer Gesamtansatz entwickelt, der die Auswirkungen und daraus abgeleitet mögliche Risiken der Offshore-Windkraft aufzeigt (Burkhard et al. 2009, Kannen & Burkhard 2009). Die methodischen Ansätze DPSIR (*Driver-Pressure-State-Impact-Response*) (nähere Erklärungen hierzu in EEA 1999, Burkhard & Müller 2008 sowie Kannen & Burkhard 2009 zur Definition von DPSIR in *Zukunft Küste – Coastal Futures*) und *Ecosystem Goods & Services* (MEA 2003) dienen als Strukturierungshilfen für die Analysen. Da bislang nur **ein** vollständiger Windpark im Fokusgebiet Deutsche Nordsee fertig gestellt ist, wurden mit Hilfe von Szenarien Annahmen für den zukünftigen Ausbau der Offshore-Windenergie mit einem Zeithorizont bis 2055 getroffen. An die Szenarien knüpfte sich dabei 1.) eine bestimmte Nutzungspriorität und 2.) ein definierter Ausbau der Offshore-Windkraft (Burkhard 2006, Kannen et al. 2009). Letzterer orientierte sich an den nationalen Ausbauplanungen der Offshore-Windkraft für die deutsche Nordsee aus dem Jahr 2002 (BMU 2002).

Die Perspektive des Forschungsvorhabens richtete sich auf die wichtigsten Elemente, deren Verbindungen und Wirkungszusammenhänge in Bezug auf den Ausbau der Offshore-Windkraft. Ausgewählte Risiken wurden innerhalb des Projekts identifiziert und analysiert, andere flossen aus Studien an bereits realisierten Windparks, wie etwa dem dänischen Windpark *Horns Rev*, ein (u. a. ELSAM Engineering & Energy E2 2004).

Die deutschen Ausbauplanungen für Offshore-Windkraft in der Nordsee werden Auswirkungen auf das sozial-ökologische System Küste haben (Kannen & Burkhard 2009). Während sich ökologische Veränderungen weitestgehend auf dem Meer ausprägen werden, vollziehen sich Veränderungen im sozio-ökonomischen Bereich überwiegend an Land. Die Veränderungen sind vielfältig. Sie werden sowohl in den Bau- als auch den Betriebsphasen der Parks auftreten und auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen stattfinden. Im ökologischen Bereich gehören hierzu die Auswirkungen auf Ökosystemstrukturen und -funktionen, wie etwa zu erwartende Scheuchwirkungen auf einige Vogelarten während den Betriebsphasen (Mendel & Garthe 2010, dieser Band). Während der eher kurzfristigen Bauphasen kann es zu Auswirkungen auf einzelne Ökosystemfunktionen kommen. Ein Beispiel ist die Aufwirbelung von Sedimenten, die den Lichteinfall reduzieren und damit die Nährstoffproduktion sowie das Algenwachstum vermindern kann (Burkhard et al. 2010, dieser Band, Lenhart 2006 et al.). Im Projekt wurden weitere Auswirkungen analysiert, die indirekten Einfluss auf das soziale System haben. Entsprechende Studien beschäftigen sich mit der Wahrnehmung des Meeres im Zusammenhang mit Werten und Normen sowie Fragen der Akzeptanz von Offshore-Windkraftanlagen (Gee 2010). Außerdem wurde das politisch-administrative Umfeld und die Themen Governance und integriertes Küstenzonenmanagement als Reaktionen auf drängende Probleme in der Küstenzone betrachtet (Gee et al. 2004, 2006a, 2006b, Bruns 2009, Bruns & Gee 2009, Kannen et al. 2008).

Die Ermittlung von Risikoquellen der Offshore-Windkraft erfolgte im Projekt also auf der Grundlage von Untersuchungen aus den unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und deren Methoden. Hierzu gehörten ökologische Modellierungen (Burkhard et al. 2010, dieser Band), sozio-ökonomische Input-

Output-Analysen (Hohmeyer 2006) und sozialwissenschaftliche Befragungen und Interviews (Gee 2010).

### 3 Offshore-Windkraft und Merkmale systemischer Risiken

Drei Merkmale *Komplexität der Ursache-Wirkungs-Ketten*, *Unsicherheit* und *Mehrdeutigkeit* sind nach den Arbeiten der OECD (2003), Renn et al. (2007) und Renn & Keil (2008) prägend für systemische Risiken. Tabelle 1 listet jeweils die Merkmale und deren Definition im Kontext systemischer Risiken auf.

