

Hanse-Studien / Hanse Studies
Hanse-Wissenschaftskolleg Delmenhorst
Hanse Institute for Advanced Study

Band 3 / Volume 3

Ingo Heidbrink (Hrsg.)
unter Mitarbeit von Frank Lamy

Konfliktfeld Küste – Ein Lebensraum wird erforscht



Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg
2003

Hanse-Studien / Hanse Studies
Hanse-Wissenschaftskolleg Delmenhorst
Hanse Institute for Advanced Study

herausgegeben von
Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth und Uwe Opolka

In der Reihe *Hanse-Studien / Hanse Studies* erscheinen – in deutscher oder englischer Sprache – unveröffentlichte Forschungsarbeiten, die am Hanse-Wissenschaftskolleg (HWK) in Delmenhorst entstanden sind, sowie Berichte über vom HWK durchgeführte Konferenzen.

Das Hanse-Wissenschaftskolleg ist eine gemeinnützige Stiftung bürgerlichen Rechts der Länder Bremen und Niedersachsen sowie der Stadt Delmenhorst. Es wurde 1995 gegründet und nahm 1997 seine Arbeit auf. Seine Hauptaufgabe besteht in der Stärkung des überregional und international anerkannten Forschungspotentials der umliegenden Universitäten und Forschungseinrichtungen, insbesondere der Universitäten Oldenburg und Bremen. Seine derzeitigen Arbeitsschwerpunkte liegen auf den Gebieten Meeres- und Klimafor- schung, Neuro- und Kognitionswissenschaften, Sozialwissenschaften sowie auf interdisziplinären Projekten. In diesen Bereichen beruft es Fellows und führt Tagungen durch.

Anschriften der Herausgeber:

Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth
Hanse-Wissenschaftskolleg
Lehmkuhlenbusch 4
27753 Delmenhorst
Telefon: 0 42 21 / 91 60-108
Telefax: 0 42 21 / 91 60-199
e-mail: gerhard.roth@h-w-k.de

Uwe Opolka
Hanse-Wissenschaftskolleg
Lehmkuhlenbusch 4
27753 Delmenhorst
Telefon: 0 42 21 / 91 60-109
Telefax: 0 42 21 / 91 60-199
e-mail: uopolka@h-w-k.de

Verlag/Druck/
Vertrieb: Bibliotheks- und Informationssystem
 der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
 (BIS) – Verlag –
 Postfach 25 41, 26015 Oldenburg
 Tel.: 0441/798 2261, Telefax: 0441/798 4040
 e-mail: verlag@bis.uni-oldenburg.de

ISBN 3-8142-0850-1

Inhalt

<i>Gerold Wefer und Dierk Hebbeln</i>	
Vorwort	5
<i>Ingo Heidbrink</i>	
Einführung	7
<i>Frank Lamy</i>	
Eine kurze Geschichte des Klimas – Umweltarchive am Meeresboden	17
<i>Carolyn Scheurle</i>	
Was geschah während der Kleinen Eiszeit? – Klimawandel im Nordseeraum	39
<i>Jürgen Meyerdirks</i>	
Lebensraum Wattenmeer in Gefahr? – Naturschutz und Klimawandel an der Nordseeküste	63
<i>Tomas Feseker</i>	
Zwischen Salz- und Süßwasser – der Grundwasserhaushalt an der Küste	97
<i>Jens Dannenberg</i>	
Die Vermessung des Wattenmeers – eine dynamische Landschaft wird kartiert	113
<i>Claudia Wienberg</i>	
Korrigiert und ausgebaggert – die Außenweser im Wandel der Zeit	139

<i>Ingo Heidbrink</i>	
Fischdampfer in der Nordsee – Überfischung als Auslöser technischer Innovationen	161
<i>Ann-Katrin von der Heide</i>	
Nordseeschutz und Umweltrecht – welche Rolle spielen internationale Meeresschutzvereinbarungen?	179
<i>Marcus Ladineo</i>	
Umweltprobleme als Verhaltensprobleme – Was kann die Psychologie beitragen?	217
<i>Olaf Mosbach-Schulz</i>	
Variabilität in der Expositionsabschätzung – eine Herausforderung für Administration und Wissenschaft	237
<i>Oliver Höpfner</i>	
Der Jade-Weser-Port – Perspektiven für eine Region	253
Die Autoren	291

Vorwort

Ökologisch und ökonomisch gehören die Küstengebiete zu den wichtigsten Lebensräumen auf der Erde. Dementsprechend unterliegen sie auch den meisten Nutzungsansprüchen, die unterschiedlichsten Zielsetzungen gehorchen: von völliger ökonomischer Ausbeutung bis hin zur ausschließlichen Ökosystemerhaltung unter Ausschluss des Menschen. Solche extremen Ziele sind heute gesellschaftlich kaum durchsetzbar, und es zeigt sich, dass gerade in dicht besiedelten Küstengebieten die Zukunft der ökologischen und der ökonomischen Entwicklung eng miteinander gekoppelt sein müssen. Deren Verzahnung hat sich das Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM) zum Ziel gesetzt, das den Schutz der natürlichen Ökosysteme mit einer Verbesserung der wirtschaftlichen und sozialen Situation in den Küstengebieten in Einklang bringen will.

In Deutschland werden, wie in vielen anderen Ländern auch, derzeit Leitlinien für das Integrierte Küstenzonenmanagement formuliert. Sie sollen den lokalen Verwaltungen in den Küstengebieten Strategien für ein erfolgreiches Küstenzonenmanagement an die Hand geben. Da diese Verwaltungen in der Regel mit Problemen zu tun haben, die durch die lokalen Gegebenheiten bestimmt werden, müssen sie diese Strategien selbst anpassen. Im Mittelpunkt des Küstenzonenmanagements müssen dabei immer die betroffenen Personen, Verbände und Institutionen stehen, ohne deren Zustimmung sich Maßnahmen zur weiteren Entwicklung zumeist nur schwer durchsetzen lassen.

Für die Umsetzung solcher Konzepte sind die lokalen Verwaltungen auf Experten angewiesen, die über den engen Bereich ihrer eigenen Fachdisziplin hinaus in der Lage sind, Probleme in den Küstengebieten vor einem breiteren Hintergrund zu analysieren und im Rahmen von interdisziplinären Netzwerken Lösungsvorschläge zu unterbrei-

ten. Experten mit diesen Fähigkeiten gibt es aber bisher kaum, da die wissenschaftlichen Ausbildungswege in der Regel noch sehr fachspezifisch orientiert sind.

Im Rahmen des von der Universität Bremen in Zusammenarbeit mit dem Hanse-Wissenschaftskolleg geförderten Doktorandenkollegs „Lebensraum Nordseeküste“ sollen die disziplinären Grenzen durch die fächerübergreifende Betreuung und Ausbildung von Doktoranden aus sechs Fachbereichen der Universität überwunden werden. Dabei steht der Einblick in die Methoden und Möglichkeiten der jeweils anderen Disziplinen im Vordergrund. Die jungen Wissenschaftler erwerben dadurch die Fähigkeit, das Potential einzelner Fachrichtungen für die Lösung komplexer Probleme im Küstenraum einzuschätzen und bei Bedarf zu aktivieren. Die Breite des Themenspektrums innerhalb des Doktorandenkollegs spiegelt sich in den einzelnen Beiträgen der Doktoranden zu diesem Band wider. Sie beruhen auf Vorträgen, die im Rahmen einer von den Doktoranden initiierten öffentlichen Ringvorlesung gehalten wurden.

Bremen/Delmenhorst, im Herbst 2002

Dierk Hebbeln und Gerold Wefer

Ingo Heidbrink

Einführung

Das vorliegende Buch basiert auf den Beiträgen der Ringvorlesung „Lebensraum Nordseeküste“, die im Wintersemester 2001/02 als Bestandteil des gleichnamigen Doktorandenkollegs an der Universität Bremen gehalten wurden. Mit diesem Doktorandenkolleg beschritten die Universität Bremen und das Hanse-Wissenschaftskolleg insofern gemeinsam neue Wege, als die Mitglieder der Doktorandengruppe nicht nur von ihren jeweiligen Heimatfachbereichen an der Universität Bremen betreut wurden, sondern zwei Fellows des Hanse-Wissenschaftskollegs an der Koordination des Projekts kontinuierlich mitwirkten. Ebenso wie die Doktoranden arbeiteten diese beiden Fellows schwerpunktmäßig an eigenen Forschungsprojekten in ihren Heimatdisziplinen, stellten jedoch zugleich sicher, dass eine interdisziplinäre Kooperation aller Beteiligten realisiert wurde.

Ausgehend von der Beobachtung, dass in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten die Nutzungsansprüche an Küstenräume im allgemeinen und an die Nordseeküste im besonderen immer komplexer geworden sind und somit eine einzelne Disziplin häufig nicht mehr in der Lage ist, umfassende Lösungsvorschläge für anstehende Probleme zu entwickeln, waren an dem Projekt sowohl Naturwissenschaften als auch die entsprechenden Gesellschaftswissenschaften beteiligt. Während die beiden als Postdoktoranden fungierenden Fellows des Hanse-Wissenschaftskollegs aus den Bereichen der Geo- und der Geschichtswissenschaften kamen, waren die Doktoranden in den Fachbereichen Biologie, Geowissenschaften, Rechtswissenschaften, Physik, Psychologie und Wirtschaftswissenschaften beheimatet.

Warum sind allerdings gerade die Küstenregionen wie diejenige der Nordsee so kompliziert geworden, dass nur eine bereits in der Aus-

und Fortbildung junger Wissenschaftler beginnende interdisziplinäre Arbeit dazu beitragen kann, diese zu verstehen?

Die Küstenregionen zählen zu den wichtigsten Lebensräumen für die Menschheit, da in ihnen etwa 60 Prozent der Weltbevölkerung leben. In vielerlei Hinsicht sind sie von außerordentlicher wirtschaftlicher Bedeutung, wobei sie vielfältigen Nutzungsanforderungen unterliegen: Die Küstengewässer dienen als Auffangbecken für Schadstoffeinträge in Gewässer und Luft sowie für Abfalleinbringung. Die Küstengebiete und -gewässer bilden auch eine wichtige Lebensgrundlage für den Menschen, indem sie zu Zwecken der Fischerei, der Landwirtschaft, des Bergbaus, der Gewinnung von Windenergie, des Tourismus usw. genutzt werden. Darüber hinaus bieten die Küstengebiete Standortvorteile für Schiffbau, Häfen, Siedlungen und gewässerabhängige Industrie. Schließlich und nicht zuletzt sind die Küstengewässer ein schützenswerter Naturraum, der als Laich- und Aufwuchsgebiet für Fische und als Nahrungs- und Rastbiotop für eine Vielfalt von Vögeln dient.

Bei dieser kurzen Beschreibung wird deutlich, welche zentrale Rolle die Nutzung durch den Menschen in den Küstenregionen spielt. Dabei entstehen Konflikte häufig dadurch, dass unterschiedliche Nutzergruppen unterschiedliche, zum Teil auch gegensätzliche, Ansprüche haben. Die Nutzungen können dabei zu Veränderungen im System führen, die, auch wenn sie unmittelbar nur geringe Auswirkungen haben, mittelbar umfangreiche Rückkoppelungseffekte in Gang setzen können, die möglicherweise in viel weitreichendere Veränderungen münden. Unbestritten ist heute, dass es in vielen Bereichen zu einer Übernutzung gekommen ist, die zum Teil bereits heute zu gravierenden Veränderungen des Lebensraums Küste führten.

Um diese Nutzungskonflikte zu kontrollieren, sind im Laufe der Zeit zahlreiche rechtliche Regelungen entwickelt worden, die auf allen Ebenen – von der Gemeinde über das Land und den Bund bis zur Europäischen Union und den Vereinten Nationen – greifen. Sie umfassen viele Bereiche vom Naturschutz-, See- und Fischereirecht über das Planungsrecht bis zum Gewässer-, Bergbau- und Chemika-

lienrecht. Trotz dieser vielen gesetzlichen Regeln herrscht aber allgemein der Eindruck vor, dass im Hinblick auf eine schonende Nutzung des Küstenraums noch erhebliche Defizite bestehen.

Verbesserungen sind hier nur zu erwarten, wenn es der Gesellschaft gelingt, bei der Bewertung und Entscheidung über geplante Nutzungen (zum Beispiel Hafenbauprojekte) und bei der Reaktion auf ungewollte Veränderungen (zum Beispiel Überfischung) entsprechend zu handeln. Um diese Aufgaben zu erfüllen, sind Entscheidungsgrundlagen nötig, die auf einem möglichst weitreichenden Verständnis der Wechselwirkungen zwischen natürlichen Prozessen, menschlichen Eingriffen und gesellschaftlichen Anforderungen basieren. Ein solches Verständnis ist bisher aber kaum vorhanden, was zu einem großen Teil darauf zurückzuführen ist, dass bisher meistens nur einzelne Aspekte bearbeitet wurden, und dies entweder nur von Seiten der Natur- oder nur von Seiten der Gesellschaftswissenschaftler. Gerade vor dem Hintergrund möglicher zukünftiger Umweltveränderungen werden hier dringend neue interdisziplinäre Ansätze gebraucht. Hierbei ist es das langfristige Ziel, mit Hilfe entsprechenden Grundlagenwissens eine schonende Nutzung des Küstenraumes mit einem optimalen Kompromiss zwischen Nutzung und Erhaltung zu erreichen.

Bei der Betrachtung des sich verändernden Küstenraums darf nicht vergessen werden, dass das natürliche System Küstenraum nicht statisch ist, sondern dass die Veränderung der Umwelt ein ständiger Prozess ist. Die offensichtlichste natürliche Einflussgröße auf die Gestaltung dieser Region ist die Höhe des Meeresspiegels, die – in Zusammenhang mit zahlreichen anderen Faktoren – in erster Linie durch das Klima gesteuert wird. Zu den übrigen natürlichen Faktoren, die zum Beispiel auch die Höhe des Meeresspiegels in den letzten Jahrhunderten und Jahrtausenden immer wieder verändert haben, hat sich seit langem der Naturfaktor Mensch gesellt. Seit der Einführung des Ackerbaus nutzt er nicht nur den Lebensraum Küste, sondern formt dessen Natur und beeinflusst damit die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Land und Meer, wenn auch in den vergangenen Jahrtausenden nur mit lokalen oder allenfalls regionalen Auswirkungen. Mit

dem Beginn der Industrialisierung vor rund 150 Jahren hat der Mensch dann begonnen, in großem Maßstab lokal, regional und auch global auf die Natur einzuwirken.

Das gilt natürlich auch für die deutsche Küstenregion entlang der Nordsee. Die dauerhafte Nutzung dieser flachen Küstenregion und -gewässer erfordert langfristige und vorsorgende Planungen, was besonders für den Küstenschutz gilt, wenn man bedenkt, dass die letzte Erhöhung der gesamten niedersächsischen Deichlinie über 30 Jahre gedauert hat. Hinzu kommt die Entwicklung einer dauerhaft umweltgerechten und die Ressourcen schonenden Wirtschaftsweise.

Heutige Eingriffe in Natur und Landschaft müssen daher noch stärker als bisher üblich nach ihren langfristigen Entwicklungen und Folgen beurteilt werden. Um diese abschätzen zu können und um Grundlagen für eine schonende Nutzung des Lebensraums Küste zu entwickeln, müssen neue disziplinübergreifende Ansätze erarbeitet werden. Bisher vorliegende Studien sind zu einem großen Teil auf die Früherkennung von Risiko- und Konfliktpotentialen sowie sozioökonomischen Gefahren ausgerichtet. Dagegen finden sich bisher kaum Überlegungen, welche die langfristigen Veränderungen des Naturhaushalts mitberücksichtigen. Die Menschen an der Küste sehen sich permanent mit dem scheinbaren Widerspruch zwischen Ökologie und Ökonomie konfrontiert, was sich zum Beispiel in dem Wunsch nach einer intakten Umwelt widerspiegelt, der einhergeht mit der Notwendigkeit, für eine funktionierende Wirtschaft zu sorgen, die ihnen Arbeitsplätze zur Verfügung stellt. Eine ähnliche Wahrnehmung haben auch Touristen, die einen möglichst unveränderten Naturraum an der Küste als Urlaubsziel suchen, während gleichzeitig die für den Tourismus notwendige Infrastruktur diesen Naturraum beeinträchtigt. Die gegenseitige Abhängigkeit von Ökologie und Ökonomie macht deutlich, wie wichtig ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungen in der Küstenregion ist, um zu den angestrebten bestmöglichen Optimierungsprozessen zu kommen.

Ein großes Problem bei der Entwicklung der benötigten fachübergreifenden Ansätze liegt in den unterschiedlichen Sprachen der beteilig-

ten Fachleute. Je nach Fachrichtung haben gleichlautende Ausdrücke teilweise andere Bedeutungen. Vor allem das Verständnis der in der Küstenregion ablaufenden natürlichen und menschlichen Prozesse und der dazugehörigen Wechselwirkungen kann je nach Wissenschaftsdisziplin sehr unterschiedlich sein. Die daraus entstehenden Kommunikationsprobleme sind ein Hauptgrund dafür, dass sich interdisziplinäre Ansätze in der Küstenforschung nur sehr langsam entwickeln.

An dieser Stelle setzte die von den Fellows des Hanse-Wissenschaftskollegs betreute gemeinsame interdisziplinäre Arbeit der Kollegiaten an. Zentrale Fragen wie: Was ist Nachhaltigkeit? Oder: Wie definieren wir den Begriff der Nordsee? wurden in den wöchentlichen Arbeitsgruppensitzungen aus Sicht der einzelnen Disziplinen diskutiert. Dabei zeigte sich Folgendes: Die zunächst angedachte universal gültige Definition dieser Termini war entweder gar nicht möglich oder wurde so allgemein, dass sie für die Anforderungen der einzelnen Disziplinen nicht mehr tragfähig war. Die Kenntnis des jeweils anderen Verständnisses der entsprechenden Begriffe entwickelte sich jedoch zu einem zentralen Element der weiteren Arbeit. Dem selben Zweck diente auch das begleitende Seminarprogramm des Kollegs, bei dem die beteiligten Betreuer der Doktoranden und die Fellows des Hanse-Wissenschaftskollegs nordseerelevante Themen als spezielle Veranstaltungen für das Kolleg anboten oder ihre laufenden Lehrveranstaltungen entsprechend ausrichteten. Ziel dieser Veranstaltungen war dementsprechend nicht, dass die naturwissenschaftlichen Doktoranden lernten, gesellschaftswissenschaftliche Verfahren anzuwenden oder umgekehrt. Vielmehr lernten alle Beteiligten, welche Untersuchungs- und Erkenntnismöglichkeiten der jeweils andere Bereich besitzt, um so abschätzen zu können, inwieweit diese für konkrete Fragestellungen aus dem eigenen Bereich eine Hilfe sein können.

Diese Lehrveranstaltungen wurden im Wintersemester 2000/01 durch eine Vorlesungsreihe ergänzt, bei der anerkannte Experten aus den beteiligten Fachbereichen Einzelaspekte ihres Forschungsfeldes vorstellten. Der gute Erfolg dieser öffentlichen Vortragsreihe führte

schließlich zu der Überlegung, die Öffnung des Forschungsprojekts hin auf ein breiteres Publikum mit einer zweiten Ringvorlesung fortzusetzen. Diese zweite Vorlesungsreihe wurde von den Kollegiaten selbst bestritten, indem sie Teilaspekte ihrer Forschungsprojekte so aufarbeiteten, dass sie nicht nur für den interdisziplinären wissenschaftlichen Diskurs geeignet waren, sondern zugleich für die Vermittlung an ein breiteres Publikum. Gerade dieser Aspekt besaß für die Gesamtkonzeption des Kollegs eine herausragende Bedeutung, da zu einer künftigen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den Problemen der Küstenräume verstärkt die Integration der allgemeinen Bevölkerung in den Diskurs zählen muss. Die gute Resonanz auch dieser zweiten Ringvorlesung zeigte klar, dass das Konzept „science goes public“ dazu beitragen kann, auch komplexe Wirkungsgeflechte und Hintergründe von Entscheidungen den Betroffenen zu verdeutlichen. Für die vorliegende Veröffentlichung wurden die Beiträge nach der Ringvorlesung nochmals revidiert und ergänzt sowie auf das erforderliche Niveau einer wissenschaftlichen Veröffentlichung gebracht, die zwar durch die Breite der Themen einerseits einen gewissen Querschnittscharakter besitzt, andererseits aber einen Überblick darüber bietet, in welchen Bereichen die fachspezifische küstenbezogene Forschung derzeit an der Universität Bremen und dem Hanse-Wissenschaftskolleg arbeitet. (Der Beitrag von Olaf Mosbach-Scholz gehört nicht unmittelbar zur Forschung des Doktorandenkollegs, da dieser kurzfristig in Vertretung einer aus dem Projekt ausgeschiedenen Doktorandin in die Lücke innerhalb der Ringvorlesung eingesprungen ist. Er wurde jedoch trotzdem in diesen Sammelband mit aufgenommen, weil er thematisch eine wichtige Bereicherung der gebotenen Themen bietet und zugleich zeigt, dass die Forschung des Doktorandenkollegs sich nicht nur auf die interdisziplinäre Arbeit innerhalb des Kollegs erstreckte, sondern gleichzeitig in einen noch weiteren interdisziplinären Rahmen in die Forschung an der Universität Bremen eingebunden war.)

Zu einem weiteren wichtigen Bestandteil des Gesamtprojekts entwickelte sich eine im Herbst 2001 durchgeführte Fallstudie zu den Nutzungskonflikten eines begrenzten Raumes am Beispiel der Insel

Wangerooge. Innerhalb dieser Studie wurden gezielt naturwissenschaftliche Fragestellungen durch Gesellschaftswissenschaftler bearbeitet, beziehungsweise gesellschaftswissenschaftliche Fragen durch Naturwissenschaftler. Auch wenn die Ergebnisse dieser Studie nicht dem hohen wissenschaftlichen Niveau des gesamten Projektes entsprechen konnten und daher auch nicht publiziert wurden, hat die Studie doch dazu beigetragen, dass sich das interdisziplinäre Verständnis der Kollegiaten deutlich verbesserte.

Insgesamt kann schon jetzt festgestellt werden, dass – trotz aller Schwierigkeiten im Detail – das Doktorandenkolleg „Lebensraum Nordseeküste“ der Universität Bremen und des Hanse-Wissenschaftskollegs als Erfolg zu bewerten ist. Zwar erwies sich ein rein geographischer Raum von der Größe der Nordsee als gemeinsame Basis einer Forschergruppe für viele Aspekte einer engen Kooperation als deutlich zu breit; so mussten die einzelnen Dissertationen und Forschungsprojekte bis zu einem gewissen Grad notwendigerweise isoliert bleiben. Dennoch haben die beteiligten Wissenschaftler ein Grundlagenwissen aus den gesellschafts- beziehungsweise naturwissenschaftlichen Bereichen erhalten, das sie befähigen wird, in ihrer künftigen Arbeit genau dort fachfremde Kollegen hinzuzuziehen, wo dies realistisch und sinnvoll ist. Allein die Kenntnis der Möglichkeiten der jeweils anderen Disziplinen wird entscheidend dazu beitragen, die komplexen Probleme des Lebensraums Nordseeküste in Zukunft noch differenzierter und zugleich integrativer zu bearbeiten. Dies wird jedoch auch weiterhin nicht durch Universalgelehrte für den Küstenraum erfolgen können, sondern nur in interdisziplinären Forschungsgruppen, deren künftige Mitarbeiter genau werden einschätzen können, welche Disziplinen Beiträge zur Beantwortung welcher Teilfragen leisten können.

Ein nicht zu unterschätzender Nebeneffekt der Arbeit des Doktorandenkollegs war die Ausbildung eines entsprechenden fachlichen und persönlichen Netzwerks. Gerade die Fallstudie Wangerooge hat gezeigt, dass ein solches interdisziplinäres Netzwerk, das nicht nur die Kollegiaten selbst umfasst, sondern in dem diese vielmehr als Mittler

zu den innerdisziplinären Netzwerken fungieren, die Bearbeitung komplexer Probleme erheblich erleichtern kann.

Zuletzt sei noch den Initiatoren des Projekts, insbesondere Prof. Dr. Gerold Wefer sowie Dr. Dierk Hebbeln und den weiteren beteiligten Professoren der Universität Bremen, gedankt, die dieses Projekt nicht nur überhaupt erst ermöglichten, sondern auch kontinuierlich begleiteten. Dem Hanse-Wissenschaftskolleg und seinem Rektor Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth gilt Dank dafür, dass es zwei Fellowships für jeweils zwei Jahre zur Verfügung stellte und darüber hinaus die Publikation dieses Buches ermöglichte. Uwe Opolka als Mitherausgeber der Reihe Hanse-Studien hat durch seine stetige kritische Begleitung sowie zahlreiche Gespräche über editorische Fragen entscheidend dazu beigetragen, dass aus einer Sammlung unzusammenhängender Vortragsmanuskripte schließlich eine in sich geschlossene Aufsatzsammlung werden konnte.

Mein persönlicher Dank gilt insbesondere sämtlichen Mitarbeitern des Hanse-Wissenschaftskollegs, die mich während des zweijährigen Fellowships nicht nur in der Betreuung des Doktorandenkollegs unterstützten, sondern mir auch ungezählte Hilfen bei der Umsetzung meines eigenen fischereihistorischen Forschungsprojektes boten, was von der Beschaffung schwer zugänglicher Literatur über die Möglichkeit zur Recherche in wichtigen Archiven bis hin zur Organisation internationaler Workshops zur Fischerei- und Schifffahrtsgeschichte reichte. Als letztes bleibt dann nur noch mich bei sämtlichen beteiligten Doktoranden für eine hochinteressante interdisziplinäre Arbeit zu bedanken, die nicht nur durch ein ständiges gleichberechtigtes Geben und Nehmen geprägt war, sondern darüber hinaus auch eine persönliche Basis für künftige Projekte gelegt hat. Dies gilt natürlich in besonderer Weise auch für meinen Fellow-Fellow im Hanse-Wissenschaftskolleg und Mit-Postdoktoranden im Doktorandenkolleg, Dr. Frank Lamy.

Wenn Joseph Conrad in seinem „Spiegel der See“ über die Ausreise als letzten Kontakt eines Schiffes mit der Küste schreibt: „Eine Ausreise, der letzte berufliche Blick aufs Land, ist immer gut oder

wenigstens einigermaßen gut, denn einem Schiff, das die offene See vor sich liegen hat, macht sogar unsichtiges Wetter wenig aus“, dann gilt dies vielleicht auch im übertragenen Sinne für die künftige wissenschaftliche Forschung zu den Küstenregionen: Erst das Verlassen der eigenen Disziplin erlaubt einem auch die unsichtigen Zusammenhänge komplexer Forschungsproblematiken sicher zu durchschauen.

Frank Lamy

Eine kurze Geschichte des Klimas– Umweltarchive am Meeresboden

1 Einleitung

Die Weltmeere spielen eine entscheidende Rolle im globalen Klimasystem. Das Ozeanwasser speichert große Wärmemengen und transportiert diese über das globale Zirkulationssystem vom Äquator bis in hohe Breiten. Diesem Mechanismus verdanken wir beispielsweise in West- und Mitteleuropa unser mildes Klima. Andererseits wirken sich die Weltozeane entscheidend auf die anthropogen verursachte Klimaentwicklung aus, da sie unter anderem etwa ein Drittel des vom Menschen emittierten Kohlendioxids aufnehmen und dadurch die Klimaerwärmung verzögern.

Die Analyse der natürlichen Klimavariabilität in der Vergangenheit (Paläoklima) liefert einen wichtigen Beitrag zum Verständnis des modernen Klimasystems und ist die Grundvoraussetzung für Aussagen über die zukünftige Klimaentwicklung. Da klimatologische Messreihen nur wenige Jahrhunderte zurückreichen, und das auch nur an wenigen Stellen der Erde, sind Paläoklimaforscher auf indirekte Klimaarchive angewiesen. Neben den vielfältigen kontinentalen Paläoklimaarchiven, wie Baumringen und Seeablagerungen, erlauben insbesondere die weitgehend kontinuierlichen Ablagerungen auf dem Meeresboden (Meeressedimente) eine detaillierte Dokumentation der Umwelt- und Klimageschichte unseres Planeten auf verschiedenen Zeitskalen.

Meeressedimente bestehen zum größten Teil aus winzigen Skelettresten planktischer Organismen, den sogenannten biogenen Komponenten, sowie feinkörnigem Verwitterungsschutt der Kontinente, der als terrigenes Material bezeichnet wird. Beide Hauptbestandteile ent-

halten Informationen über die Klima- und Umweltbedingungen der Vergangenheit. Während die biogenen Komponenten Aufschluss über Änderungen der ozeanographischen Zustandsgrößen, wie zum Beispiel Wassertemperaturen, Salzgehalte und Nährstoffgehalte, geben, erlaubt der terrigene Anteil Aussagen über das Paläoklima auf den angrenzenden Kontinenten. Insbesondere eine vergleichende Analyse beider Komponenten erlaubt es, Änderungen der ozeanischen Zirkulation und deren Auswirkung auf die Klimaentwicklung der Kontinente und somit dem Lebensraum des Menschen auf verschiedenen Zeitskalen in der Vergangenheit zu analysieren und Steuerungsmechanismen zu erkennen.