Tab. 1: Merkmale systemischer Risiken und Definition (nach: OECD (2003); Renn et al. (2007); Renn & Keil (2008))

Merkmal	Definition
<i>Komplexität der Ursache-Wirkungs-Ketten</i>	Beeinträchtigungen in jeweils unterschiedlichen Bereichen der ökonomischen, physischen und sozialen Welt können Auswirkungen in anderen Bereichen mit sich bringen. Diese Auswirkungen sind oftmals nur noch indirekt mit dem Ursprungsereignis verbunden. Auch die Wahrnehmung von Ereignissen beeinflusst deren Folgen. Dabei spielen räumliche Verdichtung in und Vernetzung von Systemen eine große Rolle. Insbesondere durch das Erstarken neuer Technologien kann es in Regionen, in denen bereits viele Nutzungen und Probleme existieren, zu verstärkten Umweltauswirkungen kommen. Wirkungszusammenhänge können sich verändern oder auch unumkehrbare Schäden verursachen. Nicht alle Auswirkungen lassen sich jedoch klar einer bestimmten Ursache zuordnen. Risiken sind daher nur schwer kalkulierbar.
<i>Unsicherheit</i>	Eine Vielzahl von treibenden Kräften und dynamischen Wirkungsketten sorgen für ein hohes Maß an Unsicherheit. Hinzu kommen nur schlecht oder gar nicht vorhersehbare Entwicklungen und Dynamiken. Perzeptionsfragen im sozialen Bereich und Verhaltensweisen von Lebewesen als Reaktion auf Störungen im ökologischen Bereich sind Beispiele für solche Variablen. Das erforderliche Treffen von Annahmen insbesondere zur Modellierung zukünftiger Entwicklungen stellt dabei einen Unsicherheitsfaktor dar. Modelle können und sollen nur ein vereinfachtes Bild der Realität aufzeigen.
<i>Mehrdeutigkeit (Ambiguität)</i>	Systemdynamiken und Konsequenzen menschlicher Eingriffe können je nach Wissens- und Informationsstand in vielerlei Richtungen gedeutet und bewertet werden. Die individuelle Perspektive von Einzelpersonen oder Gruppen spielt eine entscheidende Rolle. Bewertungen sind daher stark von subjektivem Ermessen bestimmt.

Die Merkmale werden im Folgenden mit Beispielen aus den Projektergebnissen von *Zukunft Küste – Coastal Futures* unterlegt, um so die ermittelten Risiken in den Kontext systemischer Risiken zu stellen.

#### ➤ *Komplexität der Ursache-Wirkungs-Ketten*

Nach den Projekterkenntnissen ist davon auszugehen, dass durch den Ausbau der Offshore-Windkraft in der Nordsee Wirkungsketten in Gang gesetzt werden, die Veränderungen in den Bereichen ‚Ökologie‘, ‚Ökonomie‘ und ‚Gesellschaft‘ und daraus entstehend Risiken nach sich ziehen. Ausgangspunkt ist das marine Ökosystem, das basierend auf seinen Funktionen und Strukturen wichtige Güter und Dienstleistungen bereitstellt, die so genannten *Ecosystem Goods & Services* (MEA 2003). Bei der Errichtung und dem Betrieb der Anlagen kann es zur Beeinflussung dieses Systems und seiner Funktionsfähigkeit und damit auch der *Ecosystem Goods & Services* kommen. Über verschiedene Dienstleistungen wirken diese Veränderungen wiederum auf das sozio-ökonomische Umfeld zurück. Ein Aspekt dieses Umfelds ist die Lebensqualität der ansässigen Bevölkerung. Für die Anwohner der beiden Küstenkreise Dithmarschen und Nordfriesland macht die Vorstellung von der ‚intakten Natur‘ einen wichtigen Teil der Lebensqualität aus. Die ‚intakte Natur‘ definiert sich für die Befragten maßgeblich durch die Präsenz von Zugvögeln oder Meeressäugern. Ähnlichen Wert hat eine Meereslandschaft, die den unverstellten Blick auf den Horizont zulässt und nicht von großflächigen

Industriestrukturen ‚verbaut‘ ist (Bruns & Gee 2010). Doch auch im wirtschaftlichen und infrastrukturellen Bereich führt der Ausbau der Offshore-Windkraft zu Veränderungen. In den kommenden Jahren sollen hohe Investitionen in den Aufbau der Parks, deren Netzanbindung, Servicebereiche und den Hafenausbau getätigt werden. Zurzeit sind rund 90.000 Menschen in der Planung sowie beim Bau und Betrieb von Windkraftanlagen (on- und offshore) beschäftigt. Bis 2020 sollen es bereits 112.000 sein (BWE 2009). Wenn es einer Region gelingt, die nötigen Maßnahmen zur Ansiedlung von Betrieben aus Bereichen der Offshore-Technik zu schaffen, werden zusätzliche Arbeitsplätze entstehen. Gleichzeitig können sich Werte und Normen der Bevölkerung, die sich aus Einstellungen zu ihrem Lebensraum und der Offshore-Windkraft speisen, verändern und über Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz der neuen Nutzung entscheiden (siehe Beispiel im Abschnitt *Mehrdeutigkeit*). Diese gesellschaftliche und auch politische Abwägung zwischen Chancen und Risiken entscheidet schließlich über die Ausgestaltung des planerischen Rahmens für die Offshore-Windkraft durch Entscheidungsträger.

Aus den oben genannten Zusammenhängen wird deutlich, dass es sich bei dem zu betrachtenden Ursache-Wirkungsgefüge um ein komplexes System handelt. Da hier die sozio-ökonomischen Komponenten untrennbar mit den Umweltkomponenten verbunden sind, kann ein solches Mensch-Umweltsystem nach Walker et al. (2006) als *sozial-ökologisches System* bezeichnet werden. Einen Überblick über die wichtigsten Ursachen und Wirkungen im sozial-ökologischen System der Küste in Bezug auf das Fallbeispiel gibt Abb. 3.

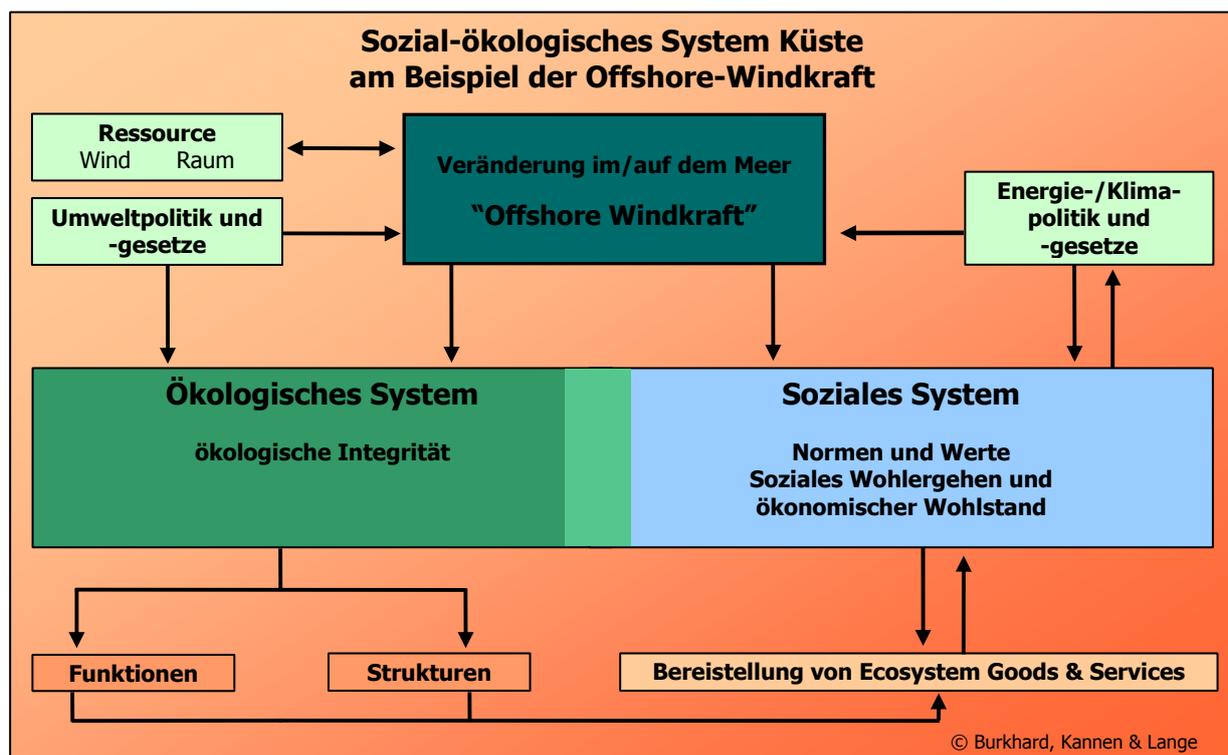


Abb. 3: Im Projekt *Zukunft Küste – Coastal Futures* analysierte Wirkungszusammenhänge innerhalb des sozial-ökologischen Systems Küste am Beispiel der Offshore-Windkraft (verändert nach: Kannen & Burkhard 2009)

Im Projekt wurden einzelne Auswirkungen eingehender untersucht. Ökologische Auswirkungen im Meer wurden mit dem europäischen Ökosystemmodell ERSEM erfasst und Veränderungen in der Schwebstoffkonzentration (SPM) während der Bauphase von Offshore-Windkraftanlagen simuliert. Dabei wurde eine SPM-Erhöhung im Bereich eines Windparks angenommen, die sich aus den Folgen der Rammarbeiten ergibt und wodurch es zu einem verminderten Lichteinfall kommt. Im Modell führen diese Annahmen zu einer Abnahme der Primärproduktion. Dies würde in der Folge wiederum

zu einer Abnahme des Algenwachstums führen. Nach der Bauphase stellt sich die Dynamik des Nährstoff-Transportes entsprechend dem Verhalten vor der Bauphase wieder ein (Lenhart et al. 2006). Das Zusammenspiel von Prozessen würde in diesem Fall zu keiner Veränderung unmittelbar vor und nach der Bauphase führen. Das Risiko einer dauerhaften Abnahme der Primärproduktion wäre daher als eher gering einzuschätzen. Risiken, die im Zusammenhang mit mittelfristigen Veränderungen wie den oben genannten stehen, wären nach den Modellergebnissen hingegen wahrscheinlich.