Paläoumweltforschung basierend auf marinen Sedimenten erfordert einen beträchtlichen logistischen Aufwand. Den Wissenschaftlern in Deutschland stehen mehrere Forschungsschiffe verschiedener Größe sowohl für Forschungen in küstennahen Gewässern als auch für Hochseereisen zur Verfügung. Daneben erfordert die Meeresforschung internationale Kooperationen. Deshalb werden Forschungsreisen zunehmend im europäischen und internationalen Rahmen geplant und durchgeführt. Als wichtigstes Beispiel ist hier das „Ocean Drilling Program“ zu nennen, das über die Logistik verfügt, mehrere Kilometer in das Klimaarchiv Meeressedimente einzudringen und somit Paläoumweltrekonstruktionen auf geologischen Zeitskalen von mehreren Millionen Jahren ermöglicht.

Neben der Erforschung dieser fernen geologischen Vergangenheit hat die Untersuchung der Meeressedimente insbesondere zum Verständnis der Klimaentwicklung des Quartärs, des jüngsten und noch andauernden Eiszeitalters der Erdgeschichte, beigetragen. Das Klima des Quartärs, das heißt der letzten etwa wie Millionen Jahre, ist durch eine zyklische Abfolge von Kalt- und Warmzeiten gekennzeichnet. Dabei kam es besonders in der zweiten Hälfte des Quartärs etwa alle 100 000 Jahre zur Bildung von großen Eisschilden in den hohen Breiten (besonders in Nordamerika und Skandinavien), die zu einer Absenkung des Meeresspiegels um bis zu 125 Meter führten. Das Ende jeder dieser Eiszeiten kam abrupt, und die Eisschilde schrumpften

innerhalb von wenigen Jahrtausenden auf ihre heutigen Ausdehnungen, während ihr Aufbau jeweils Jahrzehntausende benötigte. Die Ursachen für diese drastischen Klimaschwankungen liegen in astronomisch bedingten Änderungen der Sonneneinstrahlung, die über diverse Rückkopplungsmechanismen im Verbundsystem aus Ozean und Atmosphäre das zyklische Auftreten der Kalt- und Warmzeiten im Quartär steuern.

Überlagert werden die Kalt- und Warmzeiten von kurzfristigen Klimavariationen, die zuerst im Klimaarchiv des grönländischen Eises und in Meeressedimenten des angrenzenden Nordatlantiks nachgewiesen wurden. Diese abrupten Klimasprünge traten besonders während der letzten Eiszeit auf und führten zum Teil zu drastischen Klimaänderungen, die im nordatlantischen Raum auf Zeitskalen von wenigen Dekaden fast die Amplitude von Kalt- und Warmzeiten erreichten. Diese kurzfristigen Klimaänderungen setzen sich, wenn auch weniger stark ausgeprägt, in unserer gegenwärtigen Warmzeit (Holozän) fort und wirkten sich auch entscheidend auf die menschliche Kulturgeschichte aus (siehe den Beitrag von Carolyn Scheurle in diesem Band).

2 Zusammensetzung mariner Sedimente

Die sedimentären Ablagerungen auf den Meeresboden lassen sich vereinfacht in vier Haupttypen einteilen (*Abbildung 1*). Weite Bereiche des Ozeans werden von Karbonatschlämmen bedeckt, die vorwiegend aus den kalkigen Skelettresten von planktischen, das heißt im Oberflächenwasser lebenden, Organismen zusammengesetzt sind. Als Paläoumweltarchiv eignen sich hierbei insbesondere die Foraminiferen und Coccolithophoriden (siehe Kapitel 3.1). Ebenfalls biogenen Ursprungs sind die sogenannten Kieselschlämme, die von den Resten von Organismen mit kieseligem Skelett, wie Radiolarien und Diatomeen, dominiert werden. Kieselschlämme treten besonders in Gebieten mit hoher biologischer Primärproduktion wie zum Beispiel in Äquatornähe und rund um die Antarktis auf. Die tiefsten Beckenbereiche des Weltozeans werden von den sogenannten Roten Tiefsee-

tonen bedeckt. Da aufgrund des großen Wasserdruckes kalkige Skelettreste in großen Meerestiefen gelöst werden, handelt es sich hierbei um ein Restsediment, das sich überwiegend aus sehr feinkörnigem, terrigenem Material zusammensetzt, das über den Wind und Strömungen von den Kontinenten selbst in landferne Ozeanteile transportiert wird. Da diese Ablagerungen weitgehend frei von biogenen Komponenten sind, kommen sie als Paläoumweltarchiv nicht in Betracht. Rund um die Kontinente kommen schließlich die terrigenen Sedimente zur Ablagerung. Diese setzen sich aus dem Verwitterungsschutt der Kontinente zusammen und besitzen ein großes Potential für Paläo-Umweltrekonstruktionen.

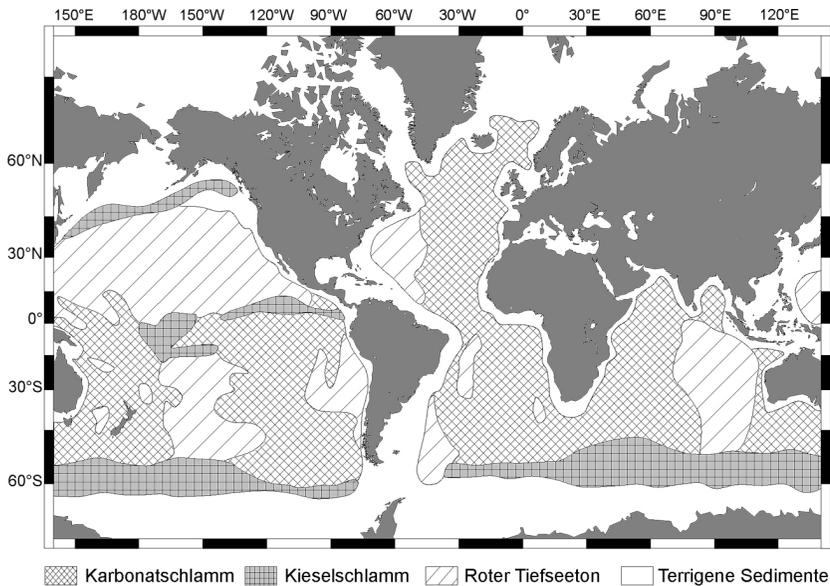


Abb. 1: Vereinfachte Karte der Verteilung der vier wichtigsten Sedimenttypen im Weltozean (verändert nach Davis und Gorsline, 1976)

3 Klimazeugen

Meeressedimente und Korallen enthalten eine Vielzahl von Klima- und Umweltinformationen nicht nur über den Ozean selbst, sondern auch über die Ausdehnung polarer Eisschilde und die Umweltbedingungen der angrenzenden Kontinente. Analysen der geochemischen, mineralogischen, geophysikalischen und (mikro-)paläontologischen Zusammensetzung und Eigenschaften der Sedimente erlauben Rückschlüsse auf die ozeanographischen und klimatischen Verhältnissen der Vergangenheit (Wefer et al., 1999). Vielfach lassen sich diese Sedimenteigenschaften (sogenannte Proxy-Daten) an instrumentellen Messdaten eichen und ermöglichen quantitative Aussagen über die Paläoumweltbedingungen. Viele der Paläoumwelt-Proxies erlauben allerdings lediglich qualitative Rückschlüsse auf die Klimaverhältnisse der Vergangenheit und/oder befinden sich noch in der Eich- und Erprobungsphase.

3.1 Biogene Komponenten

Biogene Komponenten in marinen Sedimenten setzen sich hauptsächlich aus den Skelettresten verschiedener planktischer Organismen zusammen. Von Bedeutung sind tierische Einzeller (Foraminiferen und Radiolarien) sowie planktische Algen (Coccolithoforiden und Diatomeen). Radiolarien und Diatomeen bilden kieselige Skelette und sind hauptsächlich in marinen Ablagerungen der hohen Breiten enthalten. Dagegen bilden Foraminiferen und Coccolithophoriden kalkige Skelette aus, die einen wesentlichen Anteil an den Meeresablagerungen der niederen und mittleren Breiten haben (*Abbildung 2*). Die Bedeutung dieser kalkigen, biogenen Komponenten als Umweltarchiv soll hier näher diskutiert werden.

Die Analyse der chemischen Zusammensetzung der Kalkschalen von Foraminiferen erlaubt, zumindest während des Quartärs, eine präzise Altersbestimmung der marinen Ablagerungen. Die Methode beruht darauf, dass die Sauerstoffisotopen-Zusammensetzung der Schalen abhängig ist von der Menge des auf dem Kontinent gebundenen Meerwassers, das heißt der Ausdehnung der Eisschilde (Wefer und

Berger, 1991). Um regionale Temperatur- und Salzgehaltseffekte auf das Isotopensignal herauszumitteln, wurde aus unzähligen Foraminiferen-Daten der quartären Ablagerungen der Weltozeane eine Standardkurve für die letzten Kalt- und Warmzeiten berechnet und datiert (siehe Kapitel 5.2). Über eine Korrelation einer beliebigen Isotopenkurve mit dieser Standardkurve kann das Alter von marinen Sedimenten bestimmt werden.

Darüber hinaus eignet sich die Artenzusammensetzung der Foraminiferen hervorragend zur Bestimmung von Paläo-Wassertemperaturen. Über eine statistische Gruppierung von Fossilvergesellschaftungen und dem Vergleich mit dem Auftreten dieser Arten in heutigen Ablagerungen lassen sich nahezu weltweit die Oberflächenwassertemperaturen der Vergangenheit rekonstruieren. Auf derartigen Analysen beruht zum Beispiel die globale Temperaturrekonstruktion für das Maximum der letzten Vereisung vor circa 21 000 Jahren (CLIMAP, 1981).

Coccolithophoriden sind marine, einzellige Algen, die winzige kalkitische Schuppen, die Coccolithen, ausbilden (*Abbildung 2*). Ihre Bedeutung für die Paläoozeanographie ist im letzten Jahrzehnt besonders durch die Tatsache gestiegen, dass Coccolithophoriden organische Verbindungen, die sogenannten Alkenone, produzieren, deren Bildung von der Wassertemperatur abhängig ist (Wefer et al., 1999). Dadurch steht neben der isotopischen und Artenzusammensetzung der Foraminiferen ein weiterer unabhängiger Paläo-Wassertemperatur-Indikator zur Verfügung.

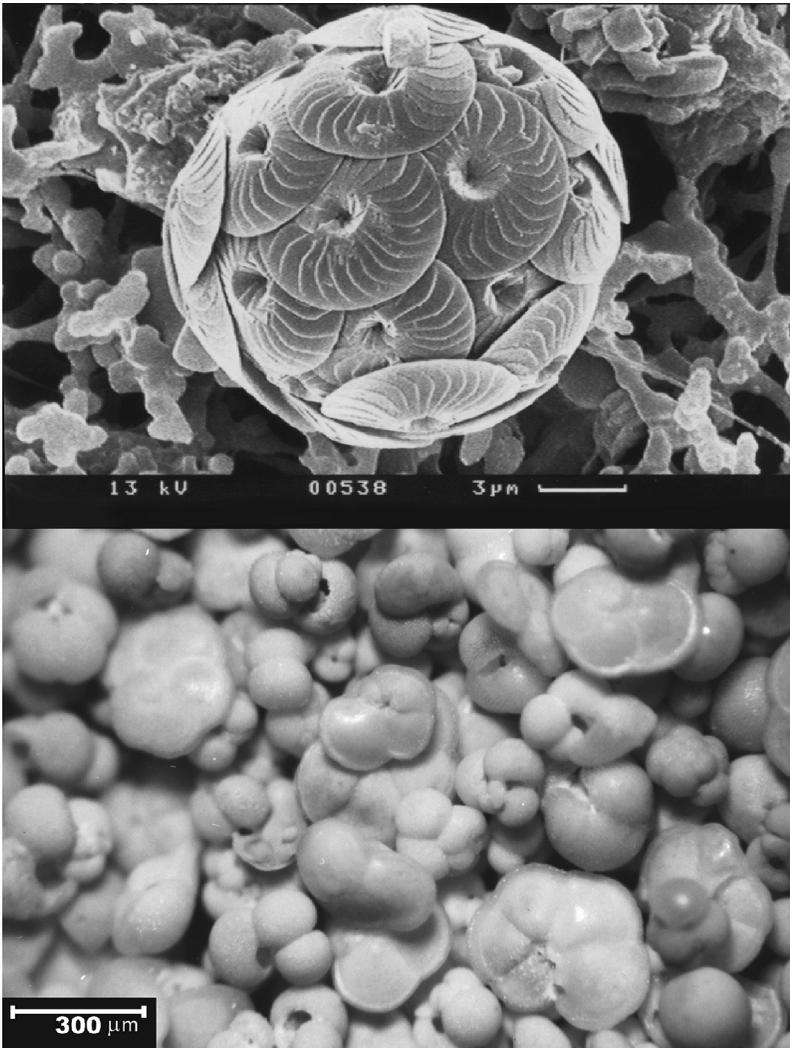


Abb. 2: Kalkige Skelettreste planktischer Organismen in Meeresablagerungen liefern wichtige Informationen zur Klima- und Umweltgeschichte der Vergangenheit. Oben: Foraminiferenschalen unter dem Mikroskop (Foto: B. Donner, Universität Bremen).

Unten: Rasterelektronische Aufnahme einer Coccolithophoride (Foto: M. Cepek, Universität Bremen).

3.2 Terrigene Komponenten

Terrigene Komponenten werden über Flüsse, Eis und Wind in die Ozeane eingetragen. Menge, Zusammensetzung und Korngröße dieses Materials hängen von der Art des Eintrags, zum Beispiel Wind gegenüber Flusseintrag, und den Liefergebieten sowie den Verwitterungsbedingungen an Land ab (*Abbildung 3*). Alle diese Faktoren sind mehr oder weniger direkt an die kontinentalen Klimabedingungen gekoppelt und erlauben so, wenn auch vorwiegend qualitative, Aussagen über Veränderungen der Niederschlagsmengen, Windintensitäten und teilweise auch Temperaturverhältnisse in der Vergangenheit zu treffen. Nach dem Eintrag in den Ozean kann das terrigene Klimasignal durch die vielfältigen Umlagerungsprozesse (Resedimentationsprozesse; *Abbildung 3*) auf dem Schelf und am Kontinentalhang verändert werden. Deshalb ist es wichtig Bohrlokationen zu finden, wo Umlagerungsprozesse nur eine untergeordnete Rolle spielen und eine kontinuierliche Ablagerung dominiert (hemipelagische und pelagische Prozesse; *Abbildung 3*). Schließlich kann es auch noch nach der Ablagerung im Sediment zu einer Veränderung des Klimasignals durch die physiko-chemische Umwandlungsprozesse der Authigenese (Mineralneubildungen am Meeresboden) und Diagenese (Mineralumwandlungen durch Druck- und Temperaturerhöhung bei zunehmender Sedimentüberlagerung) kommen (*Abbildung 3*). Diese Prozesse bekommen im Regelfall aber erst bei größeren Versenkungstiefen einen stärkeren Einfluss auf die Zusammensetzung des terrigenen Materials.

Terrigene Ablagerungen finden sich naturgemäß bevorzugt im küstennahen Ozean und führen dort zu einer mächtigen Sedimentbedeckung der Kontinentalränder. Diese erhöhte Sedimentzufuhr hat zur Folge, dass die zeitliche Auflösung der Paläoumweltrekonstruktionen von Kontinentalrändern wesentlich größer ist als solche, die auf kontinentfernen, pelagischen Sedimenten beruhen. Deshalb haben sich die marine Paläoumweltforscher in den letzten Jahren zunehmend den zeitlich hochaufgelösten Sedimentabfolgen rund um die Kontinente zugewandt. Hinzu kommt, dass neben den terrigenen Komponenten in

den Ablagerungen der Kontinentalränder auch biogene Komponenten und damit Archive für die marinen Klima- und Umweltbedingungen zur Verfügung stehen (siehe Kapitel 3.1). Damit können kontinentale und marine Paläoumweltbedingungen im selben Archiv verglichen werden.

Das Klima-Signal in terrigenen Sedimenten und Steuerungsprozesse

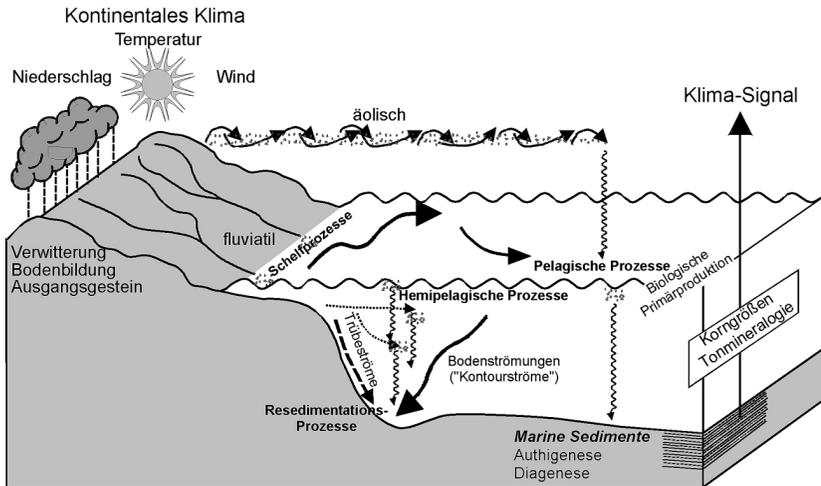


Abb. 3: Das Klimasignal in terrigenen Sedimenten und Steuerungsprozesse

3.3 Laminierte Sedimente

Auch wenn die Sedimente der Kontinentalränder hohe Ablagerungsraten aufweisen, ist der zeitlichen Auflösung der Rekonstruktionen eine Grenze etwa im Jahrzehntbereich gesetzt. Dies beruht darauf, dass die Ablagerungen flächendeckend von auf und im Sediment lebenden Organismen durchwühlt werden und deshalb das Paläoumweltsignal mehrerer Sedimentschichten und über bestimmte Zeitintervalle gemittelt wird.

Nur an einzelnen Stellen des Ozeans ist der bodennahe Sauerstoffgehalt des Wassers zu gering für das Überleben sedimentwühlender Organismen wie Würmer, Seeigel und Krebs. Deshalb ist hier das

Klimaarchiv der Meeressedimente ungestört erhalten. Diese sogenannten laminierten Sedimente zeichnen in ihren Millimeter-dünnen Lagen selbst jahreszeitliche Wechsel ungestört auf und eignen sich deshalb, ähnlich wie Korallen (siehe Kapitel 3.4), hervorragend für die Analyse hochfrequenter Umweltveränderungen (*Abbildung 4*). Beispiele für solche sogenannten anoxischen Sedimente finden sich in einzelnen Randmeeren (wie dem Schwarzen oder Roten Meer) und – seltener – in bestimmten Wassertiefen an Kontinentalrändern.

Laminierter Kernabschnitt GeoB 5836-2

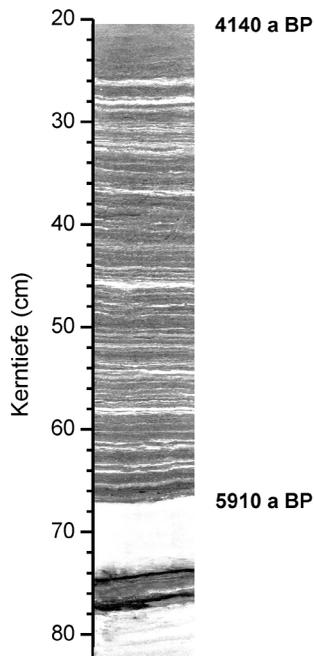


Abb. 4: Aufnahme feingeschichteter Meeresablagerungen aus dem mit Sole gefüllten Shaban-Tief (nördliches Rotes Meer), die hochauflösende Paläoumweltinformationen aus diesem Gebiet liefern (unveröffentlichte Daten von H. Arz)

3.4 Korallen

Massive Korallen der tropischen und subtropischen Riffe bilden in ihrem Kalkskelett jährliche Dichtebänder und weisen jährliche Wachstumsraten im Millimeter- bis Zentimeterbereich auf (*Abbildung 5*). Die im Skelett gespeicherten chemischen Signaturen ermöglichen die Rekonstruktion von marinen Umweltbedingungen, wie zum Beispiel Temperatur und Salzgehalt in saisonaler Auflösung (Felis und Pätzold, im Druck).

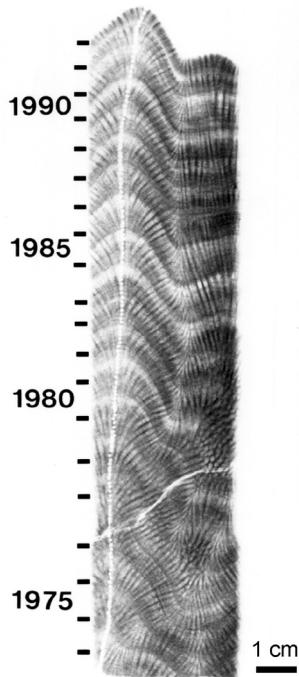


Abb. 5: Röntgenaufnahme einer rezenten Koralle aus dem nördlichen Roten Meer mit jährlicher Dichtebänderung (aus Felis et al., 1998)

Rezente, lebende Korallen geben Informationen über die Klimaentwicklung der vergangenen Jahrhunderte. Sie liefern somit wichtige saisonal aufgelöste Paläoklimadaten aus dem tropischen und subtropi-

schen Klimasystem, einer Region die generell nur unzureichend durch instrumentelle Klimamessreihen abgedeckt ist. Auf Korallen basierende Klimazeitreihen haben so wesentlich zum besseren Verständnis der interannuellen und dekadischen Klimavariabilität in niederen Breiten beigetragen. Als wichtiges Beispiel sei hier das El-Niño-Phänomen genannt.

Zusätzlich können fossile Korallen, die an Land auf gehobenen Riffterrassen gefunden werden, Klimainformationen für Zeitfenster von einigen Jahrzehnten in der Vergangenheit liefern. Diese Daten erlauben einen Einblick in die saisonale und interannuelle Klimavariabilität während früherer Phasen der jetzigen Warmzeit und vergangener Warmphasen während des Quartärs (zum Beispiel Moustafa et al., 2000).

4 Beprobung des Meeresbodens

Für die Beprobung des Meeresbodens bedarf es eines beträchtlichen logistischen Aufwandes. Tiefseeablagerungen können nur unter Zuhilfenahme großer Forschungsschiffe gewonnen werden. Dafür stehen in Deutschland die Forschungsschiffe POLARSTERN, METEOR und SONNE zur Verfügung (*Abbildung 6*). Expeditionen mit diesen Schiffen sind überwiegend interdisziplinär angelegt, wobei meistens neben den geowissenschaftlichen Forschungsdisziplinen besonders Biowissenschaftler beteiligt sind. Darüber hinaus beteiligen sich deutsche Wissenschaftler zunehmend an internationalen Forschungsprojekten mit amerikanischen (zum Beispiel das Forschungsschiff JOIDES RESOLUTION im Rahmen des „Ocean Drilling Projects“) und europäischen Schiffen (zum Beispiel mit dem französischen Forschungsschiff MARION-DUFRESNE im Rahmen des Projektes IMAGES).

In der marinen Paläoumweltforschung werden verschiedene Probenahmegeräte verwendet, deren Ziel es ist, eine möglichst ungestörte Probe des Meeresbodens und der unterlagernden Sedimente zu erhalten. Dabei werden zur Beprobung der Meeresbodenoberfläche sogenannte Multicorer eingesetzt, wobei bis zu zwölf Plexiglasrohre in die



Abb. 6: Das Forschungsschiff METEOR ist Eigentum der Bundesrepublik Deutschland und wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft betrieben (Foto: V. Ratmeyer, MARUM)

obersten 50 Zentimeter des Meeresbodens eindringen und ungestörte Sedimentoberflächen bergen (*Abbildung 7*). Entscheidend für paläo-ozeanographische und paläoklimatische Untersuchungen ist natürlich die Gewinnung von möglichst kontinuierlichen Bohrkernen. Zum Auffinden geeigneter Bohrlokationen wird die sogenannte Sedimentechographie angewandt. Dabei handelt es sich um ein akustisches Fernerkundungsverfahren, das es erlaubt, die Beschaffenheit des Meeresbodens und der obersten Zehnermeter der Meeresablagerungen vor der Bohrung abzuschätzen. Dadurch können kostspielige Fehlbohrungen weitgehend vermieden werden.

Zur Gewinnung bis zu 20 Meter langer Bohrkerns werden überwiegend sogenannte Schwerelote eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein gewichtsbeschwertes Stahlrohr, das unten offen ist. Im Innern des Rohres befindet sich ein Plastikrohr, welches das Sediment auffängt und später an Bord in Meterstücke zersägt wird. Diese Meterstücke werden dann – ebenfalls an Bord – in zwei Hälften geteilt und sedimentologisch beschrieben und beprobt. Darüber hinaus lassen quasi-

kontinuierliche Farbmessungen zusammen mit Mikrofossiluntersuchungen bereits an Bord eine erste Alterseinstufung der Bohrkern zu (Abbildung 8).

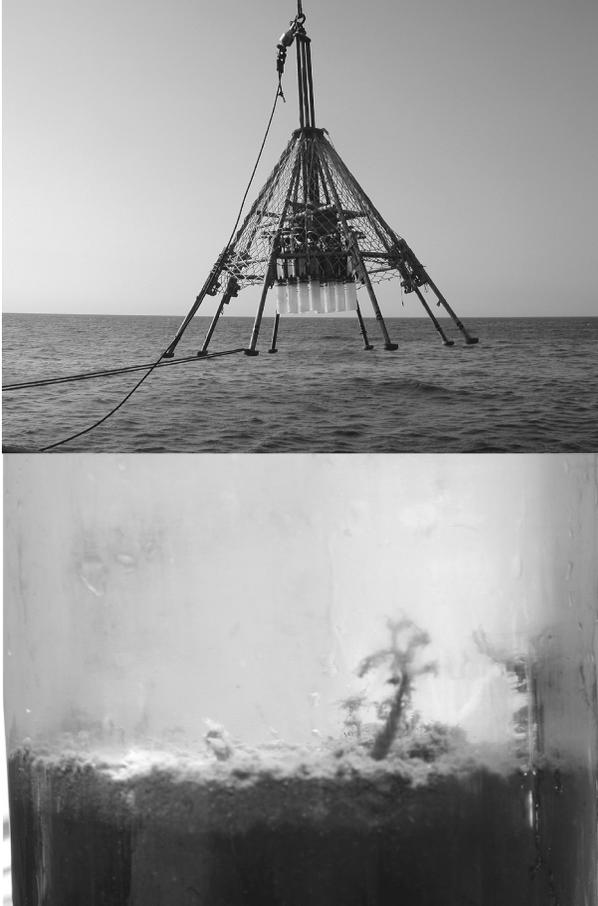


Abb. 7: Der Multicorer zur Gewinnung ungestörter Sedimentoberflächen. Oben: Multicorer beim Aussetzen vom Forschungsschiff SONNE (Foto: P. Wintersteller, RF). Unten: Detailaufnahme einer ungestörten Sedimentoberfläche vom chilenischen Kontinentalhang (Foto: P. Wintersteller, RF)



Abb. 8: Sedimentologische Beschreibung und Beprobung von Sedimentkernen im Geologie-Labor an Bord des Forschungsschiffes METEOR

5 Kurze Klimageschichte

Die Klimageschichte unseres Planeten ist durch vielfältige Klimaschwankungen auf Zeitskalen von vielen Millionen von Jahren bis zu kurzfristigen Variationen im dekadischen/interannuellen Zeitbereich gekennzeichnet. In erdgeschichtlichen Zeiträumen traten immer wieder sogenannte Eiszeitalter auf, in denen mehr oder weniger große Teile der Erde von Eis bedeckt waren.

Das letzte und immer noch andauernde Eiszeitalter, das Quartär, begann vor etwa zwei Millionen Jahren und ist durch einen regelmäßigen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten gekennzeichnet. Da die quartäre Klimageschichte in den Meeresablagerungen besonders gut dokumentiert ist und wesentliche Erkenntnisse zum Verständnis der quartären Klimawechsel aus den marinen Paläoumweltforschung

stammen, soll dieser Themenkomplex hier etwas näher diskutiert werden.

5.1 Kalt- und Warmzeiten und ihre Steuerungsmechanismen

Der Beginn des bis heute andauernden Eiszeitalters fällt eigentlich bereits in die dem Quartär, dem Eiszeitalter im engeren Sinne, vorausgehende geologische Periode des Tertiärs. So kam es bereits vor etwa 35 Millionen Jahren zur ersten Bildung von Gletschereis im Bereich der Antarktis, während die Vereisung im Nordpolargebiet erst später, im jüngsten Tertiär vor etwa drei Millionen Jahren einsetzte (Stanley, 1994).