Neben den Modellierungen der Unterwasserkomponenten wurden weitere Zusammenhänge über dem Meer analysiert. Dabei wurden einerseits Auswirkungen von Offshore-Windkraftanlagen auf Zugvögel modelliert, die insbesondere durch Kollision und Ausweichmanöver betroffen sein könnten (detaillierte Ausführungen hierzu finden sich in der Arbeit von Ihme 2007). Weitere Untersuchungen beschäftigten sich mit Beeinträchtigungen von Seevögeln. Die Untersuchungen umfassten u. a. die Verbreitung und Häufigkeit spezieller Arten, die besonders störepfindlich reagieren und Windparke voraussichtlich meiden werden (Garthe & Hüppop 2004). In einer Studie (Mendel & Garthe 2010, dieser Band) zeigten sich wichtige Vorkommen von Seetauchern in den Gebieten der geplanten Windparke Butendiek, Dan Tysk und Sandbank 24 einerseits und in Vorranggebieten der Schifffahrt andererseits. Die Realisierung der Windparkprojekte wie auch der intensivierten Schiffsverkehr werden zu einem beträchtlichen Verlust von Rast- und Nahrungshabitaten von Seetauchern führen. Das Beispiel zeigt, dass sich Auswirkungen, wie beispielsweise im Fall des Kollisionsrisikos, nicht nur auf die Fläche eines Windparks beschränken, sondern das Effekte, wie im Fall der Meidung gestörter Gebiete, über den Ursprung ihrer Entstehung hinaus Folgeeffekte haben können. Das Risiko einer großräumigen und langfristigen Beeinträchtigung ist daher als potentiell hoch einzuschätzen, weitere Beobachtungen und Studien vor Ort sind für genauere Aussagen vonnöten.

#### ➤ *Unsicherheit*

Unsicherheiten zeigen sich beispielsweise bei der Reaktionsabschätzung einzelner Seevogelarten auf die Effekte von Offshore-Windkraft und Schiffsverkehr. Während z. B. Seetaucher Windparke weiträumig meiden, gibt es auch einige Vogelarten, wie z. B. Heringsmöwen, die eher durch Windparke und Schiffe angelockt werden. Auch wenn es weitestgehend als gesichert gilt, dass einige Seevogelarten die Windparke großräumig meiden, ist jedoch nur schwer vorhersehbar, wie das Ausweichverhalten der Tiere unter den einzelnen getroffenen Annahmen (teilweise extrem starker Ausbau der Offshore-Windkraft, siehe Kapitel 1) tatsächlich aussehen wird. Die Abschätzung des Kollisionsrisikos für die Vogelarten, die die Windparke nicht meiden werden oder bei schlechten Wetterbedingungen durch die Beleuchtung der Anlagen angelockt werden, stellt eine weitere Unsicherheit dar.

Hohmeyer (2006) zeigte in seinen Berechnungen im Rahmen der Projektarbeiten die regionalökonomischen Effekte des Ausbaus der Offshore-Windenergie für die Region Westküste. Er machte aber gleichsam die Notwendigkeit von Steuerungsmechanismen im planerischen Bereich deutlich. So könnten positive Effekte nur erzielt werden, wenn die nötigen Grundlagen für die Ansiedlung von Betrieben, wie die Schaffung von Infrastrukturen und Planungssicherheiten, geschaffen würden. Selbst wenn es lediglich gelänge, Teile des Baus der unterschiedlichen Komponenten oder der Montage aus der Region heraus bereitzustellen, wären positive Nettoeffekte im Bereich der Beschäftigung zu erwarten. Die „Nichtergreifung“ der Chance und der Möglichkeit, die ländlich periphere Westküste ökonomisch zu stärken, wäre daher ein Risiko aus ökonomischer Sicht. Die wirtschaftlichen Folgen energie- oder klimapolitischer Entscheidungen hängen jedoch von unterschiedlichen Zielvorstellungen ab. Sie können die Entwicklung der Offshore-Windkraft beschleunigen oder verzögern. Zögerliche Entscheidungen können den Prozess verlangsamen, scheitern oder Planungsunsicherheiten entstehen lassen. Unsicherheit ermöglicht aber auch, Entwicklungschancen für diejenigen Akteure entstehen zu lassen, die unter diesen Bedingungen risikobehaftete Investitionen ermöglichen (z. B. auch für Infrastrukturmaßnahmen). So sind im deutschen Küstenraum Arbeitsplätze dort entstanden, wo die nötigen Voraussetzungen geschaffen wurden.

➤ *Mehrdeutigkeit (Ambiguität)*

Ökologische Veränderungen durch die Offshore-Windkraft können zu Veränderungen in der Wahrnehmung betroffener Bevölkerung von Offshore-Windkraft führen. Risiken in diesem Bereich lassen sich nicht nur nach technisch-naturwissenschaftlichen Konzepten, wie etwa der Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten oder Modellierungen, erfassen. Bestandteil insbesondere von sozialwissenschaftlichen Risikokonzepten ist die gesellschaftlich konstruierte Interpretation von erwarteten Auswirkungen, dies wird auch als ‚wahrgenommenes Risiko‘ bezeichnet. Es ergibt sich aus dem individuellen Wissensstand, der Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse, medialer Berichterstattung aber auch dem persönlichen Hintergrund oder Einstellungen (Renn et al. 2007, Zwick & Renn 2008).

Auf Grundlage einer Befragung konnte Gee (2010) zeigen, dass sich die Akzeptanz von Offshore-Windkraftanlagen aus der Abwägung unterschiedlicher Werte und Vorstellungen von der Küste und dem Meer speist. Landschaftsästhetik (offener Horizont oder freier Meeresblick) und der hohe ökologische Wert des Wattenmeers und der Nordsee sind zwei Aspekte, die von den Bewohnern der schleswig-holsteinischen Westküste stark wertgeschätzt und somit in der Abwägung zwischen Akzeptanz und Ablehnung der Offshore-Windkraft in die Waagschale geworfen werden. Bedenken gegen die Offshore-Windkraft äußerte sich in der Befragung bei den Statements, die für den Naturschutz argumentierten (knapp 15 % aller Argumente): „Verschwinden der noch letzten Schweinswale, Verschmutzung, noch mehr tote Vögel, Gefahr von Schiffsunfällen und Ölpest“ oder „ein sehr störender Faktor für die Natur und die Tiere, vom Ausblick ganz zu schweigen“ (Zitate von Befragten in Gee 2010). Gewünschte Nutzungsprioritäten und persönliches Erleben bestimmter Landschaftsqualitäten sind weitere Aspekte, die diese Beurteilung beeinflussen. Ein wahrgenommenes Risiko besteht somit auch darin, dass die Landschaftsästhetik unter der Errichtung von Windkraftanlagen auf dem Meer leidet und der ästhetische Wert eines freien Horizontes gefährdet werden könnte (Abb. 4). In die andere Waagschale fällt die Überzeugung, dass erneuerbare Energien als Alternative zu Kohle oder Atomkraft gefördert werden müssen. Hier rückt der gesellschaftliche und längerfristige Nutzen an die vordere Stelle, was sich aus einer ethisch-moralischen Grundhaltung und der Vorstellung des verantwortlichen Umgangs mit der Welt und zukünftigen Generationen speist.



Abb. 4: Wanderer durch das Watt auf dem Weg zur Insel Neuwerk. Viele Menschen an der Küste schätzen Werte wie einen weiten Horizont oder einen freien Meeresblick (Foto: M. Lange)

So gaben bei der Befragung 60 % der Befürworter der Offshore-Windkraft an, die neue Technologie zu unterstützen, da es sich um eine erneuerbare Energiequelle handele. „So viel ungenutzte Energie

aus Wind... Allemal besser als Strom aus Atom- oder Kohlekraftwerken“, so die Meinung eines Befragten.

Die Studie zeigt, dass Systemdynamiken und erwartete Konsequenzen menschlicher Eingriffe von Einzelpersonen oder Gruppen je nach Priorisierung einzelner Werte in vielerlei Richtungen gedeutet und bewertet werden können. Die Bewertungen sind normativ geprägt und die individuelle Perspektive spielt eine große Rolle.

#### 4 Diskussion und Zusammenfassung

Systemische Risiken entstehen aus der starken Vernetzung von Systemen und den komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen. Effekte, die beispielsweise im Bereich der Ökologie entstehen, verursachen Auswirkungen nicht nur in der Ökologie, sondern strahlen in den sozialen Bereich ab und sorgen hier wiederum für Effekte. Das dargestellte Konzept systemischer Risiken eignet sich gut, um die durch Offshore-Windkraftnutzung entstehenden Risiken zu charakterisieren und einzuordnen. In dem vorliegenden Artikel wurden die zahlreichen Ursachen und Wirkungen im Zusammenhang mit der neuen Technologie angerissen und es wurde gezeigt, dass Elemente innerhalb des betrachteten Systems auf vielerlei räumlichen, zeitlichen und thematischen Ebenen miteinander interagieren. Aber auch Unsicherheiten und Probleme bei der Deutung ökologischer, gesellschaftlicher und ökonomischer Auswirkungen wurden herausgestellt. Das Beispiel der Offshore-Windkraft macht deutlich, dass Auswirkungen nicht auf den einzelnen Parks oder nur auf das Meer begrenzt sind. Außerdem machen die Studien zu den Effekten auf Seevögel deutlich, dass Wechselbeziehungen nicht nur innerhalb eines Systems, hier der Ökologie, bestehen, sondern insbesondere zwischen Systemen der ökonomischen, physischen und sozialen Welt. Das Beispiel der Wahrnehmung der Westküstenbevölkerung zeigt, dass Auswirkungen im ökologischen Bereich nicht nur auf die Umwelt zurückwirken, sondern auch gesellschaftliche Fragen der Akzeptanz beeinflussen.