Seit dieser Zeit trat ein regelmäßiger Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten auf, der mit großen Meeresspiegelschwankungen, bedingt durch das zyklische Wachsen und Abschmelzen der Eisschilde der hohen Breiten unserer Erde, verbunden war. Die Amplitude dieser Klimaschwankungen verstärkte sich im Verlauf des Quartärs immer mehr und gipfelte in der bekannten Abfolge von Kalt- und Warmzeiten während des Spätquartärs (zum Beispiel Wefer, 1998), die sowohl auf den Kontinenten (zum Beispiel in Europa und Nordamerika) als auch in der Tiefsee sehr gut dokumentiert sind. Insgesamt ist das Klima des Quartärs durch kältere Verhältnisse als heute charakterisiert. Warmzeiten mit unserem heutigen Klima ähnelnden Verhältnissen traten nur während etwas ein Zehntel der letzten zwei Millionen Jahre auf. Die heutige Warmzeit, das Holozän, begann vor etwa 11 500 Jahren und zeichnet sich durch vergleichsweise stabile Klimaverhältnisse aus, wenngleich kurzfristige Klimavariationen während dieses Zeitraums einen bedeutenden Einfluss auf die Menschheitsgeschichte hatten (siehe den Beitrag von C. Scheurle in diesem Band). Dagegen vollzog sich die evolutionäre Entwicklung unserer menschlichen Vorfahren unter dem Einfluss der drastischen Klimaschwankungen des Quartärs.

Die Ursachen für die zyklische Abfolge von Kalt- und Warmzeiten im Quartär liegen in astronomisch bedingten Änderungen der Sonneneinstrahlung. Obwohl dieses Konzept bereits auf frühe Arbeiten von

(Milankovitch, 1930) zurückgeht, hat erst die Untersuchung und Alterseinstufung von marinen Ablagerungen zum Verständnis der Mechanismen des Einflusses von Einstrahlungsänderungen auf das globale Klimasystem geführt (zum Beispiel Hays et al., 1976) (Abbildung 9).

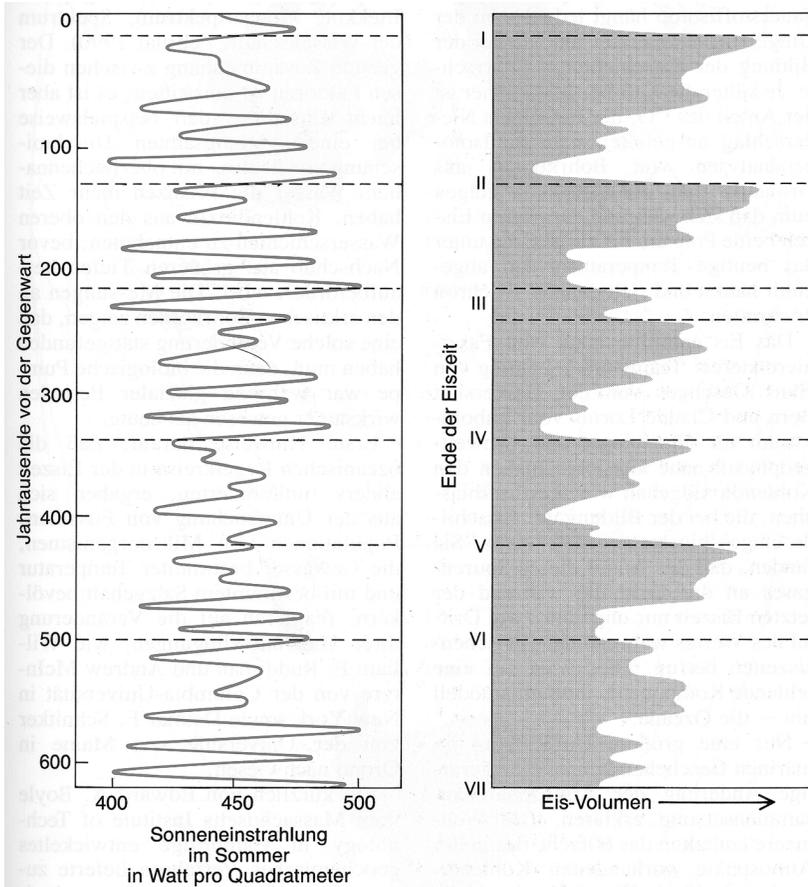


Abb. 9: Astronomisch bedingte Änderungen der Sonneneinstrahlung korrelieren mit Änderungen im globalen Eisvolumen und steuern die zyklische Abfolge von Kalt- und Warmzeiten im Quartär (aus Broecker und Denton, 1990)

Die Sonneneinstrahlung wird durch drei Orbitaleigenschaften der Erde beeinflusst: durch die Exzentrizität der Erdumlaufbahn (100 000 Jahre-Zyklus) und die Neigung (41 000 Jahre-Zyklus) sowie die Präzession der Erdachse (23 000, untergeordnet 19 000 Jahre-Zyklus). Die Neigung und die Präzession der Erdachse steuern die saisonale und räumliche Verteilung der Sonneneinstrahlung, führen aber nicht zu einer Änderung der mittleren jährlichen Gesamteinstrahlung. Die Neigung der Erdachse bestimmt die Länge und Ausprägung der Jahreszeiten und ist besonders in hohen Breiten wirksam. Die Präzession beeinflusst ebenfalls die Intensität der Jahreszeiten, wirkt sich jedoch auf der Nord- und Südhalbkugel entgegengesetzt aus. Die Frequenzen der Neigung und Präzession der Erdachse kontrollierten die Klimaschwankungen während der ersten Hälfte des Quartärs (zum Beispiel Wefer, 1998), während der ausgeprägtere Wechsel von Kalt und Warmzeiten im Spätquartär von 100 000 Jahre-Zyklen dominiert wurde. Dies steht im Widerspruch zur geringen Amplitude der durch die Exzentrizität der Erdumlaufbahn hervorgerufenen Insolationsschwankungen und wird auf eine nichtlineare Reaktion des globalen Klimasystems auf signifikantere Änderungen der Insolation im Bereich der stärker ausgeprägten kürzeren Zyklen zurückgeführt (Imbrie et al., 1993). Wichtig sind dabei insbesondere Rückkopplungsmechanismen: Ein besonderes Beispiel hierfür ist der sogenannte Eis-Albedo-Effekt. Dabei verstärken neugebildete Eis- und Schneeflächen die Rückstrahlung der Sonnenenergie und somit auch den Abkühlungstrend. Ein weiterer Faktor für Selbstverstärkungseffekte von Klimatrends sind die Treibhausgase. Die Analyse von Bohrkernen im Eisschild der Antarktis hat gezeigt, dass parallel zu den Temperaturschwankungen der Kalt- und Warmzeiten ausgeprägte Änderungen der Treibhausgase Kohlendioxid und Methan aufgetreten sind (*Abbildung 10*). Die Schwankungen hängen einerseits mit Änderungen auf den Kontinenten zusammen (zum Beispiel Freisetzung von Methan aus Permafrostgebieten), besonders aber mit Schwankungen der ozeanischen Produktivität und der Abgabe von Kohlendioxid durch den Ozean bei Erwärmung (zum Beispiel Wefer, 1998).

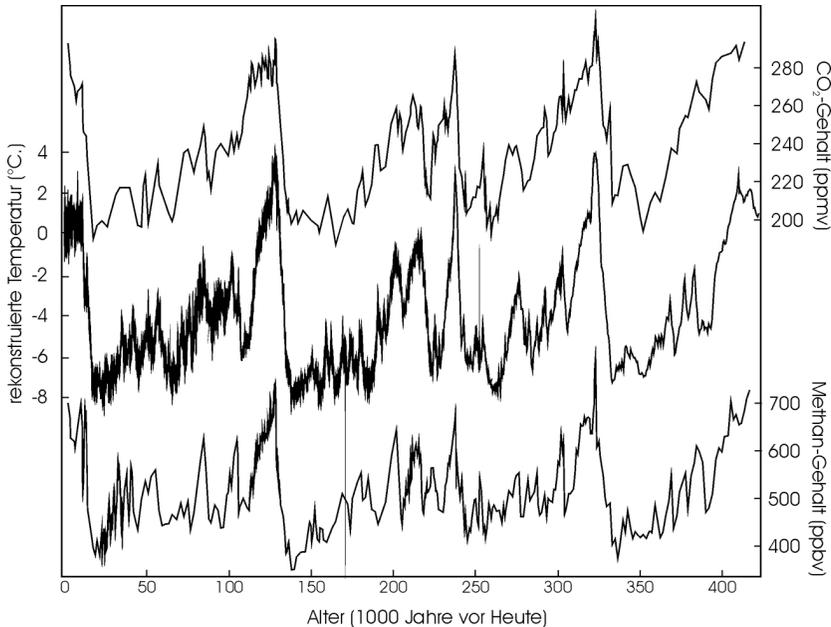


Abb. 10: Paralleler Verlauf von Schwankungen der rekonstruierten Temperatur, des Kohlendioxidgehalts und des Methangehalts im Vostok-Eisbohrkern, Antarktis (nach Petit et al., 1999)

5.2 Kurzfristige Klimaänderungen

Besonders die Untersuchungen von Eiskernen des grönländischen Eisschildes haben gezeigt, dass die Klimaschwankungen auf Zeitskalen der Erdbahnparameter während des letzten Glazials von kurzfristigen Variationen überlagert wurden, die im Nordpolargebiet nahezu die Amplitude der Glazial/Interglazial-Zyklen erreichten (Dansgaard et al., 1993). Diese sogenannten Dansgaard-Oeschger-Zyklen sind auch in Sedimenten des Nordatlantiks nachgewiesen worden, wo sie 7 000 bis 10 000 Jahre andauernde Abkühlungszyklen (Bond-Zyklen) dokumentieren (Bond et al., 1993). Am Ende jedes Bond-Zyklus deuten Lagen eistransportierten Materials in den Sedimenten auf den Eintrag und das Abschmelzen großer Massen von Eisbergen hin. Diese

Ereignisse werden als Heinrich-Ereignisse bezeichnet (Heinrich, 1988).

Insbesondere das Ende der kurzfristigen Klimaschwankungen war teilweise sehr abrupt und führte zu drastischen Klimasprüngen innerhalb weniger Jahrzehnte, die, wenn sie heute auftreten würden, gravierende Folgen für den Menschen hätten (Broecker, 1995). Deshalb haben sich viele Untersuchungen in der marinen Paläoumweltforschung seit den 1990er Jahren mit diesen raschen Klimawechseln beschäftigt (zum Beispiel Clark et al., 1999). Dabei zeigte sich, dass die kurzfristigen Klimaschwankungen im Nordatlantik besonders stark ausgeprägt waren; sie wurden aber mittlerweile auch in anderen Ozeanbecken dokumentiert (zum Beispiel Lamy et al., 2000). Daraus wird geschlossen, dass die kurzfristigen Klimaänderungen im System Ozean-Atmosphäre ein globales Phänomen waren oder sind, wobei Einzelheiten und Ursprung der raschen Klimawechsel immer noch einen der wichtigsten Forschungsgegenstände der Paläoklimaforschung darstellen (zum Beispiel Alverson et al., 2000). Die Forschung der letzten Jahre zeigte auch, dass sich die kurzfristigen Klimaänderungen, wenn auch weniger stark ausgeprägt, in unsere gegenwärtige Warmzeit (Holozän) fortsetzten und sich deutlich auf die menschliche Kulturgeschichte auswirkten (Wefer et al., im Druck; siehe auch den Beitrag von C. Scheurle). Letztlich ist das Verständnis dieser kurzfristigen Klimavariabilität eine Grundvoraussetzung für die Abgrenzung von natürlicher und vom Menschen induzierter Klimaänderungen sowie für die Entwicklung und Verbesserung prognostizierender Klimamodelle.

Literatur

- Alverson, K., Oldfield, F., und Bradley, R. (2000): „Past global changes and their significance for the future“, in: *Quaternary Science Reviews*, 19, S. 1–465.
- Bond, G., Broecker, W., Johnson, A., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J., und Bonani, G. (1993): „Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice-core“, in: *Nature*, 365, S. 143–147.
- Broecker, W.S. (1995): „Chaotic climate“, in: *Scientific American*, 273, S. 62–69.

- Broecker, W.S., und Denton, G.H. (1990): „What drives glacial cycles?“, in: *Scientific American*, 262, S. 49–56.
- Clark, P.U., Webb, R.S., und Keigwin, L.D. (1999): *Mechanisms of global climate change at millennial time scales*, Washington: American Geophysical Union.
- CLIMAP (1981): „Seasonal reconstruction of the Earth’s surface at the last glacial maximum“, in: *Geological Society of America, Map and Chart Series*, Volume C36.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjörnsdóttir, A.E., Jouzel, J., und Bond, G. (1993): „Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record“, in: *Nature*, 364, S. 218–220.
- Davis, T.A., und Gorsline, D.S. (1976): „Oceanic sediments and sedimentary processes“, in: Riley, J.P., und Chester, R. (Hg.): *Chemical oceanography*, London: Academic Press, S. 1–80.
- Felis, T., und Pätzold, J. (im Druck): „Climate records from corals“, in: Wefer, G., und Mantoura, F. (Hg.): *Marine Science Frontiers for Europe*, Berlin: Springer.
- Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y., und Wefer, G. (1998): „Vertical water mass mixing and plankton blooms recorded in skeletal stable carbon isotopes of a Red Sea coral“, in: *Journal of Geophysical Research*, 103, S. 30731–30739.
- Hays, J.D., Imbrie, J., und Shackleton, N.J. (1976): „Variations in the earth’s orbit: Pacemaker of the Ice Ages“, in: *Science*, 194, S. 1121–1132.
- Heinrich, H. (1988): „Origin and consequences of cyclic ice-rafting in the northeast Atlantic ocean, during the past 130,000 years“, in: *Quaternary Research*, 29, S. 143–152.
- Imbrie, J., Berger, A., Boyle, E.A., Clemens, S.C., Duffy, A., Howard, W.R., Kukla, G., Kutzbach, J., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Molfino, B., Morley, J.J., Peterson, L.C., Pisias, N.G., Prell, W.L., Raymo, M.E., Shackleton, N.J., und Toggweiler, J.R. (1993): „On the structure and origin of major glaciation cycles. 2. The 100,000 year cycle“, in: *Paleoceanography*, 8, S. 699–735.
- Lamy, F., Klump, J., Hebbeln, D., und Wefer, G. (2000): „Late Quaternary rapid climate change in northern Chile“, in: *Terra Nova*, 12, S. 8–13.
- Milankovitch, M. (1930): *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, Berlin: Gebrüder Bornträger.
- Moustafa, Y.A., Pätzold, J., Loya, Y., und Wefer, G. (2000): „Mid-Holocene stable isotope record of corals from the northern Red Sea“, in: *International Journal of Earth Sciences*, 88, S. 742–751.

- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., and Stievenard, M. (1999): „Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica“, in: *Nature*, 399, S. 429–436.
- Stanley, S.M. (1994): *Historische Geologie – eine Einführung in die Geschichte der Erde und des Lebens*, Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- Wefer, G. (1998): „Ursachen der Klimaschwankungen im Quartär“, in: Lozán, J.L., Grassl, H., und Hupfer, P. (Hg.): *Warnsignal Klima – wissenschaftliche Fakten. Das Klima des 21. Jahrhunderts*, Hamburg: Geo-Verlag, S. 79–86.
- Wefer, G., Berger, W.H., Behre, K.-E., und Jansen, E. (im Druck): *Climate and history in the North Atlantic realm*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wefer, G., und Berger, W.H. (1991): „Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species“, in: *Marine Geology*, 100, S. 207–248.
- Wefer, G., Berger, W.H., Bijma, J., und Fischer, G. (1999): „Clues to ocean history: A brief overview of proxies“, in: Fischer, G., und Wefer, G. (Hg.): *Use of proxies in paleoceanography*, Berlin: Springer, S. 1–68.

Carolyn Scheurle

Was geschah während der Kleinen Eiszeit? – Klimawandel im Nordseeraum

Ein Blick in die Vergangenheit bis zur letzten großen Eiszeit zeigt, dass Klimaänderungen natürliche Ursachen haben und plötzliche, extreme Temperaturveränderungen mit sich bringen. Insbesondere verursachen Schwankungen der Sonneneinstrahlung, beeinflusst durch die Erdbahnparameter, Modifikationen der klimatischen Verhältnisse.

Das Verständnis natürlicher Klimaveränderungen ist ein unerlässlicher Bestandteil moderner Klimaanalysen. Denn nur dadurch sind sie von anthropogen verursachten unterscheidbar. Auf dieser Basis kann dann eine Einschätzung der möglichen künftigen Klimaentwicklung gewonnen werden. Vor dem Hintergrund einer beständig wachsenden Weltbevölkerung und der sich daraus ergebenden Folgen für die Umwelt erscheint eine derartige Kenntnis wichtig.

Unser heutiges und damit auch das zukünftige Klima ist in langfristige Klimazyklen eingebunden. Die Messreihen der Wetterstationen gehen etwa 250 Jahre zurück. Klimainformationen der weiter in die Vergangenheit reichenden Schwankungen müssen rekonstruiert werden. Sammlungen historischer Aufzeichnungen stehen dazu ebenso zur Verfügung wie sogenannte Paläoklima-Archive (siehe den Beitrag von Frank Lamy in diesem Band).

Das langfristige Auf und Ab der Klimaparameter hat, genau wie kurzfristige Wechsel, Auswirkungen auf die Entwicklung der Natur sowie der Kultur. Dies ist besonders an den Klimaverhältnissen nach der letzten großen Eiszeit ersichtlich. Obwohl das Klima des Holozän, also der letzten 11 500 Jahre, verglichen mit der vorherigen Eiszeit, als stabil zu bezeichnen ist, weist auch diese „Warmzeit“ markante

Temperaturveränderungen auf. Beispielhaft ist die Klimadepression des 14. bis 19. Jahrhunderts, der Kleinen Eiszeit, zu nennen, die dem Mittelalterlichen Wärmeoptimum folgte. Nach der auffälligen Klimagunst zwischen 800 und 1350 verschlechterten sich die Bedingungen in den 550 Jahren danach mit gravierenden Folgen insbesondere in Nord- und Mittel-Europa. Doch auch die Epoche der Kleinen Eiszeit war nicht gleichbleibend kalt, sondern vielmehr durch zeitweilig wärmere Phasen gegliedert.

Der Übergang von warm (Mittelalterliche Wärmeperiode) zu kalt (Kleine Eiszeit) verlief rasch und war unter anderem von heftigen Sturmfluten begleitet. Chroniken und Flutsteine zeigen einige der folgenreichsten Fluten dieses Zeitraums auf. Die mittelalterlichen Sturmfluten hatten verheerende Folgen. Enorme Bevölkerungs- und Landverluste wurden verzeichnet. Wesentliche Ursachen, die zu den erheblichen Einbußen führten, waren menschengemacht. Die Ziele des Deichbaus, zunächst an den jeweils verfügbaren technischen Möglichkeiten sowie an wirtschaftlichen und politischen Vorgaben orientiert, wurden dementsprechend angepasst und haben sich selbstverständlich im Lauf der Zeit gewandelt. Insbesondere im Zuge der technischen Fortschritte des Industriezeitalters wurden massive Eingriffe in das natürliche System möglich.

Anhand der Deichgeschichte lässt sich die Rolle des Menschen im Nordseeraum demonstrieren. Einem bloßen Reagieren auf Naturprozesse ist schrittweise ein starker Eingriff in den Naturhaushalt gefolgt.

1 Klimaentwicklung nach dem Ende der letzten Eiszeit

Das Maximum der letzten Eiszeit, der Weichsel-Vereisung, wurde vor etwa 21 000 Jahren erreicht (Mix et al., 2001). Zu diesem Zeitpunkt waren große Wassermassen im Inlandeis fixiert, und der Meeresspiegel lag etwa 130 Meter tiefer als heute. Für den Nordseeraum hatte das beispielsweise zur Folge, dass die Küstenlinie etwa 600 Kilometer nach Norden verlagert war (Berner und Streif, 2000).

Zum Ende der letzten Eiszeit, 11 500 Jahre vor heute, war die globale Mitteltemperatur durchschnittlich um vier Grad Celsius kälter als

gegenwärtig. Im mittel- und nordeuropäischen Sommer überschritten die Temperaturen das Zehn-Grad-Monatsmittel nicht. Folglich herrschte eine baumlose Tundravegetation vor. Der Mensch lebte in den eisfreien Gebieten in Höhlen (Lozán et al., 1998), was unter anderem durch Zeichnungen und Malereien an deren Wänden dokumentiert ist.

Bereits vor 11 000 Jahren war ein beträchtlicher Anteil des Eises verschwunden. Das Abschmelzen des Gletschereises führte zu einem weltweiten Anstieg des Meeresspiegels, einer Transgression (Schwarzbach, 1993). Für die Nordsee ist der Wiederanstieg nach dem weichselzeitlichen Tiefstand nur in Teilstücken rekonstruierbar (Streif, 2001).

Im Vergleich zu dem gravierenden Auf und Ab der Temperaturen während der letzten Eiszeit ist das Holozän als stabiles Klima einzustufen. Doch trotz dieser relativen Stabilität deuten die holozänen Temperaturbedingungen auf deutliche Klimavariationen hin.

Zu Beginn des Holozän verschwand die zu dieser Zeit in Nord- und Mitteleuropa noch vorherrschende Tundravegetation, und ein Birkenbestand breitete sich zögernd nordwärts aus. Seit dem Beginn des Atlantikums, etwa 8 000 Jahre vor heute, entwickelte sich das Klima in „positivem“ Sinne. Während des holozänen Optimums, also etwa von 8 000 bis 4 000 oder 5 000 Jahre vor heute (Koç und Jansen, 2001), waren die Bedingungen verglichen mit den heutigen um ein bis zwei Grad Celsius wärmer und möglicherweise feuchter (Internet¹). Jäger besiedelten den nordeuropäischen Raum, und viele Menschen „[...] lebten in Küstennähe – vor allem im Bereich von Flussmündungen, da dort der Fang flussaufwärts wandernder Fischarten und auch die Salzgewinnung aus dem Meerwasser günstiger war“ (Lozán et al. 1998, S. 84). Gegen Ende des Atlantikums wurde der Mensch sesshaft und griff mit landwirtschaftlichen Maßnahmen erstmals in die natürliche Landschaftsentwicklung ein.

Felszeichnungen aus Nordafrika zeigen, dass auch dort ein wesentlich feuchteres Klima vorherrschte. Diese Verhältnisse boten zum Beispiel für Elefanten, Giraffen und Nashörner einen Lebensraum in einem

Gebiet, das heute zur Sahara gehört. Nach Lozán et al. (1998) hatte sich der subtropische Hochdruckgürtel deutlich nach Norden verschoben, und Monsunregenfälle erreichten die Sahara-Region. Dem postglazialen Temperaturanstieg schloss sich eine Abkühlung an, in deren Folge vor etwa 5 500 Jahren die Austrocknung der Sahara begann. Trotz eines gleichzeitigen Rückgangs der Nilüberschwemmungen waren die klimatischen Verhältnisse im Niltal aber noch so günstig, dass sich die ägyptische Hochkultur entwickeln konnte.

Historische Quellen verweisen auf ein milderes Klima während der Römerzeit, das sich allerdings als instabil erwies. Trotz eines schwachen Erwärmungstrends wird vor allem im Zeitraum zwischen 120 und 114 v. Chr. von häufigen, starken Stürmen sowie kurzfristigen Kälteeinbrüchen in der Nordsee-Region berichtet. Mehrere Sturmfluten sollen die Küstenlinie Dänemarks und Deutschlands zurückgedrängt haben. Nach Lamb (1989, zitiert in Lozán et al., 1998) war diese sogenannte „Cymbrische Flut“ Auslöser für erste Wanderungsbewegungen von Nord nach Süd.

Das Pessimum der Völkerwanderungszeit, 400 bis 600 n. Chr., ist durch ein weltweites Absinken der Temperaturen, bei gleichzeitiger Zunahme der Niederschläge, sowie durch ein Absinken des Meeresspiegels von einem Maximalstand auf ein Minimum gekennzeichnet. Historisch ist diese Epoche durch den Beginn der Germanischen Völkerwanderung belegt, die vielfach als „Klimaflucht“ interpretiert wird. Neben den unvorteilhaften klimatischen Bedingungen sind als weitere Auslöser der Völkerwanderung zu nennen: die Landnot im Nordosten Europas und Druck von außen, das heißt durch nach Westen ziehende Stämme der Steppen Russlands.

Berichte über das Verhalten der Friesen in dieser Zeit sind widersprüchlich. Einerseits scheinen die meisten Menschen die Gegend verlassen zu haben und nach England ausgewandert zu sein, andererseits könnten einzelne Gruppen in ihren ursprünglichen Siedlungsgebieten an der Nordsee verblieben sein (Internet²). Letztere werden als die ersten germanischen Kaufleute bezeichnet, deren Handel mit

England und anderen Nordsee-Anrainern florierte und sie wohlhabend machte (Internet³).

Die folgende Mittelalterliche Wärmeperiode wird in zwei Hauptphasen untergliedert: 900 bis 1000 beziehungsweise 1150 bis 1350. Charakteristisch für diese Zeit ist eine Inhomogenität der klimabedingten Auswirkungen unter geographischem und zeitlichem Aspekt. Milde Sommer und Winter, zunächst niederschlagsreich und dann immer trockener werdend, lassen die Jahresdurchschnittstemperaturen um 1,5 Grad über das heutige Mittel ansteigen (Lamb, 1977, zitiert in Hass, 1993). Die Warmphase begünstigte die Ausweitung des Kornanbaus in Nord-Norwegen und auch der Weinanbau in England gilt als ein Indikator für die vergleichsweise höheren Temperaturen.

Die Klimaverbesserung ermöglichte zudem die Kolonialisierung Islands und Grönlands durch die Wikinger. Sie lebten etwa 500 Jahre auf Grönland und betrieben, wie auch auf Island, Landwirtschaft und Viehzucht. Im 14. Jahrhundert verschlechterten sich die Bedingungen wiederum. Die Temperaturabnahme, begleitet von einem erneuten Vorrücken des Meereises, sowie häufigere Stürme verursachten Nahrungsknappheit sowie den Zusammenbruch der Handelsverbindungen nach Island und Europa und damit den Verlust der ökonomischen Grundlage der Siedlungstätigkeit (Lamb, 1984).

Auf die klimatisch begünstigte mittelalterliche Periode folgte die Kleine Eiszeit. Generell kann für Nord- und Mittel-Europa ein Zeitraum von etwa 1350 bis 1900 angegeben werden, in dessen Verlauf die Mitteltemperaturen um etwa ein Grad unter dem heutigen Temperaturniveau lagen (Grove, 2001). Als Maunder-Minimum wird die Phase markantester Abkühlung bezeichnet (1667 bis 1690), die durch eine verringerte Sonnenaktivität verursacht wurde. Kühlere Sommer und nach und nach kälter werdende Winterabschnitte charakterisieren die Kleine Eiszeit. Die nachhaltigsten Veränderungen traten aber in den Übergangsjahreszeiten auf. Die Temperaturen sanken sowohl im Frühjahr als auch im Herbst deutlich. Mehrere Perioden waren zusätzlich durch hohe Niederschläge gekennzeichnet, und nicht nur Hochwasser nahmen daraufhin in allen Flussgebieten Mitteleuropas drastisch zu.