Die Erkenntnisse betonen den Bedarf an integrativen Werkzeugen, die in verschiedene Bereiche der Meeres- und Küstenforschung hineinreichen und miteinander gekoppelt werden. Hier setzt der interdisziplinäre und integrative Ansatz von *Zukunft Küste – Coastal Futures* an. Die Anwendung unterschiedlicher Modelle und deren Kopplung (Burkhard et al. 2010, dieser Band) ermöglicht die Simulation von künftigen Veränderungen und hilft, mögliche Effekte an anderer Stelle des Systems anzuzeigen. Basierend auf den Kenntnissen von Interaktionen, beispielsweise zwischen der Dynamik von Schwebstoffen, der Produktion von Nährstoffen und der Dynamik von Nahrungsnetzen können so Systemzusammenhänge vereinfacht beschrieben werden. Dabei reduzieren Modelle Entwicklungen und Prozesse auf ausgewählte Sachverhalte und liefern ein vereinfachtes Bild der Wirklichkeit. Die Ergebnisse der Modellierung müssen, um eine höhere Aussagekraft der Simulation zu ermöglichen, noch zusätzlich validiert, an der Wirklichkeit überprüft werden.

Integrative Ansätze, wie der DPSIR- und der Ansatz der *Ecosystem Goods & Services* ermöglichen die Verknüpfung von Einzeluntersuchungen entlang einer einheitlichen Struktur. Das Vorgehen hat sich nach den Erfahrungen des Projektes als sinnvoller Ansatz erwiesen, um die Auswirkungen und Risiken der zukünftigen Nutzung Offshore-Windkraft zu identifizieren, sie möglichst umfassend zu strukturieren und zu charakterisieren (Kannen & Burkhard 2009; siehe Abb. 3).

Die Beispiele aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes zeigen, dass die Nutzung der Offshore-Windkraft und die damit verbundenen Risiken aus der Verkettung unterschiedlicher Ursachen, Wirkungen und treibender Kräfte entstehen (*Komplexität der Ursache-Wirkungs-Ketten*). Die Bewertungsansätze und Ergebnisse stellen keine Bewertung des Ausmaßes im Sinne einer rein technisch-naturwissenschaftlichen Risikoabschätzung dar. Vielmehr wird der Blickwinkel erweitert, indem die Analyse systemischer Risiken auch die ökonomische und gesellschaftliche Ebene einbezieht. Dadurch entsteht ein Eindruck, welche möglichen Veränderungen (natürlicher, wirtschaftlicher und sozialer Faktoren) in welchem Ausmaß durch die Integration der neuen Nutzung entstehen können – aber nicht zwangsläufig müssen. Diese integrative Betrachtungsweise trägt

außerdem dazu bei, möglichst viele Informationen und Ergebnisse bei der Abschätzung von Risiken zu berücksichtigen und so zu einer Einschätzung über das Gesamtrisiko der geplanten Offshore-Windparks zu gelangen. Eine angestoßene Diskussion von Methoden und Ergebnissen kann außerdem zur Verbesserung der Qualität wissenschaftlicher Ergebnisse führen.

Das Konzept der systemischen Risiken kann für die Bewertung der Auswirkungen der Offshore-Windkraft einen wichtigen Beitrag leisten. Es eignet sich sehr gut, um die Risiken dieser Technologie und Raumnutzung entlang der Merkmale systemischer Risiken zu charakterisieren und einzuordnen. Der Artikel hat darüber hinaus deutlich gemacht, dass sich komplexe Systeme, wie das im Projekt betrachtete, letztlich auf unvorhersehbare Weise verhalten können. Das Konzept eignet sich daher auch dazu, Grenzen in Bezug auf Systemwissen aufzuzeigen.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der Erforschung von systemischen Risiken bewegt sich die Wissenschaft an der Schnittstelle zwischen problemorientierter Analyse, der Erforschung von Gesellschaft-Umwelt-Beziehungen und politischen Entscheidungen. Interdisziplinäre Ansätze wie der des Projekts *Zukunft Küste – Coastal Futures* mit seinen integrativen Werkzeugen zur Erfassung von Ursache-Wirkungs-Ketten und der Diskussion von Ansätzen sollten hier ein wichtiger Baustein sein. Die Ergebnisse des Projekts sollten aber nicht isoliert von gesellschaftlichen Zielvorstellungen und politischen Entscheidungen gesehen werden (Bruns & Gee 2010). Im Mittelpunkt der gesellschaftlichen Debatte um Akzeptanz sollte ein Abwägungsprozess stehen, welche Nutzungsprioritäten die Gesellschaft für ihren Raum wünscht und welche Kompromisse sie für die Zukunft bereit ist einzugehen. Szenarien zukünftiger Meeresnutzungen, wie die im Projekt entwickelten (siehe Kapitel 2), können hier einen wichtigen Beitrag leisten.

Für politische Entscheidungsträger ergibt sich aus den gesellschaftlichen Vorstellungen und Visionen Handlungsbedarf. Sie müssen diese Zielvorstellungen aufgreifen, zwischen Chancen und Risiken abwägen und schließlich durch die Ausgestaltung des Rahmens für den Ausbau der Offshore-Windkraft Risiken eingrenzen und im Sinne der Vorsorgeprinzipien lenken. Entscheidungen werden dabei durch die zahlreichen Unsicherheiten erschwert. Die Qualität und entsprechende Aufbereitung wissenschaftlicher Ergebnisse sind daher umso wichtiger und können durch einen Dialog über Szenarien, die verschiedene Pfade einer zukünftigen Entwicklung beschreiben, kommunikativ unterstützt werden.

## Literatur

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2002): Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See – im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung. Berlin, 26 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Stiftung Offshore-Windenergie (2007): Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung. Informationsblatt (deutsch, englisch). ([http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore\\_wind\\_deployment\\_de\\_en.pdf](http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore_wind_deployment_de_en.pdf), 5. Dezember 2009).
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der europäischen und globalen Entwicklung – Leitszenario 2009 (DLR-Studie im Auftrag des BMU). Berlin, 106 S.
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009): Raumordnungsplan für die AWZ. Informationen zu den Planungen von Offshore-Windparks im Bereich der deutschen AWZ. ([www.bmvbs.de/Raumentwicklung/](http://www.bmvbs.de/Raumentwicklung/), 1501.1046145/Raumordnungsplan-fuer-die-AWZ.htm, 20. Oktober 2009).

- Bruns, A. (2009): Partizipative Planungsprozess im Küstenraum – Ein Beitrag zur geographischen Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Ratter, B. (Hrsg.): Küste und Klima. Hamburger Symposium Geographie 1: 61–77.
- Bruns, A. & K. Gee (2009): From State-Centered Decision-Making to Participatory Governance – Planning for Offshore Wind Farms and Implementation of the Water Framework Directive in Northern Germany. *GAIA* 2: 150–157.
- Bruns, A. & K. Gee (2010): Der Küsten- und Meeresraum zwischen traditionellen Küstenbildern und neuen Steuerungsformen für eine nachhaltige Entwicklung. *Berichte zur deutschen Landeskunde*, Deutsche Akademie für Landeskunde (im Druck).
- BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2009): Genehmigung von Offshore Windenergieparks. Genehmigte Windparkprojekte in der Nordsee. ([www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp](http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp), 3. Dezember 2009).
- Burkhard, B. (2006): Nordsee 2055 – Zukunftsszenarien für die Küste. *EcoSys Supplementary Band 46*: 70–89.
- Burkhard, B. & F. Müller (2008): Drivers-Pressure-State-Impact-Response. In: Jørgensen, S.-E. & B. Fath (Hg.): *Encyclopedia of Ecology (5-Vol. Set) 2*: 967–970.
- Burkhard, B., S. Opitz, H. Lenhart, K. Ahrendt, S. Garthe, B. Mendel & W. Windhorst (2009): Ecosystem based modeling and indication of ecological integrity in the German North Sea – Case study offshore wind farms. *Ecological Indicators* (2009), doi:10.1016/j.ecolind.2009.07.004.
- Burkhard, B., S. Opitz, H. Lenhart, K. Ahrendt, S. Garthe, B. Mendel, P. Nerge & W. Windhorst (2010): Modellbasierte Bewertung der Auswirkungen von Offshore-Windkraftanlagen auf die ökologische Integrität der Nordsee. *Coastline Reports*, dieser Band.
- BWE – Bundesverband Windenergie (2009): Jobmotor Windenergie. ([www.windenergie.de/de/themen/wirtschaftsfaktor/arbeitsplaetze/](http://www.windenergie.de/de/themen/wirtschaftsfaktor/arbeitsplaetze/), 5. Dezember 2009).
- DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2009): Leitszenario 2009: Erneuerbare Energien weiter auf dem Vormarsch. Zusammenfassung des für das BMU entwickelte und untersuchte „Leitszenario 2009“. ([www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-5105/8598\\_read-20273/](http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-5105/8598_read-20273/), 20. Oktober 2009).
- EEA – European Environment Agency (1999): Information for improving Europe's environment. Kopenhagen, Dänemark, 20 S.
- ELSAM Engineering & Energy E2 (2004): The Danish Offshore Wind Farm Demonstration Project: Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farm. Environmental impact assessment and monitoring. Review Report 2003. Kopenhagen, Frederica.
- EU – Europäische Union (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. *Amtsblatt der Europäischen Union*. 47 S.
- Garthe, S. & O. Hüppop (2004): Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology* 41: 724–734.
- Gee, K. (2010): Offshore wind power development as affected by seascape values on the German North Sea coast. *Land Use Policy* 27: 185–194.
- Gee, K., A. Kannen, B. Glaeser & H. Sterr (2004): National ICZM strategies in Germany: A spatial planning approach. In: Schernewski, G. & N. Löser (Hg.): *Managing the Baltic coast*. *Coastline Reports* 2: 23–34.
- Gee, K., A. Kannen, K. Licht-Eggert, B. Glaeser & H. Sterr (2006a): Bestandsaufnahme der Nutzungstrends, Planungsherausforderungen und des strategischen Umfelds in der deutschen Küstenzone. *Berichte aus dem Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel*, Nr. 38. Büsum, 149 S.
- Gee, K., A. Kannen, K. Licht-Eggert, B. Glaeser & H. Sterr (2006b): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM): Raumordnungsstrategien im Küstenbereich und auf dem Meer. In: BMVBS & BBR (Hrsg.): *Abschlussbericht ‚Raumordnung und IKZM als Instrumente für die nachhaltige Entwicklung des Küsten- und Meeresraums‘*. Berlin, 84 S.
- Hohmeyer, O. (2006): Endbericht zum Teilvorhaben ‘Regionalökonomische Auswirkungen des Offshore Ausbaus der Windenergie in der deutschen Nordsee auf die Region Westküste im Rahmen des Forschungsvorhabens Zukunft Küste – Coastal Futures. Universität Flensburg. Flensburg, 32 S.
- Ihme, K. (2007): Using Birds and Marine Mammals as Indicators to Assess Impacts of Offshore Wind Parks in Germany - A Spatio-Temporal Scenario Approach. Masterarbeit an der Universität Kiel. 93 S.
- Kannen, A. & B. Burkhard (2009): Integrated Assessment of Coastal and Marine Changes Using the Examples of Offshore Wind Farms: the Coastal Futures Approach. *GAIA* 3: 228–238.