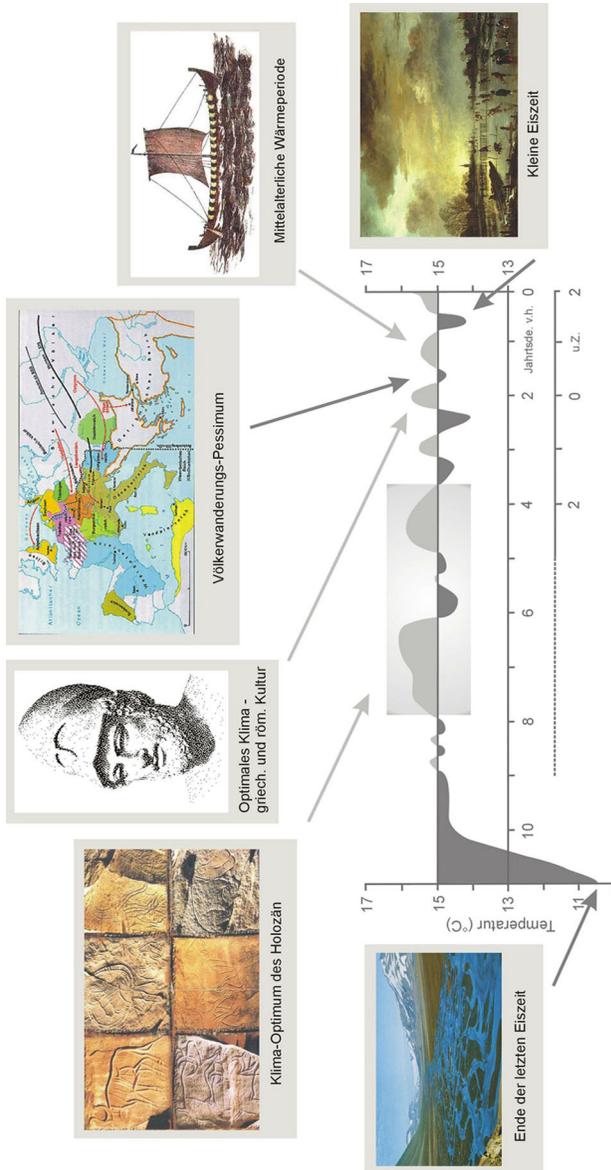


Abb. 1: Mittlerer Verlauf der bodennahen Lufttemperatur auf der Nordhalbkugel der letzten 11 000 Jahre (verändert nach Schönwiese, 1995)

Mit Anbruch des 20. Jahrhunderts beginnt das Moderne Klimagebiet. Die Klimabedingungen sind im allgemeinen recht gut aufgezeichnet. Der Temperaturanstieg begann bereits um etwa 1870, und es wird eine Abnahme der Kontinentalität – die während der Kleinen Eiszeit markant ausgeprägt war – deutlich. Bezeichnend ist vor allem die winterliche Erwärmung, die auf die anthropogene Erhöhung des Treibhauseffekts zurückzuführen ist (Glaser, 2001).

2 Klimatische Verhältnisse während der Kleinen Eiszeit

Im 14. Jahrhundert verschlechterten sich die klimatischen Bedingungen. Die Mittelalterliche Wärmeperiode ging zu Ende. Deutlich wird dies beispielsweise an einem Ereignis aus dem Jahr 1320: Die gesamte Ostsee froz zu. Im weiteren kündigte sich in Europa die deutliche Klimaänderung auch durch schwere Sturmfluten in der Nordsee-Region an. Unter anderem fiel die 2. Marcellusflut oder „Große Mandränke“ am 16. Januar 1362 in dieses Zeitintervall. Sie gilt als eine der schwersten Sturmfluten an der deutschen Küste überhaupt (Liedtke und Marcinek, 1994). Riesige Menschen- und Landverluste waren zu verzeichnen. Eine Erweiterung des Jadebusens, der sich daraufhin bis zur Weser erstreckte, die Entstehung des Dollart und der Zuidersee sowie vieler anderer Buchten (Harlebucht und Leybucht) veränderten die Küste. Die größte Veränderung erfuhr Nordfriesland – unter anderem versank die Insel Rungholt im Meer. Es wird von über 100 000 bis 200 000 Toten berichtet.

Im Zusammenhang mit diesen Extremverhältnissen werden häufig drei Ursachen genannt: ein weltweiter Anstieg des Meeresspiegels, ein vergrößerter Tidehub sowie eine Zunahme der Temperaturgegensätze. Eine Abkühlung im arktischen Bereich verstärkte den Kontrast zu den thermischen Bedingungen der Mittelbreiten und hatte damit eine Intensivierung der Zyklontätigkeit zur Folge. Der Meeresspiegelanstieg wird auf die Wärmeausdehnung der Wassermassen während des Mittelalterlichen Wärmeoptimums und das Abschmelzen der Gletscher zurückgeführt.

Hinsichtlich der genannten ozeanischen Parameter ist allerdings Vorsicht geboten, denn diese sind nur in klimatischen Übergangsphasen von derartiger Bedeutung. Freund und Streif (2000) stellen bereits zu Beginn der Kleinen Eiszeit ein Absinken des MThw (Mittleres Tidehochwasser) fest und führen dies auf die Klimaverschlechterung zurück.

Zeitgenössische Berichte zeigen die Furcht vor Missernten auf, die sich in den sogenannten „Grünen Jahren“ bewahrheitete. In diesen konnten aufgrund kurzer, feuchtkalter Sommer die Kornstände nicht ausreifen. Höfe und Dörfer in Nord- und Mitteleuropa wurden daraufhin aufgegeben. Kriegerische Auseinandersetzungen häuften sich, und die Kausalkette Missernte – Hungersnot – Krankheit und Tod wurde ausgelöst. Nach Lamb (1984) nahm in dieser Zeit die Bodenfeuchte merklich zu. Dies äußerte sich unter anderem im Wachstum von Mooren, einer Zunahme von Schlammlawinen sowie im Ansteigen der Flusspegel. Gerade letzteres stellte ein zusätzliches Gefahrenpotential für die Bevölkerung dar.

Sehr extreme Klimaverhältnisse herrschten im 15. Jahrhundert. Etwa zwischen 1420 und 1480 scheinen stark verregnete Sommer und bitterkalte Winter, aber auch Dürre-Ereignisse vorgekommen zu sein. Landwirtschaftliche, soziale und politische Folgen des Klimastresses dieser Jahrzehnte waren dementsprechend hart.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die klimatischen Auswirkungen regional sehr unterschiedlich sein konnten. Beispielsweise wird angenommen, dass sich die Situation gerade während dieser Phase in Island entspannt hat, wohingegen die wirtschaftlichen Grundlagen in Schottland – klimabedingt – miserabel waren (Lamb, 1984).

Der Höhepunkt der Kleinen Eiszeit wurde in den meisten Teilen Europas zwischen 1550 und 1700 erreicht. Klimatologischen Beurteilungen zufolge nahmen die Temperaturen nochmals ab. Außerdem dauerte die kalte Jahreszeit länger an. Von einer zwei bis drei Monate andauernden Frostperiode wird nicht nur aus England, Frankreich und Böhmen berichtet. „Mindestens vier Winter (1572/1573, 1684/1685,

1694/1695, 1829/1830) haben punkto Dauer der Kältewelle seit 1496 den Rekordwinter unseres Jahrhunderts (1962/1963) in den Schatten gestellt. In diesen vier Winterperioden setzte sich das blockierende Hoch im Norden des Kontinents drei Monate oder länger fest, bis sich schließlich nach dem Bodensee und dem Neuenburgersee auch der Vierwaldstättersee [...] vollständig oder teilweise [...] mit Eis bedeckten“ (Pfister, 1999, S. 203).

Diese Extreme stellten hohe Anforderungen an den Überlebenswillen von Mensch und Tier. Arme Leute konnten die Hütten wegen ihrer knappen Holzvorräte nicht ausreichend erwärmen. Nach Pfister (1999) geben historische Quellen immer wieder Zeugnis von erfrorenen Gliedmaßen und davon, dass manche unterkühlte und ausgemergelte Körper den Morgen nach langen, bitterkalten Nächten nicht erlebten.

Bezeichnend für strenge Winter sind ebenso Berichte von einem breiten „Eisrand“ an der holländischen Nordseeküste (Lamb, 1984). Gemälde der niederländischen Alten Meister aus dem kunsthistorisch sogenannten „Goldenen Zeitalter“ (16. und 17. Jahrhundert), nehmen durch häufige Darstellung von vereisten Wasserflächen, Schlittschuhpartien, Sturm und Regen Bezug auf das Klimaphänomen Kleine Eiszeit.



Abb. 2: Pieter Breughel der Ältere (1525 bis 1669): „Winterlandschaft“ (1565) (Internet⁴)

Ein Holzschnitt aus der Chronik von Oldenburg gibt ebenfalls Auskunft über die Temperaturbedingungen dieser Zeit. Im Mai des Jahres 1598 haben die Oldenburger drei Sonnen entdeckt (Hammer 2001), eine Himmelserscheinung, die auf Reflexion des Sonnenlichts an speziellen Eiskristallen der Atmosphäre zurückzuführen ist. Diese Konfiguration der Kristalle ist an kalte Konditionen gebunden und somit im heutigen Norddeutschland sehr selten.

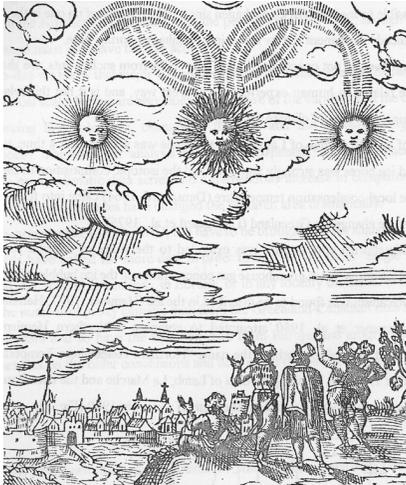


Abb. 3: Im Mai 1598 beobachteten Oldenburger drei Sonnen, „sun dogs“, am arktischen Himmel (Hammer, 2001; Internet⁵)

Historische Quellen berichten außerdem vom Zufrieren der dänischen Belte im 16. und 17. Jahrhundert. Dies ermöglichte dem schwedischen König Karl Gustav, seine Armee im Winter 1658 in den dänischen Inselraum einmarschieren zu lassen (Hammer, 2001).

Neben dem generell niedrigeren Temperaturniveau sowie den negativen Anomalien dieser Zeit gehörten Jahrzehnte mit extrem positiven Ausschlägen sowie Phasen mit auffallend geringer Variabilität ebenfalls zum Erscheinungsmuster. Und natürlich sind Feuchte-Parameter, wie Niederschlag und Evaporation, eng an das Temperatugeschehen

gekoppelt. Große Teile Europas wurden zu Beginn des 18. Jahrhunderts von langanhaltenden Hitzewellen und Dürren heimgesucht.

Eine Entspannung der klimatischen Situation konnte bereits an den ersten meteorologischen Stationen mitverfolgt werden. Die aufgezzeichneten Klimavariablen deuten in einigen Teilen Europas ab etwa 1700 insbesondere auf wärmere Sommer hin. Auf verbesserte Bedingungen wird ebenfalls aus Tatsachen, wie der Abnahme der Tage mit Schneebedeckung und einer positiven Entwicklung im Getreideanbau, geschlossen. Letztere ließ nicht nur eine erträgliche Ernte sondern auch die Wiedereinführung des Ackerbaus in nördlichere beziehungsweise höhergelegene Bereiche zu. Die genannten Beispiele beziehen sich jedoch ausschließlich auf die natürliche Umgebung. Selbstverständlich können Beispiele für eine sich ändernde Bevölkerungssituation angeschlossen werden. So nahmen Gesundheit und Lebenserwartung in dieser Zeit deutlich zu. Dem Trend zu einem generell angenehmeren Klima folgten zahlreiche Rückschläge. So wird beispielsweise der Winter 1739/40 europaweit als äußerst lang und kalt geschildert (Lamb, 1984).

Das 19. Jahrhundert ist mit seinen kalten Sommern allgemein als kühl anzusprechen. Zeitgenossen stellen mit Besorgnis eine kürzere Reifezeit für Getreide fest. „Die für die Landwirtschaft ungünstigen Witterungsbedingungen führten insbesondere in Mitteleuropa zu einer katastrophalen Versorgungslage bei den Nahrungsmitteln; Missernten verursachten die Aufgabe von Bauernhöfen“ (Berner und Streif, 2000). In Folge dieser Verhältnisse stiegen zum Beispiel um 1800 die Getreidepreise in Hannover enorm.

Kalte Jahre folgen auch vulkanischen Eruptionen. H. und E. Stommel (1990) bezeichnen, um hier nur ein historisches Beispiel anzuführen, 1816 als das „Jahr ohne Sommer“. Der Vulkanausbruch des indonesischen Tambora beförderte riesige Aschemassen in die Atmosphäre. Wenngleich dadurch die Monatsmittel in Europa nur um etwa ein bis zwei Grad unter den Durchschnitt fielen, schwankten die Witterungsverhältnisse in diesem einen Jahr stark. Phasen sommerlicher Wärme wurden häufig von äußerst kalten Unterbrechungen ausgesetzt. In

ausgedehnten Landstrichen der Nordhalbkugel, speziell an der Ostküste Nordamerikas, kam es während des Sommers zu Frost. In Kopenhagen lag im Juni noch Schnee auf der durch Häuser beschatteten Seite der Strasse (Hammer, 2001). Der Sommer wurde zum Winter. An den historischen Preislisten der Getreidemärkte lassen sich zum wiederholten Male Zeiten der Knappheit ablesen. Bereits gegen Jahresende kam es vor allem in den Städten zu Engpässen in der Nahrungsmittelversorgung. Sterberegister bestätigen eindeutig einen Zusammenhang zwischen Nahrungsmangel und einer Häufung der Todesfälle. Einige Länder mussten sich den Konsequenzen der Kälte- welle gerade zu einem Zeitpunkt stellen, als sie sich von den Napo- leonischen Kriegen erholten.

In dieser Beschreibung der klimatischen Verhältnisse während der wichtigsten Abschnitte der Kleinen Eiszeit werden Wiederholungen der Witterungssituation sowie der Auswirkungen deutlich. Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass nördliche Teile Europas ganz wesentlich von dieser generellen Klimaver- schlechterung betroffen waren.

Konsequenzen zeigen sich maßgeblich in einer Veränderung der nachfolgend aufgeführten Punkte: Länge der winterlichen Jahreszeit, Dauer der Schneedecke, Andauer und Strenge von Frost und dessen Eindringtiefe in die Böden, Gletscherstand, Länge der Reifezeit für Getreide und Feldfrüchte, Temperatur, Niederschlag und Evaporation sowie deren Folgen (Hochwasser, Dürren), Sturmhäufigkeit und -stärke, Meeresspiegel und Tidehub, Meereisverteilung, Oberflächen- temperatur der Meere und nicht zuletzt Änderungen im Fischbestand, der teilweise eine wichtige alternative Nahrungsquelle darstellte.

3 Klimaentwicklung nach dem Ende der Kleinen Eiszeit

Nach der relativ kalten Periode vom 14. bis zum 19. Jahrhundert zeigt das Temperaturbild eine deutliche Erwärmung. Diese ist nicht als natürliche „Erholung“ aus der Kleinen Eiszeit zu verstehen, da sie das Niveau der mittelalterlichen Werte deutlich überschreitet. Die Tempe- raturwerte des Mittelalters lagen auf der Nordhalbkugel zwar um

0,2 Grad Celsius über dem Durchschnitt der Kleinen Eiszeit, doch klar unter denen des 20. Jahrhunderts (Crowley, 2000; Yan et al., 1997, zitiert in Glaser, 2001).

Die Durchschnittstemperatur ist in den letzten 100 Jahren global gesehen um 0,6 Grad angestiegen. Der allgemeine Temperaturanstieg nach dem Ende der Kleinen Eiszeit erfolgte in zwei Phasen: von 1910 bis 1945 und ab 1976. Seit dem Vorhandensein einer standardisierten instrumentalen Messung sind die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt und 1998 das bisher wärmste Jahr (IPCC, 2001). Letzteres steht vermutlich mit dem extremen El-Niño-Ereignis 1997/98 im Zusammenhang.

Die globalen Mittelwerte verteilen sich regional durchaus unterschiedlich. Die Temperaturerhöhung ist insbesondere über den großen Kontinentalmassen stärker ausgeprägt als über den Ozeanen, die sich teilweise sogar abkühlen. Charakteristisch ist auch die vergleichsweise bedeutendere Zunahme in höheren Breiten, die schon in der Vergangenheit sensible Bereiche darstellten.

Genaugenommen ist die Aussage einer generellen Erwärmung nicht ganz richtig. Die Ausnahmen der 1990er Jahre sollen hier die Regel bestätigen. Wissenschaftliche Befunde belegen, dass es nicht wärmer wird, sondern weniger kalt. Keine Wortklauberei – Glogger, (1998, S. 9) fasst zusammen: „Die Maximumtemperaturen sind [...] heute nur wenig höher als noch vor hundert Jahren. Deutlich angestiegen sind [...] hingegen die Minimumtemperaturen: zwischen 1901 und 1993 im Mittel um rund zwei Grad. Im Winter mehr, im Sommer weniger. Das bedeutet, das Klima ist heute ausgeglichener, maritimer [...]“.

4 Auswirkungen der Klimaschwankungen auf den Nordseeraum

Nach diesem klimahistorischen Überblick, soll im folgenden Abschnitt das Interesse auf die Auswirkungen dieser Klimaschwankungen im Nordseeraum gelenkt werden.

Neben der bisher vordergründig „temperaturorientierten“ Betrachtung kann als Kriterium beispielsweise auch die Meeresspiegeländerung herangezogen werden, um die Klimaeinflüsse sowie die Reaktion der Bevölkerung darauf zu verdeutlichen. Die Ausdehnung der besiedelten Bereiche im Zusammenhang mit einem Vordringen beziehungsweise Zurückziehen des Meeres (Transgression und Regression) lässt sich im Bereich der Deutschen Bucht unter anderem anhand der Flachsiedlungen, deren Initiierung, Migration, Re-Migration, zeigen.

In flachen Mooregebieten wurden die ältesten, etwa 3 000 Jahre alten Siedlungsreste gefunden. Vor rund 2 500 Jahren setzte eine Transgression ein, die zur Überflutung des Siedlungsraums führte. Reste davon sind in Meeressedimenten konserviert. Die Aufgabe des ursprünglich bewohnbaren Gebiets zwang zu einer Neuorientierung. Auf Flussuferwällen fanden die Menschen eine Möglichkeit zur Errichtung neuer Siedlungsstätten. Eine nachfolgende Regression erlaubte vor ungefähr 2 000 Jahren die Wiederbesiedlung der Flachbereiche. Während einer späteren Transgressionsphase wurden Wurten (Wohnhügel) zum Schutz vor Hochwasser entwickelt. Einer weiteren Regression folgte ein Meeresspiegelanstieg, der die zweite Wurtbauphase einleitete, die etwa um das Jahr 800 n. Chr. Begonnen hat.

Bis zum Beginn des hohen Mittelalters wurde der Küstenverlauf allein durch die natürlichen Kräfte bestimmt. Im späten 11. Jahrhundert setzte der Deichbau ein, zunächst in Form von Ringdeichen um einzelne Gemarkungen. Diese Deiche zielten auf den Schutz der Sommerwiesen. Im 13. Jahrhundert entstand ein zusammenhängender Seedeich, der „Goldene Ring“, der nahezu die gesamte friesische Marsch umschloss.



Abb. 4: Darstellung des mittelalterlichen Deichbaus im „Sachsenspiegel“ (aus: Berner und Streif, 2000).

Die Kehrseite der Medaille waren Gefahren, die der Deichbau selbst mit sich brachte. Die Eindeichung an der Küste führte zu einer Einengung des Überflutungsraums. Dadurch kam es bei Sturmfluten zu einem vergleichsweise höheren Wasseraufschlag. Ein daraus resultierender Deichbruch konnte eine sehr gefährliche Situation schaffen, da vermeintlich sicheres Gebiet zunehmend besiedelt worden war. Die Bewohner waren zudem mit einem plötzlichen Ereignis konfrontiert und konnten nicht, wie in den Zeiten vor dem Deichbau, versuchen ihr Hab und Gut vor dem langsam auflaufenden Wasser zu sichern. War das Wasser erst einmal bis hinter die Deichlinie gedrungen, konnte es nur langsam abfließen. Siedlungs- und Nutzungsflächen standen in einem solchen Falle lange Zeit unter Wasser. Auch nach dem Abfließen beziehungsweise Abtrocknen stellte sich auf den bewirtschafteten Flächen keine Entspannung der Situation ein, denn Acker- und Weideland waren jetzt nachhaltig versalzen.

Verbunden mit dem Bau der Deiche war die künstliche Entwässerung eingedeicherter Gebiete. Diese wurde über Grabensysteme, Siele und Schöpfwerke geregelt und betrieben (Streif, 2001). Die Maßnahmen zur Trockenlegung führten zu einer Absenkung der Bodenoberfläche

unter das ursprüngliche Niveau und teilweise bis unter den Meeresspiegel. Wurden diese unter Normalnull liegenden Bereiche bei einem Deichbruch überflutet, mussten sie daraufhin oftmals als verloren gelten. Solche als „Sturmflutwunden“ bezeichneten Flächen sind zum Beispiel der Jadebusen und der Dollart.

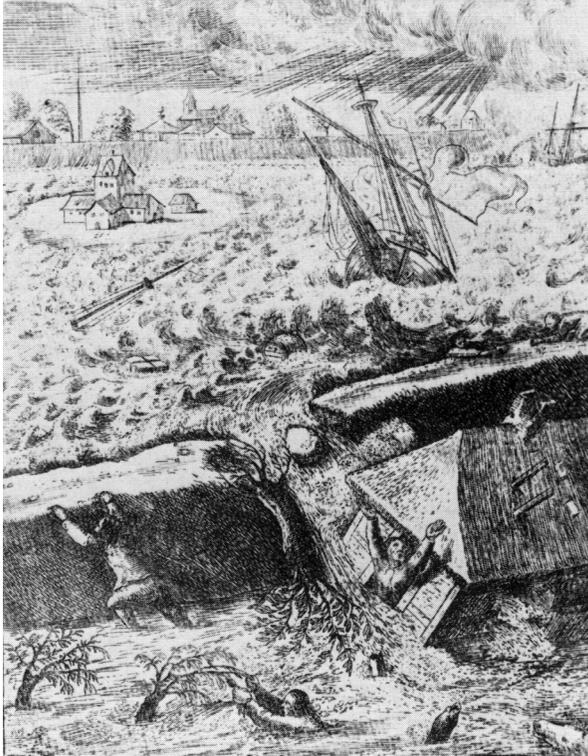


Abb. 5: Deichbruch im Jahre 1675 (Petersen und Rohde, 1977)

Im Spätmittelalter, genauer gesagt während der Kleinen Eiszeit, gab es mehrere Sturmflutereignisse, die zu derartigen Landverlusten führten. Die Sturmfluttätigkeit nahm im Zuge einer Veränderung der atmosphärischen Zirkulation im Gebiet der Nordsee zu.

Die „Große Mandränke“ wurde in diesem Zusammenhang bereits erwähnt und fällt in eine frühe Phase dieses Zeitintervalls. Für diese und nachfolgende Fluten gibt Reinhardt (1979, zitiert in Reineck, 1994) zu bedenken, dass zu jenen Zeiten erbitterte Häuptlingskämpfe ausgetragen wurden, dass die Bevölkerung durch die in Europa grassierende Pest dezimiert wurde und dass die Wirtschaft geschwächt war. Dies könnten Gründe sein, die zu einer Verringerung der Maßnahmen für die Deichsicherheit beigetragen haben.

Triebfeder für umweltverändernde Aktivitäten der Menschen war ein zunehmender Bevölkerungsdruck. Genügte es zunächst beispielsweise, die Siedlungsstruktur den örtlichen Gegebenheiten anzupassen, waren in darauffolgenden Epochen verstärkte Eingriffe notwendig. Um eine möglichst effektive Nutzung des Lebensraums zu erzielen, wurden eine Erweiterung der technischen Möglichkeiten sowie wissenschaftliche Errungenschaften angestrebt. Tätigkeiten, wie zum Beispiel Gebietsentwässerung und Deichbau, wurden durchführbar oder wesentlich verbessert.

Schwere Sturmfluten, unter anderem die Oktoberflut (1634), die Martinsflut (1686) oder die Weihnachtsflut (1717) mit ihren immensen Bevölkerungs- und Landverlusten, verlangten nach immer größeren Anstrengungen hinsichtlich des Küstenschutzes. Um 1800 hatte die Eindeichung schon fast den heutigen Küstenverlauf erreicht. Besondere Aufmerksamkeit wurde Begradigungsmaßnahmen der Festlandsküste und dem gleichzeitigen Bau von Bühnen und Deckwerken auf den Inseln eingeräumt (Flemming und Mai, 1998).

5 Sturmfluten im Nordseeraum

Während des Umbruchs vom Mittelalterlichen Optimum zur Kleinen Eiszeit trat ein verstärkt meridionales atmosphärisches Zirkulationsmuster zutage. „Eine intensiviertere meridionale Komponente im atmosphärischen Geschehen ist [...] die Ursache für die stark kontinentale Ausprägung mit sehr heißen Sommern und kalten Wintern“ (Glaser et al., 2000, S. 51). Als Folgen müssen unter anderem die Zunahme der Temperaturgegensätze sowie die dadurch verstärkte Sturmfluthäu-

figkeit im Nordseeraum genannt werden. Bekanntlich gab es jedoch nicht ausschließlich in der historischen Vergangenheit Sturmfluten. Auch in der modernen Zeit setzen derartige Witterungsbedingungen der Nordseeküste zu.

Daher empfiehlt es sich, angesichts der Einzelercheinung „Sturmflut“ eher von einem meteorologischen als von einem klimatischen Einfluss zu sprechen. Nähert sich ein Tiefdruckgebiet der Küste, sind zusätzliche Faktoren zur Herausbildung einer Flut notwendig: Zustand der Gezeiten, Küstenverlauf und Profil des Küstensaums, eine Fernwelle aus dem Nordatlantik sowie die interne Schwingung des Meeres. Hinsichtlich der Gestalt der Nordsee darf die Stauwirkung der Küste nicht vernachlässigt werden. Durch diese nimmt die Sturmfluthöhe zur Küste und in die Flüsse hinein – ähnlich dem Tidehub – zu.

Es folgt eine Auswahl historischer Sturmfluten in tabellarischer Form. Die Daten wurden verschiedenen Literaturquellen entnommen (Behre et al., 1979; Förster et al., 2000; Hass, 1993; Liedtke und Marcinek, 1994; Petersen und Rohde, 1977; Reineck, 1994; Reinhardt, 1979; Umweltatlas Wattenmeer, 1998/1999). Hinsichtlich der Zahlenangaben ist an dieser Stelle auf mögliche, oder besser wahrscheinliche, Ungenauigkeiten hinzuweisen. Diese werden bereits bei den unterschiedlich dokumentierten Jahresangaben deutlich.

„Die maximalen Sturmfluthöhen sind im Laufe der vergangenen Jahrhunderte in demselben Maß gewachsen wie das MThw, das heißt die Intensität der Sturmfluten ist gleich geblieben“ (Niemeyer und Kaiser 1999). Hinsichtlich der Sturmfluthäufigkeiten werden Fluktuationen beobachtet, wie am Beispiel der Zunahme zu Beginn der Kleinen Eiszeit gezeigt wurde. Die Sturmflutentwicklung der vergangenen 100 Jahre in der Deutschen Bucht weist trotz kurzfristiger Fluktuationen auf keine tendenzielle Veränderung hin (Schmidt und Storch, 1993).

1. Marcellus- flut	16.1.1210 oder 16.1.1219	Trifft vor allem die Küste von Friesland bis Holland. Ein Augenzeuge berichtet: „Am 16. Januar wurde der Wind zum Sturm und drehte gegen Abend nach Nordwesten [...]“ 36 000 Menschen sollen ertrunken sein. Überlebende wandern aus.
Luciaflut	14.12.1287	Gesamte deutsche Nordseeküste betroffen. In Berichten ist von über 50 000 Opfern die Rede.
2. Marcellus- flut, „Große Mandränke“	16.1.1362	Schwerste Sturmflut an der deutschen Küste überhaupt. Riesige Menschen- und Landverluste.
Dionysius- flut	9.10.1373 oder 1374	Das Dorf Westeel bei Norden wird aufgegeben. Ruft die größte Ausdehnung der Leybucht hervor.
Winkelflut	1447 u. 1473	Das Jeverland wird verwüstet.
Cosmas- oder Dami- anflut	26.9.1509	Küste von Holland bis zur Wesermündung betroffen. Größte Ausdehnung des Dollarts.
Antoniflut	10.1.1511	Im Jadebusen werden viele Inseln zerstört. Das Schwarze Brack griff noch tiefer ins Land hinein. Die Überflutung hielt wochenlang an und versalzte das Weide- und Ackerland.
Weihnachts- flut	25.12.1717	Schwere Schäden (Deichschäden, Verwüstungen und Überschwemmungen) an der gesamten deutschen Nordseeküste. Schäden vor allem auf friesischen Inseln, Durchbrüche unter anderem auf Juist, Langeoog, Spiekeroog. Flutmarke in Dangast/Jadebusen: +4.89 Meter über Normal Null, 12 000 Tote.
Silvester- nacht	1720/1721	Zerstörung einer Landbrücke (zwischen Westerkliff und Witte Kliff) auf Helgoland.
Hollandflut	1.2.1953	Vor allem die niederländische Küste betroffen. Viele Deichbrüche in Zeeland, Brabant, Zuidholland. 150 000 Hektar fruchtbares Land überflutet. 72 000 Menschen werden evakuiert, 1800 kommen um. In England ertrinken 300 Menschen in der Themse.

Daraus ergibt sich, dass die Anzahl der Sturmfluten in bedingtem Maße als ein zusätzlicher Klimaindikator angesehen werden kann. Als hochenergetische Ereignisse verändern sie die Gestalt der Küste. Deutlich lässt sich dies an der Insel-Reduktion von Helgoland zeigen, das einen Landverlust von etwa 90 Prozent während des Mittelalters aufweist. Auf einer Karte aus dem Jahr 1649 werden die Größenverhältnisse der 800-jährigen Vergangenheit in drei Schritten aufgezeigt. Der Umriss von Helgoland um 800 und um 1300 wird dabei mit der Inselgestalt zum Zeitpunkt der Kartenerstellung verglichen. Die Sturmflut in der Silvesternacht des Jahres 1720/21 (siehe tabellarische Aufstellung) zerstörte übrigens die schmale Landbrücke zwischen den beiden Helgoländer Hauptinseln.

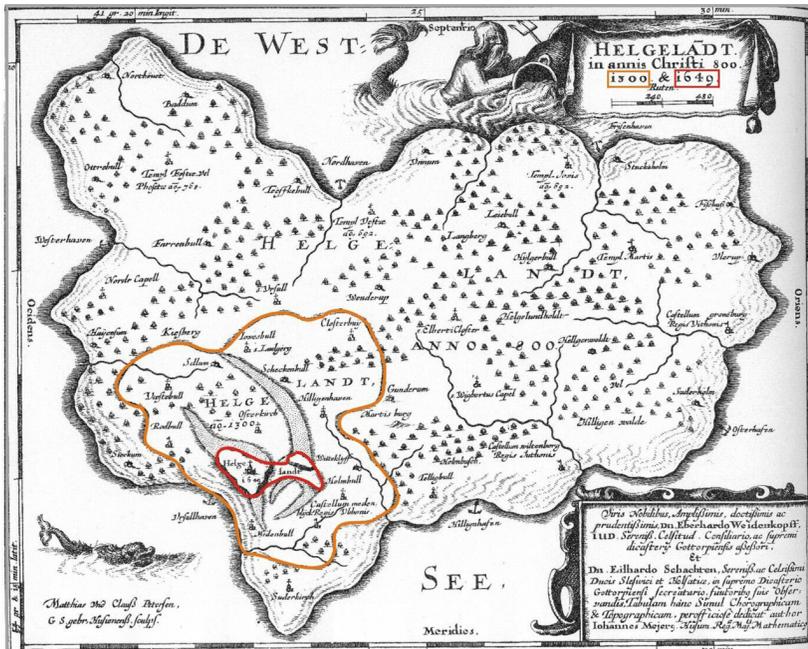




Abb. 6a+b: Historisches Helgoland (verändert nach Domeier und Haack, 1963)

Der natürlichen Veränderung der Küstenlinie stehen anthropogene Eingriffe gegenüber. Im Vorangegangenen ist bereits mehrfach angeklungen, dass sich die Menschen unter anderem mit dem Deichbau vor den drohenden Wassermassen schützen wollen und müssen. Einfluss auf das natürliche System nimmt der Mensch zudem durch die großräumige Entwässerung der Marschlandschaft. Aber auch Aktivitäten wie Flussausbauten, zum Beispiel die umfangreichen Weser- und Elbeausbauten, oder das Verklappen von Baggermaterial sind hier zu nennen (Flügel, 1987; siehe auch den Beitrag von Claudia Wienberg in diesem Band). Die Darstellung der anthropogenen Einflussnahme auf den Küstenraum kann hier nur beispielhaft erfolgen. Der Blick zurück zeigt jedoch deutlich, dass Mensch und Natur in jüngerer Zeit immer stärker wechselseitig aufeinander reagierten.

Wie eingangs erwähnt, ist eine Kenntnis der anthropogenen Veränderungen innerhalb des natürlichen Systems sowie der zahlreichen Rückkopplungseffekte von Bedeutung, um die zukünftige Klimaentwicklung und ihre Auswirkungen auf die Nordseeküste modellhaft darzustellen. Eine derartige Einschätzung ist für den Handlungsbedarf über den Nordseeraum hinaus richtungsweisend.

Literatur

- Behre, K.-E., Menke, B., und Streif, H. (1979): „The Quaternary Geological Development of the German Part of the North“, in: Oele, E., Schüttenhelm, R.T.E., und Wiggers, A.J. (Hg.): *The Quaternary History of the North Sea*, Acta Univ. Ups. Symp. Univ. Ups. Annum Quingentesimum Celebrantis, Uppsala, 2, S. 85–113.
- Berner, U., und Streif, H. (2000): „Klimafakten. Der Rückblick – Ein Schlüssel für die Zukunft“, Hannover: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Crowley, T.J. (2000): „Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years“, in: *Science*, 289, S. 270–277.
- Domeier, K., und Haack, M. (1963): „Caspar Danckwerth, Repräsentativer Faksimile – Atlas von Johannes Meyer“, Hamburg-Bergedorf: Verlag Otto Heinevetter.
- Flemming, B., und Mai, S. (1998): „Entwicklung der Ostfriesischen Küste“, in: Türkay, M. (Hg.): *Wattenmeer: Begleitheft zur Sonderausstellung zum 70jährigen Gründungsjubiläum von „Senkenberg am Meer“*, Kleine Senckenberg-Reihe, 29, Frankfurt am Main: Kramer, S. 15–19.
- Flügel, H. (1987): „100 Jahre Korrektur der Unterweser und Hafenaufbau in Bremen“, in: *Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft*, 42, S. 49–82.
- Förster, M., Fraedrich, W., Riegert, J., und Schubert, M. (2000): *Felseninsel Helgoland. Ein geologischer Führer*, Stuttgart, New York: Enke im Georg Thieme Verlag.
- Freund, H., und Streif, H. (2000): „Natürliche Pegelmarken für Meeresspiegelschwankungen der letzten 2000 Jahre im Bereich der Insel Juist“, in: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Pilotheft, 143, S. 34–45.
- Glaser, R., Beck, C., und Beyer, U. (2000): „Vom mittelalterlichen Wärmeoptimum über die Kleine Eiszeit ins moderne Treibhausklima“, in: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 144, 4, S. 44–53.
- Glaser, R. (2001): „Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen“, Darmstadt: WBG, Primus-Verlag.

- Glogger, B. (1998): *Heißzeit: Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz*, Publikation im Rahmen des NFP 31 „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, Zürich: vdf-Hochschulverlag an der ETH.
- Grove, J.M. (2001): „Climatic Change in Northern Europe Over the Last Two Thousand Years and Its Possible Influence on Human Activity“, in: Wefer, G., Berger, W., Behre, K.-E., und Jansen, E. (Hg.): *Climate and History in the North Atlantic Realm*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Hammer, C.U. (2001): „Holocene Climate and Past Volcanism: Greenland-Northern Europe“, in: Wefer, G., Berger, W., Behre, K.-E., und Jansen, E. (Hg.): *Climate and History in the North Atlantic Realm*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 165–173.
- Hass, H.C. (1993): „Depositional Processes Under Changing Climate: Upper Subatlantic Granulometric Records From the Skagerrak (NE-North Sea)“, in: *Marine Geology*, 111, S. 361–378.
- Internet¹: <http://atlas-conferences.com/abstract.htm>.
- Internet²: http://www.unikiel.de:8080/Geographie/lehrv_online/Pellworm/pellwormed/daniel/daniel.html.
- Internet³: http://www.uni-paderborn.de/Admin/corona/chris/Karl_1.html.
- Internet⁴: <http://www.euro-art-gallery.com/breugel/breugel.htm>.
- Internet⁵: <http://ast.leeds.ac.uk/haverah/spaseman/halos.shtml>.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton, J.T., et al. (Hg.), Cambridge und New York.
- Koç, N., und Jansen, E. (2001): „Holocene Climate Evolution of the North Atlantic Ocean and the Nordic Seas – a Syntheses of New Results“, in: Wefer, G., Berger, W., Behre, K.-E., und Jansen, E. (Hg.): *Climate and History in the North Atlantic Realm*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 165–73.
- Lamb, H.H. (1984): „Climate in the Last Thousand Years: Natural Climatic Fluctuations and Change“, in: Flohn, H., und Fantechi, R. (Hg.): *The Climate of Europe: Past, Present and Future. Natural and Man-induced Climatic Changes: A European Perspective*, Commission of the European Communities, Atmospheric Sciences Library, Dordrecht, Boston, London: D. Reidel Publishing Company, S. 25–4.
- Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Umweltbundesamt (1998): „Umweltatlas Wattenmeer. Nordfriesisches und Dithmarscher Wattenmeer“, Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Liedtke, H., und Marcinek, J. (1994): „Physische Geographie Deutschlands“, Gotha: Justus Perthes Verlag.

- Lozán, J.L., Grassl, H., und Hupfer, P. (Hg.) (1998): „Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten“, GEO Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen.
- Mix, A.C., Bard, E., und Schneider, R. (2001): „Environmental Processes of the Ice Age: Land, Oceans, Glaciers (EPILOG)“, in: *Quaternary Science Reviews*, 20, S. 627–57.
- Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Umweltbundesamt (Hg.) (1999): *Umweltatlas Wattenmeer. Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Umweltbundesamt, Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Niemeyer, H.D., und Kaiser, R. (1999): „Sturmfluten“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Umweltbundesamt (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer. Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Umweltbundesamt, Stuttgart: Ulmer Verlag, S. 26–7.
- Petersen, M., und Rohde, H. (1977): *Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe*, Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Pfister, C. (1999): *Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt.
- Reineck, H.-E. (1994): *Landschaftsgeschichte und Geologie Ostfrieslands. Ein Exkursionsführer*, Köln: Verlag Sven von Loga.
- Reinhardt, W. (1979): „Küstenentwicklung und Deichbau während des Mittelalters zwischen Maade, Jade und Jadebusen“, in: *Jahrbuch der Gesellschaft für Bildende Kunst und vaterländische Altertümer zu Emden*, 59, S. 17–9.
- Schmidt, H., und von Storch, H. (1993): „German Bight Storms Analysed“, in: *Nature*, 3, S. 791.
- Schönwiese, C. (1995): *Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Schwarzbach, M. (1993): *Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie*, Stuttgart: Ferdinand Enke-Verlag.
- Stommel H., und Stommel, E. (1990): „1816: Das Jahr ohne Sommer“, in: *Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Atmosphäre, Klima, Umwelt*, S. 98–105.
- Streif, H. (2001): „Klima und Meeresspiegel-Schwankungen: Einflüsse der jüngsten Erdgeschichte auf die Entwicklung des südlichen Nordseegebietes“, in: Huch, M., Warnecke, G., und Germann, K. (Hg.): *Klimazeugnisse der Erdgeschichte. Perspektiven für die Zukunft*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, S. 109–150.

Jürgen Meyerdirks

Lebensraum Wattenmeer in Gefahr Naturschutz und Klimawandel an der Nordseeküste

1 Einleitung

Das Wattenmeer der südöstlichen Nordsee ist in vielfacher Hinsicht ein Lebensraum von herausragender Bedeutung. Dieses weltweit bezüglich seiner Ausdehnung und ökologischen Wertigkeit einzigartige Gezeitengebiet gehört zu den letzten weitgehend natürlich erhaltenen Großlebensräumen Europas.

Insbesondere die systemeigene hohe Dynamik und der kleinräumige Wechsel der wichtigsten Lebensraumbedingungen (wie Salzgehalt, Strömungsgeschwindigkeit und Sedimentstruktur) innerhalb weniger Kilometer schaffen einen reich strukturierten Übergangsbereich zwischen Meer und Land. Diese hohe Habitatvielfalt und das gute Nahrungsangebot sind die Grundlage für den großen Arten- und Individuenreichtum des Wattenmeers.

Diese Fruchtbarkeit und die handelsgünstige Seelage machten die Küsten des Wattenmeers schon früh für eine menschliche Besiedlung interessant. Jedoch standen die wechselhaften Bedingungen der Küstenlandschaft einer kontinuierlichen, gefahrlosen Nutzung dieser Ressourcen oftmals entgegen. Die Errichtung einer durchgehenden Deichlinie verbesserte die Situation, führte aber zu einer beträchtlichen Einschränkung der dynamischen Prozesse des Wattenmeers, und mit zunehmender Bevölkerungsdichte wuchs Anzahl und Ausmaß der menschlichen Einflüsse auf das Wattenmeer. Allerdings führte die fortschreitende Gefährdung des Lebensraums durch eine Vielzahl verschiedener menschlicher Nutzungen (Schifffahrt, Schadstoffeinführung, Tourismus, Fischerei usw.) auch zu einer Sensibilisierung für die Belange des Naturschutzes. Im Rahmen eines langwierigen Pro-

zesses ist es mittlerweile gelungen, zumindest in wesentlichen Fragen des Naturschutzes eine Übereinstimmung und, noch wichtiger, gemeinsame Vorgehensweisen der Anrainerstaaten Niederlande, Dänemark und Deutschland zu erarbeiten.

Dies scheint angesichts der beschleunigten globalen maveränderung und der damit auch auf unsere Küsten zukommenden Veränderungen dringend geboten. Die Ansammlung von Werten und Bevölkerung in zum Teil unmittelbarer Küstennähe verdeutlicht den Forschungsbedarf zu Fragen des Klimawandels und seiner Folgen. Auch wenn zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Bewältigung der auf uns zukommenden Anforderungen, nicht zuletzt wegen der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel, möglich erscheint, so wird es in der Zukunft von Bedeutung sein, wie dies im einzelnen geschehen soll. Ein wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang wird die gesellschaftliche Klärung der Frage nach der Ausrichtung und dem zukünftigen Stellenwert des Naturschutzes und der ihm schutzbefohlenen Güter sein.

2 Lebensraum Wattenmeer

Um eine zufriedenstellende Abgrenzung des Lebensraums Wattenmeer zu erhalten, ist es notwendig, die Bildungsprozesse und die ihnen zugrundeliegenden physikalischen, chemischen und biologischen Gegebenheiten zu betrachten, die letztlich zur Entstehung des Ökosystems Wattenmeer in seiner heutigen Form geführt haben. Hierzu eignen sich aus ökologischer, aber auch aus naturschutzfachlicher Sicht vor allem landschaftsbezogene und naturräumliche Einheiten.

Das Wattenmeer ist ein Bereich geringer Tiefe der Nordsee, dessen Gestalt im wesentlichen durch den Einfluss der Gezeiten und hier insbesondere von der Höhe des Tidehubs bestimmt wird. In Richtung innerer Deutscher Bucht nimmt der Tidehub zu und teilt den Küstenbereich in drei Zonen. Im mikrotidalen Bereich mit geringen Tidehüben von maximal 1,35 Metern bildet sich eine geradlinige geschlossene Dünenküste aus, wie sie in Holland und im Norden Jütlands vorzufinden ist (*Abbildung 1*). Bei mittlerer Gezeitenwirkung mit einem

Tidehub zwischen 1,35 und 2,90 Metern (mesotidaler Bereich) entstehen Wattflächen mit vorgelagerten Barriereinseln, die mit zunehmendem Tidehub immer kleiner werden. Im Bereich der Ästuar von Weser, Elbe und Eider mit Tidehüben von über 2,90 Metern kommen keine Barriereinseln mehr vor. Kennzeichnend für den makrotidalen Bereich sind stark veränderliche Sandbänke und offene Wattflächen (Ehlers, 1994).

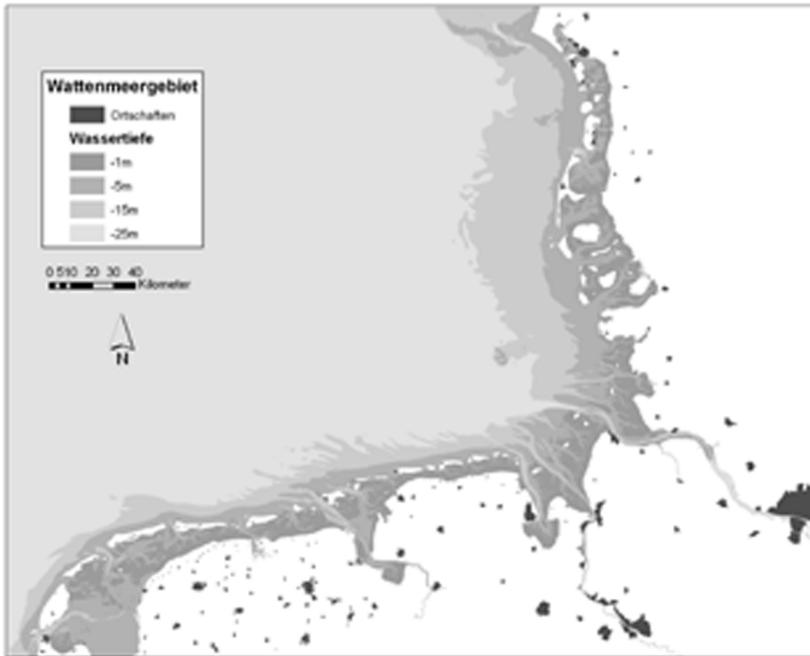


Abb. 1: Küstenlinie und Wassertiefen des Wattenmeers

Entstehungsgeschichtlich begann die Entwicklung des Wattenmeers vor etwa 7 500 Jahren (Streif, 1996). Die holozäne Transgressionsgeschwindigkeit (Vordringen des Meers) hatte sich zu diesem Zeitpunkt auf etwa ein halbes Meter pro Jahrhundert verlangsamt, und der Meeresspiegel lag etwa 25 Meter unter dem heutigen Niveau (Niemeyer und Kaiser, 1999). Im weiteren Verlauf sank die Ge-

schwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs auf zehn bis 20 Zentimeter pro Jahrhundert, und die Ablagerung mariner Sedimente führte zur Ausbildung des Wattenmeers in seiner jetzigen Form. Neben einem ausreichenden Angebot an Feinmaterial aus Meer und Flüssen müssen für seinen dauerhaften Erhalt weitere Bedingungen erfüllt sein (Stock et al., 1996). Ein allmählich abfallender Meeresboden und das Auftreten von Gezeiten sind die Voraussetzung für die Sedimentation und Sortierung des Materials entlang des Strömungsgradienten. Vorgelagerte Inseln und Sandbänke schaffen erosionsgeschützte Sedimentationsräume mit geringeren Strömungsgeschwindigkeiten, und ein gemäßigtes Klima sorgt für die lebensraumtypische Flora und Fauna. Bei Jahresdurchschnittstemperaturen ab 20 Grad Celsius würden unter den gleichen Bedingungen Mangrovensümpfe entstehen (Reise, 1995). Das Wattenmeer ist also das Produkt der geologischen und hydrologischen Bedingungen. Ein zu schnelles Ansteigen des Meeresspiegels oder des Küsteraumes würde die Sedimentationsbedingungen beeinflussen und letztlich den Fortbestand des gesamten Systems gefährden.

Unter den gegebenen Bedingungen kam es zur Bildung eines komplexen Sedimentkörpers mit den typischen Landschaftselementen. Er besitzt unter den Inseln eine Mächtigkeit von bis zu 35 Metern, die landeinwärts abnimmt, wobei die Korngrößen ebenfalls ab- und die Gehalte an organischer Substanz zunehmen (*Abbildung 2*).

Die aus ehemaligen Strandwällen entstandenen Barriereinseln bestehen größtenteils aus sandigen Sedimenten und tragen bis zu 25 Meter hohe Dünen. Landseitig schließen sich daran bei jedem Niedrigwasser trockenfallende Wattbereiche an. Etwa auf Höhe der mittleren Tidehochwasserlinie folgen ebenfalls aus feinsandigen bis tonigen Sedimenten bestehende Marschen. Der sich abschwächende Einfluss des Meers führt in den höhergelegenen Bereichen der Marschen zur starken Verbreitung von Brackwassersedimenten und Torflagen (Streif, 1999). Die aus pleistozänen Sedimenten bestehende Geest bildet unter natürlichen Bedingungen die landseitige Grenze des Wattenmeers.

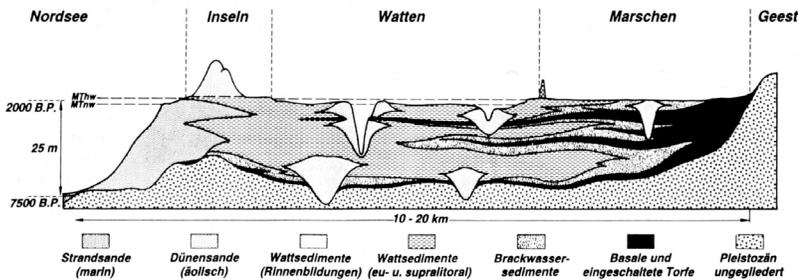


Abb. 2: Schematischer geologischer Schnitt des Wattenmeers mit den verschiedenen Landschaftselementen und Sedimenttypen (aus Streif, 1996)

Es sind in besonderem Maße die herrschende hohe Dynamik, steile Gradienten und die prinzipielle Durchgängigkeit des Systems für Stoffe und Organismen (Lozán, 1994), die diesen reich strukturierten Übergangsraum zwischen Meer und Land charakterisieren.

Die Ausprägung der verschiedenen Biotope ist von einer ganzen Reihe chemisch-physikalischer, hydrologischer und klimatischer Faktoren abhängig, wobei der durchschnittlichen Überflutungshäufigkeit die wesentlichste lebensraumordnende Funktion zukommt, da von ihr abhängt, ob sich aquatisch, amphibisch oder terrestrisch geprägte Lebensräume ausbilden. In Abhängigkeit von den mittleren Tidemarken wird unterschieden zwischen den dauerhaft überstauten Lebensräumen der Priele und Großrinnen (Sublitoral unterhalb MTnw = Mittleres Tideniedrigwasser), den im Gezeitenrhythmus trockenfallenden Wattflächen (Eulitoral zwischen MTnw und MThw = Mittleres Tidehochwasser) und den über der mittleren Tidehochwasserlinie gelegenen Salzwiesen, Strandwällen und Dünen des Supralitorals. Auch andere Faktoren wie Sedimentstruktur und Salzgehalt unterliegen hochdynamischen und teils sprunghaften Veränderungen und formen so ein kleinräumiges Mosaik verschiedenster Biotope (Heydemann, 1998; Reise, 1985; Reineck, 1982).

Definitionsgemäß versteht man in der Ökologie unter einem Biotop den Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (Biozönose), der eine gewisse Mindestgröße und eine einheitliche ihn von seiner Umgebung

abgrenzende Beschaffenheit aufweist (Bick, 1993). Der Biotopbegriff beschränkt sich nicht auf abiotische Parameter, sondern schließt insbesondere die Vegetation als wesentliches Strukturmerkmal mit ein, so dass er als vegetationstypisch beziehungsweise landschaftsökologisch definierter, im Gelände wiedererkennbarer Landschaftsausschnitt beschrieben werden kann.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit hat sich in der Praxis von Naturschutz und Landschaftsplanung die Verwendung von Biotoptypen durchgesetzt, vor allem wenn es darum geht, eine einheitliche Kartierung verschiedener Großlebensräume zu gewährleisten. Es handelt sich um einen abstrahierten Typus, der Biotope zusammenfasst, die hinsichtlich wesentlicher Eigenschaften übereinstimmen (von Drachenfels, 1994). Ökologisch gesehen sorgt die hohe Anzahl von Nischen für den Artenreichtum des Wattenmeers, wie sie für Übergangsbereiche zwischen Großbiotopen typisch ist.

Mit zunehmender Besiedlung des Küstenraums durch den Menschen und der damit einhergehenden Intensivierung von Deichbau- und Küstenschutzmaßnahmen (Flemming und Mai, 1998) kam es zu einer starken anthropogenen Überprägung der natürlichen Bedingungen. An die Stelle der reich strukturierten und vielfach verzahnten amphibischen Übergangszone (vgl. *Abbildung 2*) trat mit der geschlossenen Deichlinie eine abrupte Trennung zwischen Meer und Land. Die auf diese Weise von der systemtypischen Dynamik und Durchgängigkeit abgetrennten und landwirtschaftlich genutzten Marschen stehen als Lebensräume für die wattenmeertypische Flora und Fauna nicht mehr zur Verfügung (Stock et al., 1996). Dies führte zu massiven Flächenverlusten der höherliegenden Biotope, insbesondere von Quellerwatten und Salzwiesen. Die einst bis zu mehrere Kilometer breiten Bereiche sind heute vielfach verschwunden oder, bis auf einige Ausnahmen, nur noch wenige hundert Meter breit, mit der Folge, dass die Gradienten von Überflutungshäufigkeit, Salinität und Sedimentstruktur sich weiter aufsteilen.

3 Klimawandel

Das Klima ist seit jeher ein wesentlicher Umweltfaktor für die auf der Erde vorkommenden Lebensformen. Vor dem Hintergrund einer in der nahen Zukunft zu erwartenden deutlichen Beschleunigung von globalen Klimaveränderungen ist die zunehmende Bedeutung der Klimaforschung nur verständlich. Ziel der verschiedenen maßgeblich beteiligten Fachdisziplinen – Ozeanographie, Geologie, Geographie, Chemie, Meteorologie, um nur einige zu nennen – ist es dabei, auf der Grundlage der aus dem Klima der Vergangenheit gewonnenen Daten Aussagen über die künftige klimatische Entwicklung auf der Erde zu treffen. Eine der wesentlichen wissenschaftlichen Herausforderungen ist dabei – neben der Bereitstellung quantitativer Aussagen zum Klimawandel – die Abgrenzung zwischen natürlichen und anthropogenen Einflüssen.

Insbesondere der Nordseeraum kann auf eine durch Eis- und Warmzeiten geprägte wechselvolle Klimageschichte zurückblicken (Streif, 1996). Neben den natürlichen Klimawandelprozessen (siehe den Beitrag von Carolyn Scheuerle in diesem Band) veränderte sich der Einfluss des Menschen auf das Klima mit dem Beginn des Industriezeitalter von zunächst punktuellen und regionalen Eingriffen (Hupfer und Schönwiese, 1998) hin zu einer globalen Dimension (Graßl, 1998; IPCC, 2001).

Ein bedeutendes Maß für die globale Klimaentwicklung ist die mittlere Oberflächentemperatur der Erde, die als thermodynamisches Gleichgewichtsprodukt zwischen einfallender Sonneneinstrahlung und abgegebener Wärmestrahlung definiert ist. Die Sonneneinstrahlung hängt dabei im wesentlichen von der Sonnenaktivität und dem Abstand der Erde zur Sonne ab, wogegen der Anteil der Wärmestrahlung, die von Erdoberfläche und Wolkendecke reflektiert und ins All zurückgestrahlt wird, von der Zusammensetzung der Erdatmosphäre bestimmt ist.

Von besonderer Bedeutung sind hierbei verschiedene Spurengase, die zusammen nur ein Prozent der Masse der in der unserer Atmosphäre vorkommenden Gase ausmachen. Sie besitzen die Eigenschaft, die

einkommende kurzwellige Sonnenstrahlung ungehindert passieren zu lassen, während sie, gleich dem Effekt einer Fensterscheibe in einem Treibhaus (darum auch Treibhausgase), die abgehende Wärmestrahlung effektiv absorbieren. Es handelt sich hierbei um einen natürlichen Vorgang, für den neben den ursprünglich vorkommenden Treibhausgasen Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) und Ozon (O_3) seit den 1930er Jahren synthetische Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) mitverantwortlich sind. Ohne diese Gase würde die mittlere Oberflächentemperatur auf der Erde nicht bei +15, sondern bei -18 Grad Celsius liegen (Enquete, 1991). Die Klimarelevanz, also in welchem Umfang ein Gas zum Treibhauseffekt beiträgt, ist dabei nicht nur von der Menge, sondern auch von seinem Absorptionsverhalten und seiner Verweildauer in der Atmosphäre abhängig (Seiter und Hahn, 1998).

Der anthropogene Anteil am Treibhauseffekt besteht neben der Freisetzung neuer Treibhausgase (FCKW) vor allem in der zusätzlichen CO_2 -Emission durch die Verbrennung fossiler Energieträger und der Brandrodung tropischer Regenwälder. Seit 130 Jahren steigt der Anteil die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre exponentiell an, wobei die Hälfte dieses Anstieges allein in den letzten 40 Jahren zu beobachten war und inzwischen Werte erreicht hat, wie sie in den letzten 200 000 Jahren nicht nachzuweisen waren (Seiter und Hahn, 1998). Dies führt zu einer Erwärmung der bodennahen Luftschichten. Auch wenn die Einzelwerte räumlich und zeitlich erheblichen Schwankungen unterliegen (Hupfer und Schönwiese, 1998) ist eine hierdurch ausgelöste globale Temperaturerhöhung bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts nachweisbar und liegt bei durchschnittlich 0,6 Grad (IPCC, 2001).

Abgesehen von zahlreichen weiteren schwerwiegenden Folgen dieser Entwicklung (IPCC, 2001a) ist für Küstenregionen, und hier insbesondere für solche mit flachen Uferstrukturen (zum Beispiel Gezeitenküsten, Koralleninseln, usw.), die Erhöhung des Meeresspiegels eines der größten Probleme. Neben glazial-isostatischen Effekten, etwa Senkungsbewegungen der Erdkruste durch aufliegende Inland-

eismassen, und geologisch bedingten Absinkbewegungen durch große Lockersedimentablagerungen wird die Höhe des Meeresspiegels in starkem Maße von den herrschenden Luft- und Wassertemperaturen bestimmt. Durch das Abschmelzen von Gletschern und Veränderungen der terrestrischen Wasserreservoirs (Permafrost, Süßwasserreservoirs) ist mit einer Zunahme des Wasservolumens (eustatischer Effekt) zu rechnen. Die wärmebedingte physikalische Ausdehnung des Wassers (sterischer Effekt) ist direkt temperaturabhängig und führt vor allem durch die Ausdehnung des ozeanischen Oberflächengewässers zu einem direkten Anstieg des Meeresspiegels (Sterr, 1998).