- Kannen, A., K. Gee & K. Licht-Eggert (2008): Managing changes in sea use across scales: North Sea and North Sea coast of Schleswig-Holstein. In: Krishnamurthy R. R., B. C. Glavovic, A. Kannen, D. R. Green, A. Ramanathan, Z. Han, S. Tinti & T. Agardy (Hrsg.): ICZM – The global challenge. Research Publishing, New Delhi, India, S. 93–108.
- Kannen, A., K. Ahrendt, A. Bruns, B. Burkhard, D. Diembeck, K. Gee, B. Glaeser, K. Licht-Eggert, T. Michler, O. Meyer-Engelhard, C. Nunneri, S. Stragies & W. Windhorst (2009): Exploring the future of seas and coasts: Scenarios within the joint research project Zukunft Küste - Coastal Futures. In: Dahl, E., E. Moksness & J. Støttrup (Hrsg.): Integrated Coastal Zone Management. Wiley-Blackwell Publishing, London, S. 207–218.
- Lenhart, H., B. Burkhard, & W. Windhorst (2006): Ökologische Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte als Folge der Baumaßnahmen von Offshore Windkraftanlagen. EcoSys Supplementary Band 46: 90–106.
- Luhmann, N. (1991): Soziologie des Risikos. Walter de Gruyter Verlag, Berlin, 275 S.
- Mendel, B. & S. Garthe (2010): Kumulative Auswirkungen von Offshore-Windkraftnutzung und Schiffsverkehr am Beispiel der Seetaucher in der Deutschen Bucht. Coastline Reports, dieser Band.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2003): Ecosystem and human wellbeing. A framework for assessment. Synthesis Report. Island Press, Washington, D.C., USA, 155 S.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2003): Emerging Systematic Risks in the 21st Century. An Agenda for Action. OECD Abschlussbericht zum OECD Zukunftsprojekt. OECD Publications Service, Paris, Frankreich, 292 S.
- Renn, O. & F. Keil (2008): Systemische Risiken: Versuch einer Charakterisierung. GAIA 4: 349–354.
- Renn, O., P.-J. Schweizer, M. Dreyer & A. Klinke (2007): Risiko – Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheiten. oekom Verlag, München, 271 S.
- Steel, B., P. List & B. Shindler (1994) Conflicting values about federal forests: A comparison of National and Oregon publics. Society and Natural Resources 7: 137-153.
- Walker, B., L. Gunderson, A. Kinzig, C. Folke, S. Carpenter & L. Schulz (2006): A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems. Ecology and Society 11(1): 13.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998): Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten des WBGU 1998. Berlin, 378 S.
- Zwick, M.-M. & O. Renn (2008): Risikokonzepte jenseits von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensersparung. In: Felgentreff, C. & T. Glade (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 77–97.

## Danksagung

Die Arbeiten waren Teil des vom BMBF geförderten Verbundprojektes *Zukunft Küste – Coastal Futures*, das unter Mitwirkung unterschiedlicher Partnerinstitutionen und Kooperationspartnern zwischen 2004 und 2010 durchgeführt wurde. Danken möchten wir allen Projektmitarbeiter/innen, auf deren Ergebnisse wir im Rahmen der Erstellung dieses Beitrags zurückgreifen konnten und dem BMBF für die 6-jährige Förderung (BMBF FKZ 03F0476).

## Adresse

Marcus Lange  
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Institut für Küstenforschung  
Max-Planck-Str. 1  
21502 Geesthacht, Germany

marcus.lange@gkss.de