Die große Anzahl verschiedener Einflussgrößen und deren erhebliche Schwankungen führen zu beträchtlichen Unsicherheiten bei der Vorhersagbarkeit der zukünftigen Entwicklung des globalen Meeresspiegelanstiegs. Dies drückt sich auch in der großen Bandbreite der Vorhersagen des IPCC (2001) aus. In den verschiedenen Szenarien wird von einem Meeresspiegelanstieg für den Zeitraum von 1990 bis 2100 von neun bis 88 Zentimetern ausgegangen. Der angenommene Mittelwert von 48 Zentimetern sowie die Mittelwerte der 35 verschiedenen Emissionsszenarien mit Werten von 21 bis 40 Zentimetern (*Abbildung 3*, graue Signatur) liegen somit zwei- bis viermal höher als der durchschnittliche globale Meeresspiegelanstieg des 20. Jahrhunderts (zehn bis 20 Zentimeter). Der Trend zu einem deutlich beschleunigten Meeresspiegelanstieg ist unverkennbar. Dabei liegen die in der Vergangenheit beobachteten Zuwächse noch deutlich über den prognostizierten Werten, so dass den mittleren und höheren Vorhersagewerten zur Zeit vermutlich die größeren Eintrittswahrscheinlichkeiten einzuräumen sind (Sterr, 1998).

Insbesondere vor dem Hintergrund der großen regionalen Schwankungen des zu erwartenden Meeresspiegelanstiegs ist es nötig, die globalen Daten auf die jeweilige Region herunterzurechnen. Dies erfordert die Anwendung anderer, speziell die jeweiligen Gegebenheiten berücksichtigende Modelle (von Storch et al., 1998).

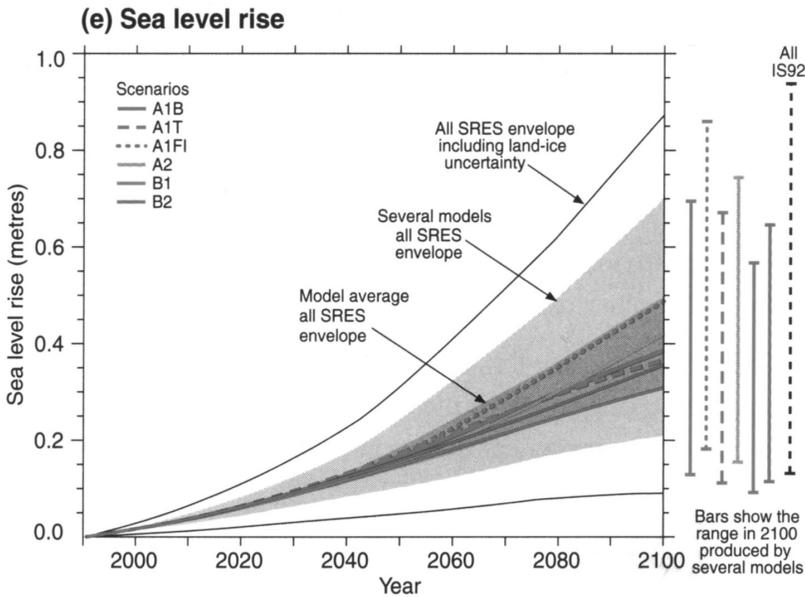


Abb. 3: Erwarteter globaler Meeresspiegelanstieg. Durchgezogene Linien berücksichtigen die Unsicherheiten der Gletscherentwicklung. Hellgraue Signatur: Bandbreite der verschiedenen Emissionsszenarien. Dunkelgraue Signatur: Mittelwerte der Emissionsszenarien (aus IPCC, 2001)

4 Klimafolgen

Die von der Klimaforschung bereitgestellten Prognosen zur zukünftigen Entwicklung des Klimas stellen die Datengrundlage der Klimafolgenforschung dar. Vorrangiges Ziel ist es, die durch einen fortschreitenden Klimawandel verursachten Folgewirkungen für Natur und Gesellschaft abzuschätzen. Zentraler Inhalt ist hierbei die Bereitstellung von Orientierungs- und Handlungswissen, das die Ableitung von Empfehlungen und Managementvorschlägen für einen vorsorgeorientierten Umgang mit den Folgen des globalen Klimawandels ermöglichen soll (DEKLIM, Internet).

Maßgeblich für das Ausmaß der zu erwartenden Veränderungen ist hierbei die Klimasensitivität des Untersuchungsraums. Die flachen,

morphodynamisch aktiven Küsten der Nordsee mit ihrer Konzentration von Bevölkerung sowie ökologisch und ökonomisch bedeutenden Werten in unmittelbarer Meeresnähe weisen naturgemäß eine hohe Empfindlichkeit für die Folgen eines zu erwartenden Klimawandels auf (Diehl-Christiansen und Christiansen, 1999; Ebenhöf et al., 1997).

Aus der Zielsetzung und den an sie gestellten Ansprüchen empfiehlt sich die Verwendung der Szenariotechnik als eine der bevorzugten Methoden innerhalb der Klimafolgenforschung. Sie ermöglicht durch die Festlegung bestimmter Rahmenbedingungen die Darstellung realistischer Entwicklungsmöglichkeiten für eine vergleichsweise ferne und unsichere Zukunft. Schwerpunkt ist hierbei die Ermittlung von bestimmenden Faktoren und Wirkzusammenhängen, statt Aussagen zu Wahrscheinlichkeiten und Eintreffgenauigkeit zu erarbeiten. Dies ist vor allem von Vorteil, wenn quantitative Vorhersagemethoden aufgrund zu langer Zeitreihen und zu ungenauer Datenlage versagen, wie dies im Falle der Klimafolgenforschung häufig der Fall ist (Scholles, Internet).

Die Szenariotechnik nähert sich dabei komplexen Systemen sowohl analytisch als auch holistisch unter Verwendung einer modularen und rückkoppelnden Vorgehensweise (Stiens, 1998, in Scholles). Dabei lassen sich folgende essentielle Bestandteile unterscheiden:

- Systemanalyse:* Erfassung der wesentlichen Steuerungs- und Strukturelemente und ihrer Vernetzung.
- Rahmenbedingungen:* Grenzen den Korridor der denkbaren Entwicklungen ein, innerhalb derer das Gesamtsystem noch funktionsfähig ist.
- Entwicklungspfade:* Auswahl einiger denkbarer gesellschaftlicher Reaktionsvarianten.
- Zukunftsbilder:* Veranschaulichen die möglichen künftige Zustände auf den Entwicklungspfaden.

Aus der Übertragung dieses Ansatzes auf eine Beurteilung der Klimafolgen für die Belange des Naturschutzes im Nordseeküstenraum leitet sich folgendes Bild ab: Zunächst sind im Rahmen einer System-

analyse möglichst alle wichtigen Einflussgrößen und ihre Wechselbeziehungen zu benennen. Um einen Klimabezug herstellen zu können, ist ein Klimaszenario einzuarbeiten, das die regionalen Entwicklungen innerhalb des Zielzeitraums zufriedenstellend abbildet. Ausgehend von dieser Systemanalyse unter Klimawandelbedingungen werden verschiedene Entwicklungspfade ausgewählt, die vorstellbare zukünftige Entwicklungen des Naturschutzes beschreiben. Dies kann jeweils anhand von verschiedenen Zukunftsbildern exemplarisch dargestellt werden. Denkbar ist in diesem Zusammenhang die vergleichende Beurteilung eines Extensivierungs- und eines Intensivierungs-Szenarios für jeweils verschiedene Zukunftsbilder aus Landwirtschaft, Küstenschutz oder Tourismus (*Abbildung 4*).

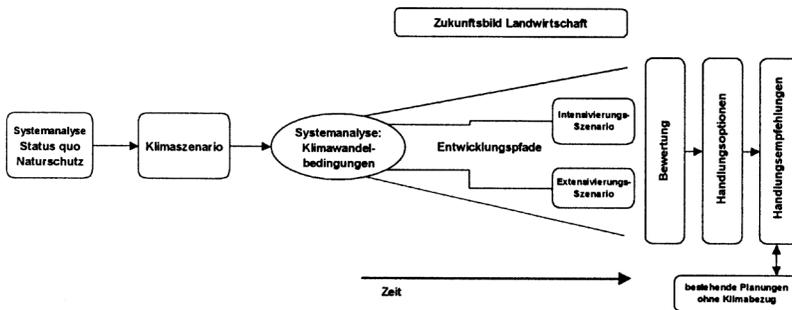


Abb. 4: Systembestandteile der Szenariotechnik und der anschließenden Bewertungs- und Handlungsoptionen (verändert nach Scholles, Internet)

Im Rahmen des gerade abgeschlossenen Forschungsprojekts „Klimaänderung und Unterweserregion“ (Schirmer und Schuchardt, 2001; KLIMU, Internet), das sich querschnittsorientiert mit der Klimasensitivität der hydrologischen, ökologischen und sozioökonomischen Strukturen des Unterweserraums beschäftigte, und dem gerade begonnenem Projekt „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste“ (KRIM, Internet) wurde diese Kombination von Szenariotechnik und regionalem Klimaszenario bereits erfolgreich angewendet. Dabei kommt ein Klimaszenario zum Einsatz, das die Auswirkungen des globalen

Klimawandels auf die Ebene der norddeutschen Küstenbereiche herunterbricht (von Storch et al., 1998). Es handelt sich um ein Worst-case-Szenario, das mit seinen Annahmen im oberen pessimistischen Viertel der Klimaprognosen des IPCC anzusiedeln ist. Dies ist durchaus gewollt, um durch ein ausreichend starkes Signal auch entsprechende Auswirkungen lokalisieren zu können.

Ausgehend von diesem auch für das Aufgabenfeld Naturschutz geeigneten Szenario ergeben sich zahlreiche hydrodynamische und morphologische Veränderungen. *Abbildung 5* zeigt die wesentlichen Elemente einer Systemanalyse unter Klimawandelbedingungen, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der biotischen Parameter und sämtlicher denkbaren Wechselwirkungen verzichtet wurde.

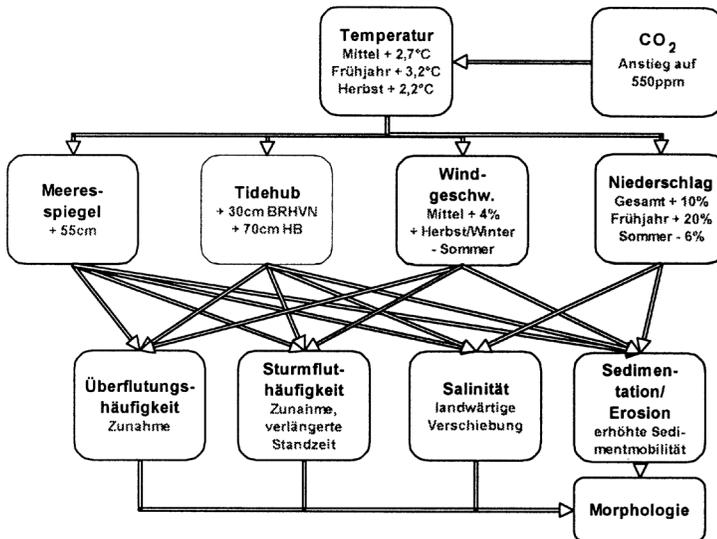


Abb. 5: Vereinfachte Darstellung einer Systemanalyse unter Klimawandelbedingungen. Daten des Klimaszenarios erstellt durch von Storch et al. (1998) für KLIMU (Internet)

Prinzipiell sind von Veränderungen des Klimas alle Ebenen des Ökosystems betroffen. Dies reicht von den Stoffwechsel- und Reproduktionsbedingungen der Individuen über Vorkommen und Verbreitung der Arten und Lebensgemeinschaften bis hin zur Ausprägung der Biotope und Landschaftselemente. Insbesondere die hydrologischen und morphologischen Folgen eines beschleunigten Klimawandels führen wegen ihrer lebensraumstrukturierenden Eigenschaften zu deutlichen Veränderungen der Lebensbedingungen für die Flora und Fauna des Wattenmeers.

Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die mit der Erhöhung des Meeresspiegels einhergehende Vergrößerung des Tidehubs, da sie maßgeblich die Gestalt der Küste prägt. Erhöhte Wasserstände an den Inselaußenrändern und Außensanden führen zur Erosion von Material, das entweder in tiefere Bereiche oder küstenparallel verfrachtet wird oder in den Rückseitenwatten wieder zur Sedimentation gelangt (Hofstede, 1994). Die daraus resultierende landwärtige Verschiebung der Inseln kann aufgrund der Abdeichung der Marschen nicht durch ein landseitiges Ausweichen der Watten und Übergangsbereiche kompensiert werden. Das damit einhergehende überproportionale Tidevolumen der Watteneinzugsgebiete führt zu einer deutlichen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten in den Seegatten, was massive Erosion besonders an den West- und Ostenden der Barriereinseln zur Folge hat (Bartholomä, 1999). Eine Sedimentation des hier freigesetzten, zumeist größeren Materials findet vor allem in den küstenferneren Wattbereichen und auf den Außensänden statt (Hofstede, 1994) (*Abbildung 6*). Zusätzlich trägt die Zunahme von Windintensität und Sturmfluthäufigkeit dazu bei, dass energieärmere Zustände, die eine Sedimentation von Feinmaterial in Deichnähe ermöglichen, weiter abnehmen. Dieses dauerhafte Sedimentdefizit der Rückseitenwatten führt zu einer weiteren Forcierung der landwärtigen Inselverlagerung (Bartholomä und Flemming, 1996).

Inwieweit eine klimawandelbedingte Inselverlagerung und die Zunahme der Überstauzeiträume zu nachhaltigen Störungen der eulitoralischen Lebensräume führen, hängt maßgeblich von der Höhe des ein-

tretenden Meeresspiegelanstiegs ab. Studien des Common Wadden Sea Secretariats (CWSS, 2001) gehen bei einem Meeresspiegelanstieg von 50 Zentimetern bis zum Jahr 2050 von Verlusten von bis zu 15 Prozent der bestehenden Wattflächen aus.

Von demselben Parameter ist auch die künftige Entwicklung der Salzwiesenbiotope der Vorländer abhängig. Eine Verlängerung der Akkumulationszeiten durch die Zunahme der Überstauzeiträume und das vermehrte Angebot von Feinmaterial im Wasserkörper aufgrund erhöhter Sturmflut- und Windintensität fördern das Aufwachsen der Vorländer. Gleichzeitig führt die damit einhergehende Zunahme des Wellenschlags zu einer vermehrten Kantenerosion der Salzwiesenbereiche (vgl. *Abbildung 6*). Ob die zukünftigen Sedimentationsbedingungen den fortschreitenden Meeresspiegelanstieg kompensieren können (Blume und Pfisterer, 2000), oder ob es zu Verlusten der Salzwiesenbereiche kommen wird, (Flemming, 1999) ist bislang ungewiss.

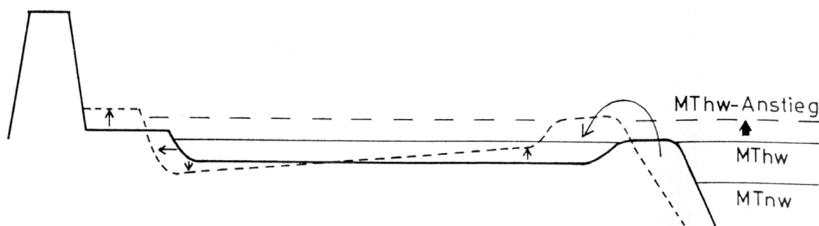


Abb. 6: Schematische Darstellung möglicher Veränderungen der Morphogenese des Wattenmeers in Folge des Meeresspiegelanstiegs (aus Hofstede, 1996).

Diese weitreichenden Veränderungen der Lebensräume werden nicht ohne Folgen für die sie besiedelnde Flora und Fauna bleiben. Wesentliche Einflussgröße für die Vegetationszonierung der Salzwiesen ist die Überflutungshäufigkeit. Weiterhin spielen Bodeneigenschaften (Gehalt an Wasser, Sauerstoff, Nährstoffen), Salinität, Nutzung und das Alter der Standorte eine wesentliche Rolle. Unter Klimawandelbedingungen werden sich zahlreiche dieser Parameter verändern und so einen deutlichen Einfluss auf die Konkurrenzverhältnisse und

Artenzusammensetzung der Standorte ausüben. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass die betroffenen Vegetationseinheiten mit dem ansteigenden Meeresspiegel entlang des Litorals nach oben wandern werden. Dies führt zwangsläufig vermehrt zur Beeinträchtigung der oberen Salzwiesen, da ein Ausweichen in höhere Bereiche durch die begrenzende Deichlinie in vielen Fällen nicht möglich ist (Vagts, 2000). Aus den gleichen Gründen sind auch zahlreiche in den Salzwiesen lebende Wirbellosen in ihrem Bestand bedroht (Weidemann et al., 2000).

Für die Fauna der Watten sind insbesondere die durch die Zunahme von Erosionsbedingungen zu erwartenden Veränderungen in der Korngrößenzusammensetzung hin zu gröberem Sediment relevant. Weitere wichtige Parameter sind die Überflutungsdauer und die Entwicklung der Windintensität. Fallen die klimabedingten Veränderungen vergleichsweise gering aus, ist zunächst nur mit einer Veränderung der zwischenartlichen Konkurrenz und, in deren Folge, mit einer Verschiebung der Artenzusammensetzung zu rechnen. Bei einem stärkeren Klimasignal wäre eine Verringerung der Gesamtbiomasse zu befürchten (CWSS, 2001). Dies würde nicht ohne Auswirkungen auf die sich von diesen Tieren ernährende Vogelwelt bleiben. Auch hier wären zuerst nur selektiv einige Arten betroffen. Bei einem Meeresspiegelanstieg von 50 Zentimetern bis 2050 könnten aufgrund verkürzter Auftauchzeiten der Watten verkürzte Nahrungszeiten, zu einem verringerten Nahrungsangebot und zunehmende Gefährdung des Bruterfolges durch Extremereignisse zu einer deutlichen Verschlechterung der Lebensbedingungen großer Teile des Brut- und Rastvogelbestandes führen (CWSS, 2001).

Die Beurteilung, wie sich die verschiedenen biotischen und abiotischen Bestandteile des Wattenmeeres bei einem beschleunigten Klimawandel verhalten könnten, würde ohne eine Betrachtung der ökosystemaren Zusammenhänge unvollständig bleiben. Aufgrund der systemeigenen erheblichen Schwankungen ist nicht von einem Referenzzustand, sondern vielmehr von einer Referenzdynamik auszugehen (Dittmann, 1999). Da die Beurteilung des Gesamtsystems

Wattenmeer aufgrund seiner enormen Komplexität scheitern muss, ist es hilfreich, mit Untereinheiten zu arbeiten. Als besonders geeignet erscheint die Verwendung von Wattstromgebieten (Tidebecken oder *tidal basins*), die aufgrund ihrer Größe und Struktur prinzipiell alle lebensraumtypischen Biotope enthalten.

Jeder dieser Wattbereiche reagiert innerhalb der natürlichen Variabilität des Ökosystems Wattenmeer auf die durch einen Klimawandel bedingten relativen Veränderungen (Hydrologie, Geomorphologie, Artenzusammensetzung) individuell verschieden (*Abbildung 7*). Dies wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlicher Intensität geschehen. Beim Überschreiten eines (Break-)Punktes verlaufen die weiteren Veränderungen des Systems mit erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit und überführen das System in einen anderen, unter Umständen stabilen Zustand, der sich von dem aktuellen deutlich unterscheiden kann. Diese Entwicklung verläuft nicht an allen Stellen gleich, so dass die als Durchschnitt angenommene Entwicklung des gesamten Wattenmeers hier als ein theoretischer Wert betrachtet werden muss, der so in der Natur keine Abbildung findet (CWSS, 2001).

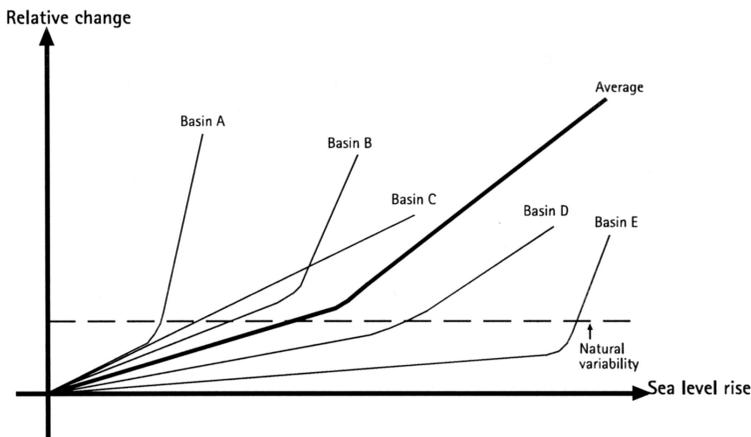


Abb. 7: Mögliche Reaktion individueller Wattenmeerbereiche auf die Veränderung geomorphologischer und biologischer Parameter in der Folge des Meeresspiegelanstieges (aus CWSS, 2001)

5 Naturschutz

Auch wenn es sich beim Wattenmeer um ein länderübergreifendes Ökosystem handelt, so unterliegt es zunächst primär der Souveränität der nationalen Umweltgesetzgebung. Aufgrund der weitgehend übereinstimmenden Interessenlage ist die naturschutzfachliche Zusammenarbeit zwischen den Anrainerstaaten mittlerweile recht ausgeprägt.

Für die Bundesrepublik Deutschland formuliert das Bundesnaturschutzgesetz allgemeine Ziele für den Naturschutz und die Landschaftspflege. Demnach sind Natur und Landschaft aufgrund ihres Eigenwertes im besiedelten und im unbesiedeltem Raum so zu schützen, zu pflegen und zu entwickeln, dass folgende Schutzgüter dauerhaft gesichert werden (Bundesnaturschutzgesetz § 1):

- Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts
- Regenerationsfähigkeit und nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter
- Tier- und Pflanzenwelt einschließlich ihrer Lebensstätten und Lebensräume
- Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft

Bereits aus diesen Zielvorstellungen lässt sich ablesen, dass Naturschutz eben nicht ausschließlich dem Arten- und Biotopschutz verpflichtet ist, sondern in Form einer integrierten Querschnittsaufgabe auch den Bedürfnissen der Bevölkerung gerecht werden soll, wobei letztlich der Erhalt der Biodiversität, um der Natur und des Menschen willen, erreicht werden soll (Janssen, 2000).

Zur Erreichung dieses komplexen Ziels wird im Naturschutz eine Reihe von wertbestimmenden Kriterien verwendet, um den ökologischen und naturschutzfachlichen Wert von Arten oder Lebensräumen bemessen zu können (Usher, 1986; Henle und Kaule, 1993). Im Rahmen dieser die Natur klassifizierenden Herangehensweise hat sich die Verwendung eines „Rote-Liste-Verfahrens“ eingebürgert, in der die gefährdeten Tiere (Binot et al., 1998), Pflanzen (Ludwig und Schnitt-

ler, 1996) oder ihre Lebensräume (Rieken et al., 1994) für das Gebiet der Bundesrepublik oder für bedeutende Großbiotop (Wattenmeer und Nordseebereich, in: von Nordheim und Merck, 1995) aufgeführt sind.

Der besondere ökologische Wert des Wattenmeers lässt sich durch eine ganze Anzahl von Kriterien belegen (siehe unter anderem Heydemann, 1998; Stock et al., 1996; Nationalparke Wattenmeer, Internet):

- Vielfalt: Das Wattenmeer verfügt aufgrund seiner zahlreichen Übergänge zwischen verschiedenen Großbiotopen über eine große Zahl von ökologischen Nischen und ist aus diesem Grund das artenreichste Meers- und Küstenökosystem Mitteleuropas.
- Seltenheit: Es finden sich dort viele inzwischen selten gewordene Tier- und Pflanzenarten sowie deren Lebensräume.
- Gefährdung: Das Wattenmeer unterliegt aufgrund der zahlreichen anthropogenen Nutzungen, Störungen und Belastungen einem sehr hohen Gefährdungspotential.
- Natürliche Ausprägung: Das Wattenmeer ist neben den hochalpinen Regionen der Alpen der letzte in Mitteleuropa noch weitgehend natürlich erhaltene Großlebensraum.
- Ökologische Empfindlichkeit: Als durchgängiges System aufeinander folgender Ökosysteme ohne wirksame Ausbreitungsschranken für die zahlreichen Gefährdungen weist es eine hohe ökologische Empfindlichkeit auf.
- Größe des Schutzgebietes: Es existiert kein wattenmeerähnliches Schutzsystem gleicher Größe in Mitteleuropa.
- Einzigartigkeit: Es handelt sich um das weltweit das größte zusammenhängende Sand- und Schlickwattsystem.
- Endemismen: Im Wattenmeer leben allein 250 Salzwiesenarten, die nur hier vorkommen.
- Überregionale Bedeutung für andere Lebensräume: Das Wattenmeer ist mit jährlich etwa zehn Millionen Zug- und 400 000 Brutvögeln die lebenswichtige Drehscheibe des ostatlantischen Vogelzugs.

Dieser herausragenden ökologischen Bedeutung des Gebietes wird der Naturschutz durch die Anwendung einer Reihe von unterschiedlichen Schutzkonventionen gerecht (*Tabelle 1*). Sie gehören unterschiedlichen Organisationsebenen an (international bis bundesstaatlich) und unterscheiden sich bezüglich ihrer Schutzziele und -güter, nutzen aber alle das Instrument der Schutzgebietsausweisung. Die auffällige Gebietsgleichheit der meisten Schutzzonen erklärt sich aus der weitgehenden Übereinstimmung der verwendeten Bewertungskriterien.

Tab. 1: Schutzgebietsausweisungen im Bereich des Wattenmeers

<i>Schutzgebietsausweisungen im Bereich des Wattenmeeres</i>			
Ebene	Abkommen	Ziele	Umsetzung
International	Biosphärenreservat der UNESCO	Verbindung von Naturschutz und nachhaltiger Nutzung	Schutzgebiete mit verschiedenen Nutzungszonen
	Ramsar-Konvention	Erhalt und Förderung von Feuchtgebieten	Schutzgebiete mit bedeutendem Vogelbestand
EU	FFH-Gebiete	Erhalt der biologischen Vielfalt, Biotopverbundsystem	Schutzgebiete für Arten und Lebensräume
	EU-Vogelschutzrichtlinie	Erhalt wild lebender Vogelarten und ihrer Lebensräume	Schutzgebiete mit bedeutendem Vogelbestand
NL, DK, D	Trilateraler Wattenmeerschutz	Verbindung von menschlicher Nutzung und Naturschutz	Organisationsstrukturen für Forschung, Schutz und Nutzung
D	<i>Befahrensregelung</i>	Schutz von Seehunden und Vögeln	Befahrensverbote
Bundesland	Nationalparke	Erhalt der biologischen Vielfalt und ungestörter Naturvorgänge	Gebiet mit Zonen verschiedener Schutzintensität

Die Nationalparke Wattenmeer (Niedersachsen, Hamburg und Schleswig-Holstein) erfüllen alle Anforderungen der nationalen und internationalen Schutzgebietsausweisungen. Es handelt sich um rechtsverbindlich festgesetzte einheitlich zu schützende Gebiete (Bundesnaturschutzgesetz § 14) mit dem Ziel, die biologische Vielfalt der Tier und Pflanzenarten sowie den möglichst ungestörten Ablauf der Naturvorgänge zu sichern (§ 2 der Nationalparkgesetze der Länder). Nach internationalen, von der Bundesrepublik anerkannten Richtlinien für die Ausweisung von Nationalparks (IUCN, 1994) sollen in diesen Gebieten auf mindestens 75 Prozent der Fläche die vorrangigen Managementziele des Nationalparks umgesetzt werden. Dies schließt die Unterbindung von Nutzungen ein, die eben diesen Zielen entgegenstehen. Daraus leitet sich bereits die weite Kluft zwischen Anspruch und Realität der deutschen Wattenmeernationalparke ab, da im gesamten Gebiet praktisch keine nutzungsfreien Bereiche existieren. Zwar sind die Flächen zur Entflechtung von Naturschutz und Nutzungen in Zonen aufgeteilt (Zander, 1999), doch sind einzelne Nutzungsformen, wie die Fischerei, auch in der am stärksten geschützten Ruhezone erlaubt.

Ziel des Zonierungskonzepts ist es, die Kernzonen des Naturschutzes (Ruhezone, Zone I) durch eine Pufferzone (Zwischenzone, Zone II) von der vorwiegend für die Fremdenverkehrsnutzung vorgesehenen Erholungszone abzugrenzen. Grundlage für diese Vorgehensweise sind im Rahmen des Vorsorgeprinzips erlassene nationale und internationale Vereinbarungen mit dem Ziel, einen umfassenden Ökosystemschutz zu gewährleisten und seine Effizienz durch geeignete Monitoringprogramme zu überprüfen (Gätje et al., 1998).

Eine wesentliche Forderung des Naturschutzes ist seit langem die Einrichtung von nutzungsfreien Schutzzonen, wie sie jetzt erstmals in größerem Umfang mit der Novellierung des schleswig-holsteinischen Nationalparkgesetzes vom Dezember 1999 südlich des Sylter Hindenburgdamms Realität wurde. Solche Null-Nutzungsbereiche sind aus naturschutzfachlicher, wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht aus verschiedenen Gründen von besonderer Bedeutung, weil sie

(siehe unter anderem Colijn et al., 1998; Rösner, 1998; Gätje et al., 1998) folgendes ermöglichen:

- einen besseren Schutz für gefährdete Arten sowie die Wiederkehr verschwundener Arten,
- eine Vergrößerung der Arten- und Habitatvielfalt,
- die natürliche Entwicklung eines Gebiets und die Formulierung daraus ableitbarer Naturschutzziele,
- die Unterscheidung von anthropogenen und natürlichen Einflüssen auf das Ökosystem,
- die Voraussetzung der Schutzgebietsausweisungen und
- einen Beitrag zum Schutz unberührter Natur im eigenen Land.

Derartige nutzungsfreie Gebiete sind bislang die Ausnahme und, weil oft kleinräumig und verstreut gelegen, weit davon entfernt, ein kohärentes Netz zum Schutz des Wattenmeers zu bilden. Wünschenswert wäre aus diesem Grund die Orientierung der einzurichtenden nutzungsfreien Schutzzonen an naturräumlichen Gesichtspunkten. Als besonders geeignet gilt hier, als kleinste natürliche Raumeinheit, das Einzugsgebiet eines großen Wattstroms. Ein solches Wattstromgebiet stellt eine natürliche Untereinheit des Wattenmeers dar und bildet die kleinste Einheit, innerhalb derer die Naturvorgänge ablaufen können (*Abbildung 8*). Seine Größe reicht aus um alle potentiell vorkommenden Habitate, die kleinräumige jährliche und saisonale Dynamik wie auch die ganze Bandbreite des Gradienten der abiotischen Umweltparameter abzubilden. Viele der vorkommenden Arten führen saisonale und entwicklungsphasenabhängige Wanderungen durch. Ein sich über alle Teillebensräume erstreckendes Schutzgebiet deckt den gesamten Lebenszyklus der Organismen ab und verbessert so deren Überlebenschancen (Gätje et al., 1998; Reise, 1996).

Auch aus ökosystemarer Sicht bietet der Schutz kompletter Wattstromgebiete Vorteile, die zur Stabilisierung des Gesamtsystems beitragen. Mit der Größe des geschützten Gebietes wächst die Anzahl der vorkommenden Habitate und damit die Wahrscheinlichkeit, dass im Falle von Störungen zumindest einige Populationen überleben. Aus diesen Initialgesellschaften kann dann, eine ungestörte Verbrei-

tung vorausgesetzt, eine neue Besiedlung des Lebensraums erfolgen. Großräumige Schutzgebiete mit hoher Habitatdiversität besitzen darum ein großes Resilienzpotential, das heißt, sie unterstützen die Fähigkeit des Systems, wieder in seinen Ursprungszustand zurückzukehren (Villbrand et al., 1999).

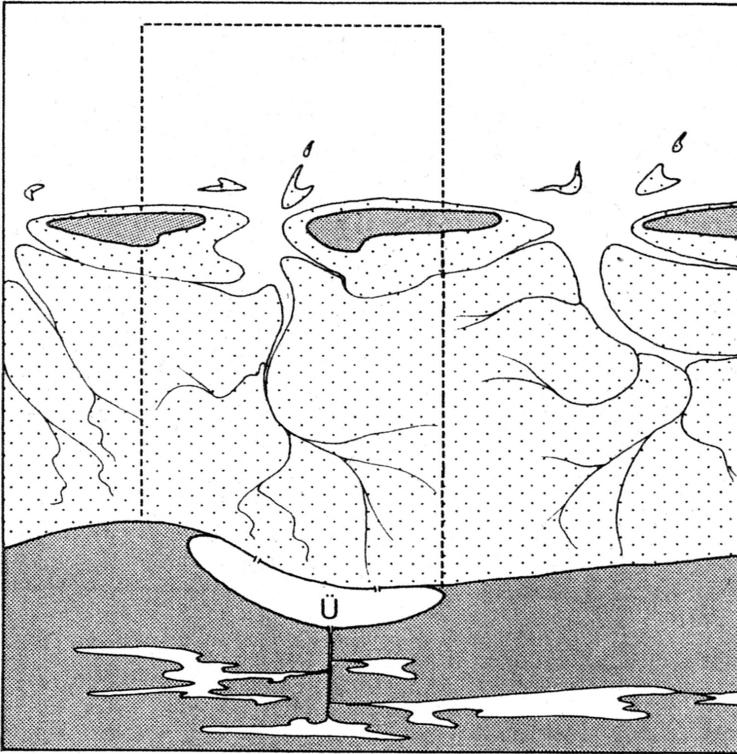


Abb. 8: Wattstromgebiet mit Inseln, Watten, landseitigem Überflutungskeog und damit verbundenen Feuchtgebieten (aus Reise, 1995)

Auch in der theoretischen Ökologie haben sich mit der Patch-dynamics- und Mosaik-Zyklus-Konzeption weitgehend Meinungen durchgesetzt, die eine räumliche Heterogenität und Fleckenhaftigkeit sowie die zeitliche Dynamik ins Zentrum ihrer Überlegungen stellen. Ab-

weichend von der lange bestehenden Gleichgewichtstheorie, die ökologische Systeme als wohlgeordnete, gut abgrenzbare homogene Einheiten ansieht, die über verschiedene Sukzessionsstufen einen Gleichgewichtszustand (Klimaxstadium) anstreben, gehen diese Theorien von offenen Systemen mit interagierenden Komponenten aus, die zahlreichen Störungen ausgesetzt sind und permanenten Veränderungen unterliegen (Jax, 1994). Es handelt sich um ein Erklärungsmodell, das insbesondere für hochdynamische, durchgängige Küstenlebensräume wie das Wattenmeer geeignet scheint.

Diese wissenschaftlichen Grundlagen bleiben nicht ohne Konsequenzen für die Umsetzung von Naturschutzzielen. Ein auf den langfristigen Erhalt einer bestimmten Organismengesellschaft ausgerichteter Naturschutz neigt häufig dazu, einen aus der Naturwahrnehmung abgeleiteten Gleichgewichtszustand etablieren zu wollen. Dieses „Gleichgewicht“ ist allerdings ein theoretisches Konstrukt, das in seiner Reinausprägung so im Landschaftsbild nicht über einen längeren Zeitraum existiert (vgl. *Abbildung 7*). Außerdem stellt die Fokussierung auf ein Schutzgut (zum Beispiel Vögel, Seehunde) jeweils nur eines von vielen denkbaren Naturschutzzielen dar. Die Abkehr von diesem konservierenden Konzept hin zu einem dynamischeren „Natur Natur sein lassen“ birgt jedoch die Gefahr, dass sich der Charakter des Gebiets großflächig verändert, weil die getroffenen Annahmen bezüglich Gleichgewicht und Konstanz nicht den natürlichen Gegebenheiten entsprechen (Bibelriether, 1993; Jax, 1994).

Trotz dieses Risikos ist heute allgemein anerkannt, dass eine Reihe von Naturschutzzielen nur über den Schutz oder die Wiedereinführung dynamischer Prozesse zu erreichen sein werden (Finck et al., 1998). Sowohl die Ökosystemforschung (Stock et al., 1996; Dittmann, 1999a) als auch nationale und internationale Schutzkonventionen (Nationalparkgesetze, trilaterale Wattenmeerkonferenz, siehe CWSS, 1999) favorisieren für das Wattenmeer derartige Prozess- oder Dynamikschutzkonzepte, die in vollständigem und befriedigendem Maße wohl nur durch die Ausweisung großräumiger, nutzungsfreier Schutzgebiete in Kombination mit weiteren dynamikfördernden

Maßnahmen zu erreichen sein werden. Ohne diese Maßnahmen wird das Wattenmeer kaum in der Lage sein, dem fortschreitendem Klimawandel zu folgen.

6 Fazit

Ökosystem Wattenmeer in Gefahr?

Eine zufriedenstellende Beantwortung dieser Frage ist nur bei ausreichender Kenntnis der dem System zugrundeliegenden Strukturen und Funktionen möglich. Besonders kompliziert gestaltet sich bei einem derart komplexen, dynamischen System der Versuch einer Differenzierung zwischen systemeigenen Schwankungen und klimawandelinduzierten Veränderungen. Diese Unsicherheiten finden im Themenfeld Naturschutz ihre Fortsetzung, wenn es gilt, zwischen den Belangen zielartenorientierter oder verstärkt den Erhalt natürlicher Dynamik favorisierender Schutzkonzepte zu entscheiden.

Trotz zahlreicher Ungewissheiten lassen sich zumindest großräumig zielführende Thesen formulieren:

Die Folgen eines beschleunigten Klimawandels sind bereits sichtbar.

Aufgrund der vielen anderen beteiligten Einflussgrößen ist eine direkte Kausalität zwischen dem beschleunigten Klimawandel und den zu beobachtenden hydrologischen, morphologischen und biologischen Veränderungen des Wattenmeers oft nur schwer herstellbar. Trotzdem belegen zahlreiche Untersuchungen, dass Veränderungen der hydrologisch-morphologischen Rahmenbedingungen, wie sie unter Klimawandelbedingungen zu erwarten sind, in großen Teilen des Wattenmeers bereits stattfinden. Hierzu gehört vor allem die Zunahme von Erosionsprozessen und das damit verbundene Sedi-mentdefizit vieler Rückseitenwatten (Gätje und Reise, 1998; Reise und de Jong, 1999). Übereinstimmend damit kam es in einigen Bereichen des Wattenmeers zu einer deutlichen Verschiebung des Biomassenanteils von Mollusken hin zu übersandungstoleranteren Polychaeten (Essink, 1999). Auch die Einwanderung und Etablierung zahlrei-

cher wärmeliebender Arten in der jüngeren Vergangenheit (Nehring und Leuchs, 1999) und die Veränderung der Vogelzugzeiten sind weitere deutliche faunistische Anzeichen für eine spürbare Veränderung der klimatischen Bedingungen. Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität der angeführten Parameter und der Mangel an flächendeckend erhobenen Daten macht die Ergebnisse bezüglich ihrer Klimarelevanz häufig angreifbar, belegt aber zugleich den weiterhin bestehenden Forschungsbedarf.

Das Ausmaß der zu erwartenden Veränderungen hängt maßgeblich von der Geschwindigkeit des eintretenden Klimawandels ab.

Die hohe Elastizität und Resilienz des Ökosystems Wattenmeer bildet gute Voraussetzungen für eine weitreichende Kompensation der durch einen beschleunigten Klimawandel zu erwartenden Veränderungen. Diese hohe Anpassungsfähigkeit beruht weitgehend auf der systemeigenen ausgeprägten Dynamik. Die räumliche Einengung und die Unterbindung dynamischer Prozesse, insbesondere durch Küstenschutzmaßnahmen, führen allerdings zu einer Schwächung dieser Mechanismen.

Bei einem moderaten Meeresspiegelanstieg (25 Zentimeter bis 2050) wird zwar mit Veränderungen in der Arten- und Lebensraumverteilung zu rechnen sein, weitreichende Folgen für das Gesamtsystem Wattenmeer scheinen allerdings weniger wahrscheinlich. Fällt der erwartete Klimawandel allerdings deutlich stärker aus, wird sich die Kompensationsfähigkeit des Systems zunehmend erschöpfen (vgl. *Abbildung 7*), und die damit einhergehenden erheblichen morphologischen und biologischen Veränderungen führen zu einem anderen Systemzustand, der in seiner Gestalt deutlich von dem des heutigen Wattenmeers abweichen kann (CWSS, 2001). Vorstellbar wäre in diesem Zusammenhang die Entstehung einer ausgedehnten Lagunenlandschaft, mit deutlichen Auswirkungen nicht zuletzt auf den Naturschutz.

Stellenwert und Ausrichtung des zukünftigen Naturschutzes ist abhängig von der gesellschaftlichen Entwicklung.

Aus naturschutzfachlicher Sicht erscheint heute die Förderung dynamischer Prozesse das beste, wenn nicht langfristig das einzige geeignete Mittel zum Erhalt des Wattenmeers in seiner heutigen Form. Dies setzt, zumindest in den dafür vorgesehenen Teilbereichen, die Rücknahme der vorhandenen Küstenschutzmaßnahmen durch Rückpolderungen oder Ausdeichungen voraus (vgl. *Abbildung 8*). Das Zulassen freier Dynamik birgt allerdings auch Risiken für den Naturschutz in seiner aktuellen Form, da wahrscheinlich nicht alle Zielarten in gleichem Maße von diesem Konzept profitieren werden. Ein toleranter Umgang mit dieser Problematik – möglichst ohne interne Auseinandersetzungen innerhalb des Naturschutzes – wäre hier zu begrüßen, zumal ein arten- und biotypenschutzorientiertes Konzept sich sicherlich auf den verbliebenen, nicht als Null-Nutzungszonen ausgewiesenen Flächen realisieren lässt. Fraglos wird der zu erwartende Meeresspiegelanstieg bei Beibehaltung des starren Küstenschutzkonzepts und der aktuellen Naturschutzkonzepte früher oder später dazu führen, dass sich das Ökosystem Wattenmeer deutlich verändert. Ob der Küstenschutz geeignete Ausweichflächen für den Erhalt der ursprünglichen Strukturen freimachen kann, oder ob der Naturschutz sich zukünftig mit dem Schutz eines an die neuen Umstände angepassten Ökosystems zu begnügen hat, ist gesellschaftlich zu verhandeln.

Wünschenswert wäre es, wenn es gelänge, das oft durch Kommunikations- und Wahrnehmungsbarrieren gestörte Verhältnis der Beteiligten aus den verschiedenen Bereichen zu harmonisieren, um einen sicheren und naturverträglichen Konsens zu ermöglichen, der auch die zeitliche Dimension in ausreichendem Maße berücksichtigt.

Literatur

- Bartholomä, A. (1999): „Zur historischen und künftigen Entwicklung der Morphologie des Ostfriesischen Wattenmeeres“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 2: Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 18f.
- Bartholomä, A., und Flemming, B.W. (1996): „Zur Sedimentdynamik in den ostfriesischen Rückseitenwatten und den Veränderung durch natürliche und anthropogene Einflüsse“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V.*, 1/1996: S. 70–89.
- Bibelriether, H. (1993): „Klare Ziele für europäische Naturlandschaften“, in: *Nationalpark*, 78, S. 37–39.
- Bick, H. (1993): *Ökologie*, 2. Auflage, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Binot, M., et al. (Bearbeitung) (1998): „Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands“, in: *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, 55.
- Blab, J. (1993): „Grundlagen des Biotopschutzes für Tiere“, 4. Auflage, in: *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, 24.
- Blume, H.-P., und Pfisterer, U. (2000): „Auswirkungen von Klimaänderungen auf Mikroorganismenaktivität, Energie und Stoffdynamik von Watt- und Marschböden“, Teilvorhaben 5, in: Vagts, I., und Mossakowski, D. (Hg.): *Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten*, Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 01 LK 9613/6.
- Colijin, F., Hötker, H., und Hesse, K.-H. (1998): „Braucht die Wissenschaft Referenzgebiete?“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.*, 2/1998, S. 26–36.
- CWSS (1999): *Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9*, Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group.
- CWSS (2001): *Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No. 13*, Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise, Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat.
- DEKLIM (Internet) *Deutsches Klimaforschungsprogramm* <http://www.dlr.de/PT/Umwelt/F70000/F71000/DEKLIM.htm>.
- Diehl-Christiansen, S., und Christiansen, B. (1999): „Climate patterns and ambient temperatures“, in: de Jong, F., et al. (Hg.): *Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9*, Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group, S. 80–83.

- Dittmann, S. (Hg.) (1999): „ELAWAT – Elastizität des Ökosystems Wattenmeer – Eine Synthese des Projektes“, BMBF-Projekt Wilhelmshaven, Forschungszentrum Terramare.
- Dittmann, S. (Hg.) (1999a): „*The Wadden Sea Ecosystem. Stability Properties and Mechanisms*“, Berlin: Springer-Verlag.
- Essink, K. (1999): „Macrozoobenthos“, in: *Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9*, Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group), S. 137–140.
- Ebenhöh, W., Sterr, H., Simmering, F., und Ahlhorn, F. (1997): *Potentielle Gefährdung und Vulnerabilität der deutschen Nord- und Ostseeküste bei fortschreitendem Klimawandel*, BMBF-Förderkennzeichen 01LK114/8 und 01LK940/0.
- Ehlers, J. (1994): „Geomorphologie und Hydrologie des Wattenmeeres“, in: Lozán, J., Rachor, E., Reise, K., von Westernhagen, H., und Lenz, W. (Hg.): *Warnsignale aus dem Wattenmeer*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, S. 1–11.
- Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hg.) (1991): *Schutz der Erde. Eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik*, Teilband I, Bonn: Economica Verlag und Karlsruhe: Verlag C. F. Müller.
- Finck, P., Klein, M., Rieken, U., und Schröder, E. (1998): „Wege zur Förderung dynamischer Prozesse in der Landschaft“, in: Finck, P., Klein, M., Rieken, U., und Schröder, E. (Hg.): *Schutz und Förderung dynamischer Prozesse in der Landschaft*, Bonn: Bundesamt für Naturschutz, S. 413–424.
- Flemming, B.W., und Mai, S. (1998): „Entwicklung der Ostfriesischen Küste“, in: *Kleine Senckenberg-Reihe*, 29, S. 15–19.
- Flemming, B.W. (1999): „Die Sedimentverteilung im Spiekerooger Watt und der Anstieg des Meeresspiegels“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 2, Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 36f.
- Gätje, C., und Reise, K. (1998): *Ökosystem Wattenmeer. Austausch-, Transport- und Stoffumwandlungsprozesse*, Berlin: Springer-Verlag.
- Gätje, C., Kellermann, A., und Stock, M. (1998): „Vorschlag für ressourcenfreie Kernzonen als Ergebnis der schleswig-holsteinischen Ökosystemforschung“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.*, 2/1998, S. 44–58.
- Graßl, H. (1998): „Szenarien der Klimaveränderungen durch den Menschen – Eine anhaltende Herausforderung für die Wissenschaft“, in: Lozán, J., Graßl, H.,

- und Hupfer, P. (Hg.): *Warnsignal Klima*, Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, S. 11–15.
- Henle, K., und Kaule, G. (Hg.) (1993): „Arten- und Biotopschutzforschung für Deutschland“, in: *Berichte aus der Ökologischen Forschung*, Band 4/1993 (BMFT-Forschungsvorhaben 0339318A), Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Heydemann, B. (1998): „Biologie des Wattenmeeres“, in: Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 1 Nordfriesisches und Dithmarscher Wattenmeer*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 76–79.
- Hofstede, J. (1994): „Meeresspiegelanstieg und Auswirkungen im Bereich des Wattenmeeres“, in: Lozán, J., Rachor, E., Reise, K., von Westernhagen, H., und Lenz, W. (Hg.): *Warnsignale aus dem Wattenmeer*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, S. 17–23.
- Hupfer, P., und Schönwiese, C.-D. (1998): „Zur beobachteten Klimaveränderung im 19. und 20. Jahrhundert: Gefahr im Verzug?“, in: Lozán, J., Graßl, H., und Hupfer, P. (Hg.): *Warnsignal Klima*, Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, S. 99–113.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton, J.T., et al. (Hg.): Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2001a): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, McCarthy, J., et al. (Hg.): Cambridge: Cambridge University Press.
- IUCN (1994): *Richtlinien für Management-Kategorien von Schutzgebieten*, Nationalparkkommission mit Unterstützung des WCMC, IUCN, Gland, Schweiz und Cambridge, Großbritannien, FÖNAD, Grafenau.
- Janßen, W. (2000): „Naturschutz zwischen notwendiger Vision und Planbarkeit“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft deutsche Nordseeküste e.V.*, 1/2000, S. 9–14.
- Jax, K. (1994): „Mosaik-Zyklus und Patch-dynamics: Synonyme oder verschiedene Konzepte? Eine Einladung zur Diskussion“, in: *Ökologie und Naturschutz*, 3/1994, S. 107–112.
- KLIMU (Internet): *Klimaänderung und Unterweserregion*, BMBF-Förderkennzeichen 01LK 9701/8, <http://www.klimu.uni-bremen.de/>.

- KRIM (Internet): *Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste*, BMBF-Forschungsvorhaben, <http://www.krim.uni-bremen.de/>.
- Lozán, J., Rachor, E., Reise, K., von Westernhagen, H., und Lenz, W. (Hg.) (1994): *Warnsignale aus dem Wattenmeer*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag.
- Ludwig, G., und Schnittler, M. (Bearbeiter) (1996) „Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands“, in: *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, 28.
- Nationalparke Wattenmeer (Internet): *Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer*, <http://www.mu.niedersachsen.de/Nationalparke/oekologie.htm>, *Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer*, <http://www.wattenmeernationalpark.de/fresh.htm>, *Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer*, http://www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/duawww/dea8/2c9a_75e2.htm.
- Nehring, S., und Leuchs, H. (1999): *Neozoa (Makrozoobenthos) an der deutschen Nordseeküste – Eine Übersicht*, Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde: BfG-1200.
- Niemeyer, H.D., und Kaiser, R. (1999): „Wasser-Beschaffenheit“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (Hg.): *Umwelatlas Wattenmeer – Band 2. Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 34f.
- Reineck, H.-E. (1982): *Das Watt – Ablagerungs- und Lebensraum*, 3. Auflage, Frankfurt am Main: Verlag von Waldemar Kramer.
- Reise, K. (1995): „Natur im Wandel beim Übergang vom Land zum Meer“, in: Erdmann, K.-H., und Kastenholz, H.-G. (Hg.): *Umwelt- und Naturschutz am Ende des 20. Jahrhunderts*, Stuttgart: Springer-Verlag, S. 127–140.
- Reise, K. (1985): *Tidal Flat ecology*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Reise, K. (1996): „Wattökologische Folgen bei Änderung von Klima und Küste“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.*, 1/1996, S. 31–45.
- Reise, K., und de Jong, F. (1999): „The Tidal Area“, in: de Jong, F., et al. (Hg.): *Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9.*, Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group, S. 187–190.
- Rieken, U., Ries, U., und Ssyman, A. (1994): „Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland“, in: *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, 41.

- Rösner, H.-U. (1998): „Zum Sinn von nutzungsfreien Gebieten im Nationalpark Wattenmeer“, in: *Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.*, 2/1998, S. 59–68.
- Schirmer, M., und Schuchardt, B. (2001): „Assessing the impact of climate change on the Weser estuary region: an interdisciplinary approach“, in: *Climate Research*, Band 18, S. 133–140.
- Scholles, F. (Internet): *Gesellschaftswissenschaftliche Grundlagen – Planungsmethoden – Szenariotechnik*, http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm_Szenario.htm.
- Seiter, W., und Hahn, J. (1998): „Der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt – Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten“, in: Lozán, J., Graßl, H., und Hupfer, P. (Hg.): *Warnsignal Klima*, Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, S. 114–121.
- Sterr, H. (1998): „Auswirkungen auf den Meeresspiegel“, in: Lozán, J., Graßl, H., und Hupfer, P. (Hg.): *Warnsignal Klima*, Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, S. 201–206.
- Stiens, G., (1998): „Prognosen und Szenarien in der räumlichen Planung“, in: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.): *Methoden und Instrumente räumlicher Planung*, S. 113–145.
- Stock, M., et al. (1996): „Ökosystemforschung Wattenmeer – Synthesebericht: Grundlagen für einen Nationalparkplan“, in: *Schriftenreihe des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer*, Heft 8.
- Streif, H. (1996): „Die Entwicklung der Küstenlandschaft und Ästuarie im Eiszeitalter und in der Nacheiszeit“, in: Lozán, J., und Kausch, H. (Hg.): *Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, S. 11–19.
- Streif, H. (1999): „Geologische Küstenentwicklung“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 2. Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 12/13.
- Usher, M.B. (1986): „Erfassen und Bewerten von Lebensräumen: Merkmale, Kriterien, Werte“, in: Usher, M.B., und Erz, W. (Hg.): *Erfassen und Bewerten im Naturschutz*, Heidelberg, Wiesbaden: Quelle und Meyer, S. 17–47.
- Vagts, I. (2000): „Einfluss auf die Vegetation an der Nordseeküste“, Synthesebericht, in: Vagts, I., und Mossakowski, D. (Hg.): *Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten*, Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 01 LK 9613/6, S. 66–74.

- Villbrandt, M., Günther C.-P., und Dittmann, S. (1999): „Protection of Processes in the Wadden Sea“, in: Dittmann, S. (Hg.): *The Wadden Sea Ecosystem. Stability Properties and Mechanisms*, Berlin: Springer-Verlag, S. 281–288.
- von Drachenfels, O. (1994): „Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen“, in: *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen*, Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Heft A/4.
- von Nordheim, H., und Merck, T. (Bearbeitung) (1995): „Rote Liste der Biotoptypen, Tier- und Pflanzenarten des deutschen Wattenmeer- und Nordseebereichs“, in: *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*.
- von Storch, H., Schnur, R., und Zorita, E. (1998): *Szenarien und Beratung. Anwenderorientierte Szenarien für den norddeutschen Küstenbereich*, Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 01 LK9510/0.
- Weidemann, G., Müller-Motzfeld, G., und Dormann, W. (2000): „Szenarien möglicher Entwicklungen von Salzwiesen- und Dünen-Ökosystemen“, Synthesebericht, in: Vagts, I., und Mossakowski, D. (Hg.): *Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten*, Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 01 LK 9613/6, S. 166–174.
- Zander, R. (1999): „Zielsetzungen und Instrumente des Naturschutzes im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer“, in: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (Hg.): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 2. Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*, Stuttgart: Umweltbundesamt, Ulmer, S. 164f.

Tomas Feseker

Zwischen Süß- und Salzwasser – der Grundwasserhaushalt an der Küste

1 Einleitung

Die Küstenregionen stellen einzigartige Lebens- und Wirtschaftsräume dar, die zu den am dichtesten besiedelten und meist genutzten Regionen der Erde gehören. Im Jahr 1994 lebten ungefähr 37 Prozent der Weltbevölkerung innerhalb eines 100 Kilometer breiten Streifens entlang der Küstenlinien (Cohen et al., 1997). Nach Untersuchungen von Costanza et al. (1997) machen die Küsten rund ein Drittel des Gesamtwerts der Ökosysteme auf der Erde aus. Um diesen Lebensraum auch für nachfolgende Generationen zu erhalten, ist es von größter Bedeutung, dass seine Ressourcen nachhaltig genutzt werden.

Das Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel des Menschen und wird in Norddeutschland fast ausschließlich aus Grundwasser gewonnen. In der Küstenregion trifft das süße Grundwasser auf Salzwasser, das sich vom Meer her in den festländischen Untergrund ausbreitet. Bei übermäßiger Grundwasserentnahme besteht die Gefahr, dass Teile des Grundwasservorrats versalzen und damit unbrauchbar werden. Klimaänderungen drohen diese Gefahr durch ihren Einfluss auf den Grundwasserhaushalt noch zu verschärfen. Um das Verständnis dieses komplexen Systems zu erleichtern, sollen im folgenden zunächst einige Grundlagen der Hydrogeologie erläutert werden. Nach einer Beschreibung der geologischen Entwicklung der norddeutschen Küstenregion während der jüngeren Erdgeschichte werden die wichtigsten Elemente und Prozesse im Grundwasserhaushalt dargestellt. Abschließend wird erörtert, welchen Einfluss das Klima und der Mensch auf den Grundwasserhaushalt an der Küste ausüben.

2 Hydrogeologische Grundlagen

2.1 Das Gesetz von Darcy

Im Jahr 1856 führte der französische Wasserbauingenieur Henry Darcy (1803 bis 1858) erstmals exakte Versuche zur Wasserströmung durch poröse Medien durch. Dabei ließ er Wasser durch verschiedene mit Sediment gefüllte Glasröhren strömen und stellte fest, dass der Durchfluss proportional zum Querschnitt der Röhre und zum Druckunterschied zwischen den Enden sowie umgekehrt proportional zur Länge der Röhre ist. Eine schematische Darstellung des von Darcy verwendeten Versuchsaufbaus zeigt *Abbildung 1*. Aus seinen Versuchsergebnissen leitete Darcy folgende Beziehung ab, die heute als Gesetz von Darcy bekannt ist:

$$Q = k_f A (\Delta h / l)$$

Wobei Q = Fluss durch die Röhre, k_f = Durchlässigkeitsbeiwert, Δh = Druckspiegeldifferenz zwischen den Enden der Röhre und l = Länge des Fließwegs ist.

Der Quotient aus der Druckspiegeldifferenz und der Länge des Fließwegs wird als hydraulischer Gradient bezeichnet. Er entspricht dem Gefälle des Flussbetts bei einem Oberflächengewässer und ist die notwendige Voraussetzung dafür, dass Grundwasser fließt. Zwischen zwei Punkten gleicher Druckspiegelhöhe bewegt sich Grundwasser genauso wenig, wie Oberflächengewässer zwischen zwei Orten auf gleicher Höhenlage fließen.

Der Proportionalitätsfaktor im Gesetz von Darcy ist der Durchlässigkeitsbeiwert, der meist mit k_f abgekürzt wird. Er hängt sowohl von den Eigenschaften des durchströmten porösen Mediums als auch von der strömenden Flüssigkeit ab. Wenn es sich ausschließlich um Wasser mit konstanter Dichte und Temperatur handelt, so kann der Durchlässigkeitsbeiwert als Materialeigenschaft des Sediments aufgefasst werden. Dabei haben feinkörnige, dichte Ablagerungen wie Ton im allgemeinen einen geringeren Durchlässigkeitsbeiwert als gröbere Sedimente wie Sand. Je größer der Durchlässigkeitsbeiwert, desto schneller kann Wasser durch das Material strömen.

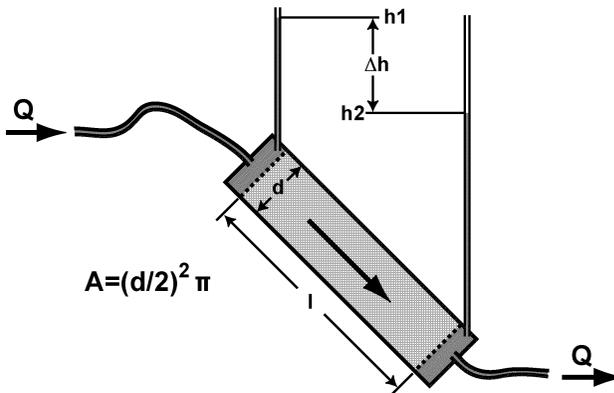


Abb. 1: Der Darcy-Versuch. Der Versuchsaufbau, den Henry Darcy im Jahre 1856 verwendet hat, um die Wasserströmung durch poröse Medien zu untersuchen, ist hier schematisch dargestellt. Darcy füllte Röhren von unterschiedlicher Länge und unterschiedlichem Durchmesser (d) mit verschiedenen Sedimenten und ließ anschließend Wasser durch die Röhren strömen. Mit diesen Experimenten konnte er zeigen, dass der Durchfluss (Q) proportional zum durchströmten Querschnitt der Röhre (A) und zur Druckspiegeldifferenz (Δh), sowie umgekehrt proportional zur Länge des Fließwegs (l) ist.

2.2 Die Ghyben-Herzberg Beziehung

Charakteristisch für den Grundwasserhaushalt im Küstenbereich ist das Vordringen salzigen Grundwassers vom Meer her landwärts in den Grundwasserleiter. Aufgrund des Dichteunterschieds zwischen süßem und salzigem Wasser erfährt das leichtere Süßwasser dabei einen Auftrieb und schwimmt ganz ähnlich wie ein Eisberg auf dem Salzwasser. Zum ersten Mal wurde salziges Grundwasser vor über einem Jahrhundert von Badon Ghyben (1889) bei Bohrungen in der Nähe von Amsterdam beschrieben. Wenige Jahre später beschrieb Herzberg (1901) bei Arbeiten im Bereich der deutschen Nordseeküste ebenfalls Salzwasser im Untergrund. Beide stellten unabhängig voneinander eine Gleichung auf, welche die Tiefe der Süß-/Salzwasser-grenze unter dem Meeresspiegel mit der Höhe des Süßwasserspiegels über dem Meeresspiegel in Beziehung setzt:

$$h_s = \rho_f / (\rho_s - \rho_f) h_f$$

Wobei h_s = Tiefe der Süß-/Salzwassergrenze unter dem Meeresspiegel, h_f = Höhe des Süßwasserdruckspiegels über dem Meeresspiegel, ρ_s = Dichte des Salzwassers und ρ_f = Dichte des Süßwasser ist.

Diese Beziehung, die heute als Ghyben-Herzberg-Gleichung bekannt ist, ist in *Abbildung 2* dargestellt. Mit einer Süßwasserdichte von $\rho_f = 1\,000$ Kilogramm pro Kubikmeter und einer mittleren Dichte des salzigen Meerwassers von $\rho_s = 1\,025$ Kilogramm pro Kubikmeter ergibt sich $h_s = 40 h_f$. Das bedeutet, dass in beliebiger Entfernung von der Küste die Tiefe der Süß-/Salzwassergrenze unter dem Meeresspiegel das Vierzigfache der Höhe des Süßwasserdruckspiegels über dem Meeresspiegel beträgt. Dies gilt jedoch nur, sofern keine vertikalen Strömungen auftreten.

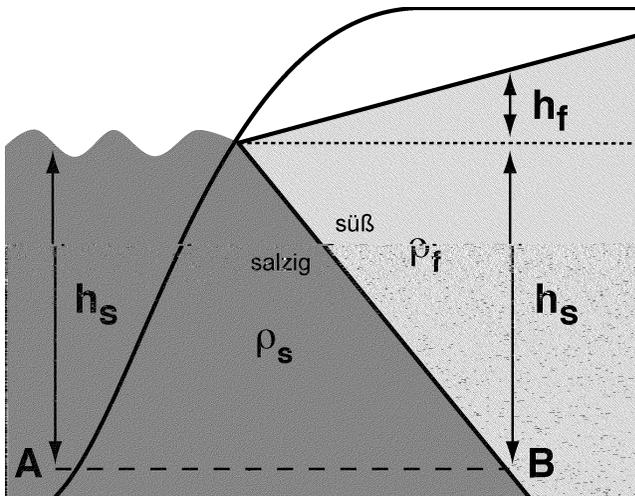


Abb. 2: Die Ghyben-Herzberg-Beziehung. Aufgrund der Kontinuität muss der hydrostatische Druck an den Punkten A und B gleich sein. Da Salzwasser eine höhere Dichte als Süßwasser hat, unterscheiden sich jedoch die entsprechenden Druckspiegelhöhen. Aus dem Dichteunterschied zwischen Süßwasser und Meerwasser mit mittlerem Salzgehalt (ρ_f , ρ_s) lässt sich berechnen, dass die Höhe des Süßwasserdruckspiegels über dem Meeresspiegel (h_f) ein Vierzigstel der Tiefe der Süß-/Salzwassergrenze unter dem Meeresspiegel (h_s) beträgt. Diese Beziehung wird durch die Ghyben-Herzberg-Gleichung beschrieben.

2.3 Wasserhaushaltsberechnungen

Bei der Bilanzierung des Wasserhaushalts wird davon ausgegangen, dass alles Wasser auf der Erde an einem fortwährenden Kreislauf teilnimmt. Das bedeutet, dass für längere Betrachtungszeiträume keine Vorratsänderungen berücksichtigt werden müssen. In der globalen Bilanz sind langfristig Niederschlag und Verdunstung ausgeglichen, regional besteht ein Gleichgewicht zwischen Niederschlag und anderen Zuflüssen einerseits sowie Verdunstung und sonstigen Abflüssen andererseits. Eine einfache Form der Wasserbilanzgleichung eines begrenzten Gebiets für einen längeren Zeitraum lautet dann:

$$P = ET + S + R$$

Wobei P = Niederschlag, ET = Evapotranspiration (Verdunstung plus Interzeption), S = Abfluss und R = Grundwasserneubildung ist.

Die Evapotranspiration ET umfasst dabei sowohl die Verdunstung aus offenen Gewässern als auch die Interzeption und Transpiration durch Pflanzen. Mit dem Element Abfluss wurden hier der Abfluss an der Erdoberfläche und der unterirdische Abfluss, der nicht in die Grundwasserneubildung eingeht, zusammengefasst. Innerhalb des betrachteten Gebiets verteilt sich der Niederschlag demnach langfristig auf Evapotranspiration, Abfluss und Grundwasserneubildung. Im Gegensatz zu den anderen Elementen der Bilanzgleichung kann die Grundwasserneubildung nur sehr schwierig und ungenau direkt gemessen werden. Aus diesem Grund wird häufig die Bilanzgleichung verwendet, um die Grundwasserneubildung zu bestimmen, indem Evapotranspiration und Abfluss vom Niederschlag subtrahiert werden. Soll das Grundwasser im Zentrum der Untersuchung stehen, so lässt sich analog zur Wasserbilanzgleichung eine Grundwasserbilanzgleichung aufstellen, die beschreibt, wie sich die Grundwasserneubildung auf Evapotranspiration aus dem Grundwasser, Grundwasserabfluss und Entnahme verteilt:

$$R = ET_G + S_G + W$$

Wobei ET_G = Evapotranspiration aus dem Grundwasser, S_G = Grundwasserabfluss und W = Grundwasserentnahme ist.

3 Geologie der Küstenregion

Im folgenden soll kurz die Entwicklung der nordwestdeutschen Küstenregion während der jüngeren Erdgeschichte und der daraus resultierende geologische Aufbau skizziert werden. Eingehendere Beschreibungen finden sich unter anderem bei Streif (1990) und Sindowski (1979).

Während der Elster-Kaltzeit dehnten sich die Eismassen aus Skandinavien bis weit nach Niedersachsen aus. Große Teile des norddeutschen Flachlands waren von Gletschern bedeckt, und unter dem Eis erodierte das Schmelzwasser tiefe Rinnen in den Untergrund. An der Basis dieser Rinnen lagerten sich zunächst grobe, überwiegend aus Kies und Sand zusammengesetzte Schmelzwassersedimente ab. Mit der ausgehenden Eiszeit wurden die Wassermengen weniger und die Strömungsgeschwindigkeiten geringer, so dass feinkörnigere Sedimente zur Ablagerung kamen. In den Teilen des Rinnensystems, die nach dem Rückzug des Eises noch nicht vollständig verfüllt waren, entstanden durch Schmelzwasserbäche gespeiste Binnenseen. In diesen Seen lagerten sich sehr feinkörnige Stillwassersedimente ab, die im Elbe-Weser-Raum als Lauenburger Ton bezeichnet werden und den Abschluss der Rinnenfüllungen bilden.

Im frühen Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit drang das Eis dann erneut bis an den Rand der deutschen Mittelgebirge vor und lagerte Moränen ab. In der folgenden Weichsel-Kaltzeit breiteten sich die Gletscher nur bis in den Osten Schleswig-Holsteins aus, während Ostfriesland eisfrei blieb. Deshalb blieben die saalezeitlichen Moränen erhalten und bilden heute die meist bewaldeten Geestrücken, die als Höhenzüge das norddeutsche Tiefland prägen.

Als Folge der Klimaerwärmung zum Ende der Weichselkaltzeit setzte mit dem Schmelzen der Eismassen ein Meeresspiegelanstieg ein, der über das gesamte Holozän andauerte und sich bis heute fortsetzt.

Streif (1990) geht davon aus, dass der Meeresspiegel vor 18 000 Jahren etwa 110 bis 130 Meter tiefer gelegen habe als heute. Die Küstenlinie verlief damals nördlich der Doggerbank. Bohrungen am Nordseegrund nördlich von Wangerooge (Hanisch 1980) weisen darauf hin, dass die heutige Küstenregion mit den ostfriesischen Inseln, Watten und Marschen erst vor weniger als 7 500 Jahren entstanden sind. Durch den Anstieg des Meeresspiegels wurden vorher trockene Gebiete zunächst zu Feuchtgebieten mit Mooren und Seen, in denen Torfe und Mudden entstanden, welche die Basis der holozänen Sedimentfolge in der Küstenregion bildeten. Später wurden die Feuchtgebiete überflutet und die basalen Torfe mit Brackwasserablagerungen, Wattsedimenten und marinen Sanden überdeckt.

Wenn der Meeresspiegel eine Zeit lang stagnierte oder sogar für kurze Zeit wieder sank, konnten auf den Wattsedimenten wiederum Torfe entstehen, die als sogenannte „schwimmende Torfe“ in die holozäne Sedimentfolge eingeschaltet wurden.

Abbildung 3 zeigt einen schematischen Profilschnitt senkrecht zur Küstenlinie von der Geest bis hinter die Inseln in die offene Nordsee. Die Geestrücker überragen die ansonsten sehr flache, ebene Landschaft meist um etwa 20 bis 30 Meter. Weite Teile der Marschgebiete liegen auf Höhe des Meeresspiegels und zum Teil sogar darunter. Der Schnitt zeigt, dass sich die eiszeitlichen Ablagerungen, aus denen die Geestrücker aufgebaut sind, im Untergrund bis unter die Nordsee fortsetzen. Im Bereich zwischen der Geest und den Inseln ist das Pleistozän von Sedimenten überdeckt, die beim Meeresspiegelanstieg seit dem Ende der letzten Eiszeit abgelagert wurden. Die Basis dieser Abfolge bildet meist der Basaltorf, der in Feuchtgebieten in unmittelbarer Nähe der Küste entstanden ist. Er wird überlagert von Brackwasser- und Wattsedimenten, Dünen sanden und marinen Sanden, die den weiteren Anstieg des Meeresspiegels anzeigen. Vielerorts werden die Schichten durch Rinnensedimente unterbrochen.

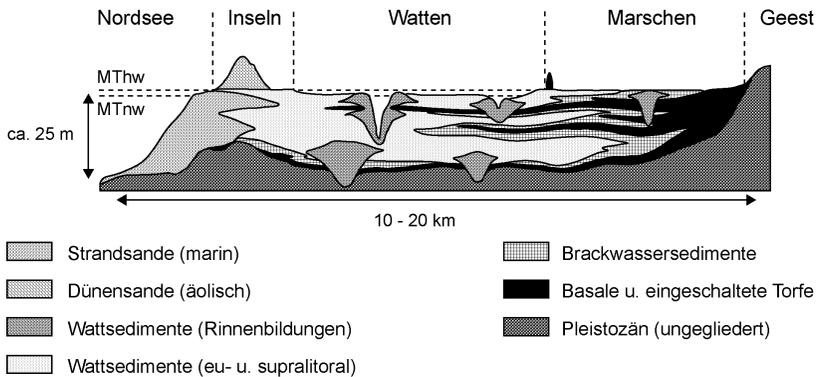


Abb. 3: Schematischer geologischer Profilschnitt (geändert nach Streif 1998). Der Schnitt senkrecht zur Küstenlinie zeigt, dass die Geestrücker aus pleistozänen Sedimenten bestehen, die sich im Untergrund bis unter die Nordsee fortsetzen. Diese Ablagerungen weisen in der Regel eine gute Durchlässigkeit auf und bilden deshalb im Bereich des Festlands den wichtigen oberen Grundwasserleiter. Mit dem Meeresspiegelanstieg während des Holozäns bildeten sich zunächst Torfe, später kamen Brackwassersedimente, Wattersedimente sowie Strand- und Dünensande zur Ablagerung, die den Grundwasserleiter nach oben hin abschließen.

4 Der Grundwasserhaushalt der Küstenregion

In den norddeutschen Küstengebieten erfolgt die Grundwasserneubildung hauptsächlich im Bereich der Geest. Der Untergrund ist dort meist sandig und der Flurabstand größer als in der Marsch, so dass die Niederschläge rascher versickern. Von den Geestrücker aus fließt das Grundwasser in Richtung Küste und sinkt teilweise bis tief in die tertiären Schichten ab. Aus der Gegenrichtung dringt zugleich salziges Meerwasser in den Grundwasserleiter ein, unterströmt keilförmig das süße Grundwasser und drängt es wieder nach oben. Je nach Durchlässigkeit und Porosität des Grundwasserleiters bildet sich dabei eine mehr oder weniger breite Übergangszone zwischen süßem und salzigem Grundwasser aus. Bei Niedrigwasser lassen sich an vielen Stellen im Watt kleine Süßwasserquellen beobachten, in denen das aufwärts gedrängte süße Grundwasser austritt.

In den Marschgebieten findet Grundwasserneubildung nur in sehr geringem Umfang statt. Der feinkörnige, oft bindige Boden und der

geringe Flurabstand führen dazu, dass der oberirdische Abfluss in die Entwässerungsgräben dominiert. Während ein Teil des Grundwasservorrats zur Trink- und Brauchwassergewinnung gefördert wird, fließt ein weiterer Teil in die Oberflächenentwässerung. Aufgrund der sehr niedrigen Höhenlage der Marschbereiche entsteht zwischen dem Grundwasserleiter und den Entwässerungsgräben ein hydraulischer Gradient, der dazu führt, dass die Gräben zusätzlich zum Oberflächenabfluss auch Grundwasser aufnehmen, das aus den oberen Schichten des pleistozänen Grundwasserleiters in die Gräben aufsteigt. In welchem Ausmaß und wie schnell das Grundwasser in die Gräben strömt, ist dabei von der Mächtigkeit und Durchlässigkeit der holozänen Deckschichten abhängig, welche die Gräben vom oberen Grundwasserleiter trennen. Wie groß die Grundwasserentnahme durch Entwässerungssysteme genau ist, lässt sich nur schwer bestimmen und ist für den norddeutschen Raum bislang unbekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in einigen Gebieten zeitweise ähnliche Größenordnungen wie bei der Trinkwasserförderung erreicht werden. *Abbildung 4* zeigt den Weg des Grundwassers von den Geestrücken in die Marsch und zur Nordsee.

Bear und Verruit (1987) zeigen, dass eine Beziehung zwischen der Reichweite der Salzwasserintrusion und dem Grundwasserabstrom zum Meer hin besteht: Je weniger süßes Grundwasser in Richtung Meer fließt, desto weiter dringt das Salzwasser in den Grundwasserleiter ein. Erhöht sich dagegen der Grundwasserabstrom, so wird das Salzwasser im Untergrund zurückgedrängt. Für die Bewirtschaftung der Grundwasservorräte im Küstenbereich bedeutet dies, dass durch die Überwachung und Regelung des Grundwasserabstroms ins Meer gesteuert werden kann, wie weit sich das Salzwasser im Untergrund des Festlands ausbreitet. Je mehr Grundwasser zur Trinkwassergewinnung oder als Folge von Oberflächenentwässerung aus dem Grundwasserleiter entnommen wird, desto weiter kann sich das Salzwasser ausbreiten. Da mit einer stärkeren Salzwasserintrusion nach der Ghyben-Herzberg-Gleichung zugleich ein Anstieg der Grenze zwischen salzigem und süßem Grundwasser verbunden ist, folgt daraus auch eine Reduktion des nutzbaren Vorrats an süßem Grundwasser.

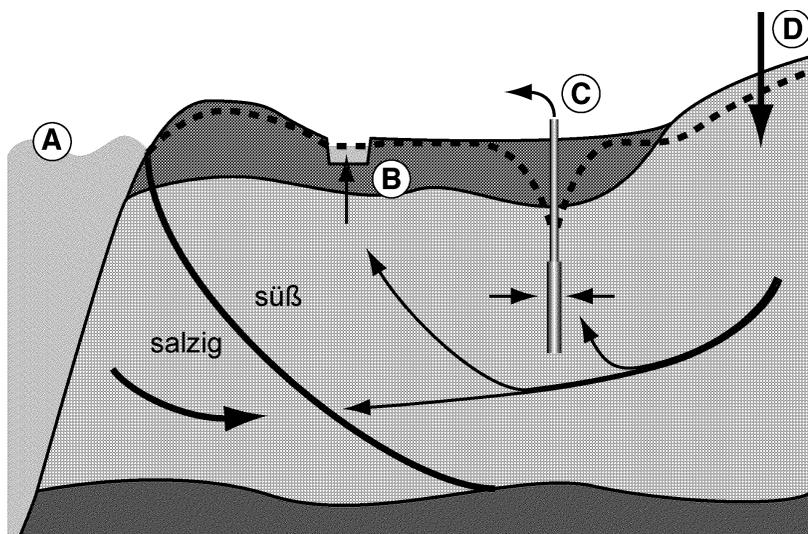


Abb. 4: Der Grundwasserhaushalt an der Küste. Die Pfeile deuten den Weg des Grundwassers von der Neubildung im Bereich der Geestrücken bis zum Meer hin an. Ein Teil des Grundwassers wird zur Trink- und Brauchwassergewinnung gefördert, ein weiterer Teil wird durch Entwässerungsmaßnahmen aus dem Grundwasserleiter entnommen. Das verbleibende Grundwasser strömt zur Nordsee; die Menge dieses Abstroms steuert zugleich das Eindringen von Salzwasser in umgekehrter Richtung.

5 Mensch – Klima – Grundwasser

Eine direkte Verbindung zwischen Klima und Grundwasserhaushalt stellt die Grundwasserneubildung dar. Wenn sich die Temperaturen, die Luftfeuchtigkeit, die Niederschlagshäufigkeit oder die Niederschlagsintensität im Mittel ändern, so wird dies eine Veränderung der mittleren Grundwasserneubildungsrate nach sich ziehen. Ausgehend von den für die nahe Zukunft prognostizierten Klimaszenarien können Aussagen über zu erwartende Grundwasserneubildungsraten getroffen werden. Analysen der langjährigen Trends der Sommer- und Winter-niederschläge (zum Beispiel Becker und Lahmer 1996) zeigen deutlich, dass die Sommermonate immer trockener werden und die Niederschlagsmengen im Winter zunehmen, wobei die Summe der Jahresniederschläge etwa gleich bleibt. Zudem wird eine Zunahme

der Häufigkeit extremer Witterungslagen wie Trockenperioden oder Starkniederschlägen sowie ein Temperaturanstieg von mindestens 1,5 Grad Celsius bis zum Jahr 2050 erwartet. Dabei bedeutet mehr Niederschlag nicht unbedingt eine Erhöhung der Grundwasserneubildung: Wenn bei gleichbleibender Niederschlagshäufigkeit die Niederschlagsintensität zunimmt, erhöht sich in erster Linie der Oberflächenabfluss, während die Neubildungsrate unverändert bleibt oder sogar sinkt.

Des Weiteren besteht speziell im Küstenbereich durch Meeresspiegelschwankungen eine indirekte Wirkung des Klimas auf den Grundwasserhaushalt. Grundsätzlich rufen Klimaerwärmungen auf zwei Arten einen Anstieg des Meeresspiegels hervor: Zum einen verringert sich die Wassermenge, die als Eis in den Polkappen und Gletschern festgelegt ist. Das Schmelzwasser sammelt sich in den Ozeanen und lässt so den Meeresspiegel ansteigen. Zum anderen führt die globale Erwärmung dazu, dass auch die Ozeane insgesamt wärmer werden, sich thermisch ausdehnen und ein größeres Volumen einnehmen. Als Folge des Meeresspiegelanstiegs ist damit zu rechnen, dass sich Salzwasserintrusionen weiter ausbreiten und den im Küstenraum zur Verfügung stehenden nutzbaren Grundwasservorrat reduzieren. Darüber hinaus würde sich mit einer Meeresspiegeländerung zugleich auch die Höhe der Grundwasseroberfläche ändern, sofern diese Änderung nicht durch Grabensysteme an der Geländeoberfläche kompensiert wird.

Neben langfristigen Meeresspiegeländerungen nehmen die Gezeiten Einfluss auf den Grundwasserhaushalt im Küstenbereich, da sich Ebbe und Flut als Druckwelle zwar stark gedämpft aber dennoch messbar im Grundwasserleiter fortpflanzen. Wenn sich als Folge von Klimaänderungen der Tidehub an der Küste ändert, verändern sich damit nicht nur die Bedingungen für die Entwässerungssysteme, die zu einem großen Teil gezeitenabhängig sind, sondern auch die Strömungsverhältnisse im küstennahen Grundwasserleiter.

Grundwasservorräte werden durch den Menschen genutzt, um Trink- und Brauchwasser zu gewinnen. Die Entwicklung der jährlichen För-

dermengen steht dabei in engem Zusammenhang mit der Bevölkerungs- und Industrieentwicklung in der Küstenregion. *Abbildung 5* zeigt jährliche Fördermengen der Stadtwerke Cuxhaven aus der Zeit von 1899 bis 1996. Bis 1979 stieg die geförderte Wassermenge stetig an. Besonders groß war die Zunahme zwischen 1929 und 1949, denn in dieser Zeit verdreifachte sich die Fördermenge. Im Jahr 1979 war die Fördermenge mit rund 5,8 Millionen Kubikmetern pro Jahr maximal, danach nahm die Menge des geförderten Wassers wieder ab, bis im Jahr 1996 wieder in etwa der Stand der frühen 1950er Jahre erreicht wurde. Nach Kahle (1998) hat dieser Rückgang des Wasserverbrauchs in jüngerer Zeit vielfältige Ursachen: Zum einen war in dieser Zeit eine stetige Abnahme der Einwohnerzahl zu verzeichnen. Der Verbrauch der Haushalte und kleinen Gewerbebetriebe wurde aus ökologischen und finanziellen Gründen reduziert. Des Weiteren hat der Strukturwandel der Industrie einen beträchtlichen Anteil am Rückgang des Verbrauchs, und der Schiffsverbrauch, der durch die Stadtwerke Cuxhaven abgedeckt wird, ging in diesen Jahren auf knapp ein Drittel zurück.

Nicht nur die langfristige Entwicklung der jährlichen Fördermengen, sondern auch die Verteilung der Fördermengen im Jahresverlauf muss verfolgt werden, um Aussagen über die künftigen Anforderungen an die Grundwasservorräte treffen zu können. Vielerorts nimmt die während der Sommermonate Bevölkerung durch den Tourismus um ein Vielfaches der ganzjährigen Einwohnerzahl zu. Entsprechend steigt saisonal der Wasserbedarf in der Küstenregion: Der tägliche Wasserbedarf im Versorgungsbereich der Stadtwerke Cuxhaven schwankt zwischen einem Minimum (alljährlich am ersten Weihnachtstag) von rund 5 500 Kubikmetern und einem Maximalwert von ca. 16 000 Kubikmetern (an Montagen in den Sommermonaten), während der durchschnittliche Tagesverbrauch in Cuxhaven etwa 11.500 Kubikmeter beträgt (Kahle, 1998).

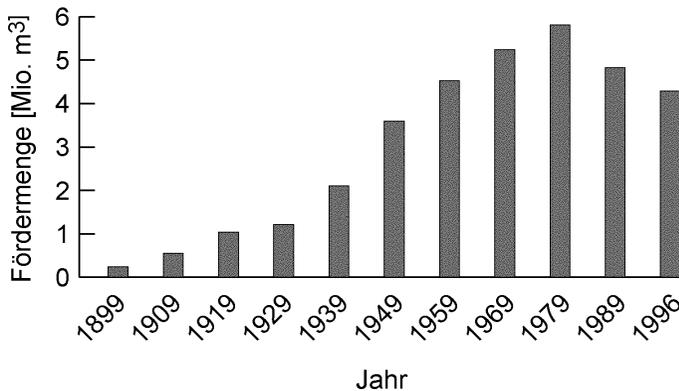


Abb. 5: Grundwasserförderung der Stadtwerke Cuxhaven von 1899 bis 1996 (Datengrundlage: Kahle 1998). Der Rückgang der jährlich geförderten Wassermenge seit 1979 lässt sich nach Kahle (1998) auf verschiedenen Gründe zurückführen: Die Einwohnerzahl hat in dieser Zeit stetig abgenommen. Private Haushalte und kleine Gewerbebetriebe reduzierten aus finanziellen oder ökologischen Gründen ihren Verbrauch. Die Industrie unterlag einem Strukturwandel, und der Schiffsverbrauch in Cuxhaven reduzierte sich auf knapp ein Drittel.

Viele Gebiete in der norddeutschen Küstenregion können nur durch Entwässerungssysteme als Bauland erschlossen oder landwirtschaftlich nutzbar gemacht werden. Grabensysteme mit Sielanlagen und Schöpfwerken ermöglichen, dass das Niederschlagswasser rasch entfernt und ins Meer geleitet werden kann. Die Grabenwasserstände werden künstlich auf einem sehr niedrigen Niveau gehalten, das meist unter der natürlichen Grundwasseroberfläche liegt. Als Folge nehmen die Gräben zusätzlich zum Niederschlagswasser Grundwasser auf und sorgen so durch eine flächenhafte Absenkung der Grundwasseroberfläche für eine Vergrößerung des Flurabstands. Die gewünschte Absenkung richtet sich dabei nach der Art der Landnutzung. Für Weideflächen reicht ein relativ geringer Flurabstand aus, Ackerflächen und Bauland erfordern dagegen größere Absenkungen. Je niedriger die Grabenwasserstände gehalten werden, desto mehr Grundwasser wird bei der Entwässerung entnommen. Darüber hinaus hat die Beschaffenheit der Erdoberfläche großen Einfluss auf die Grundwasserneu-

bildung. Besonders gravierend sind die Effekte einer zunehmenden Oberflächenversiegelung als Folge von Bebauung.

6 Zusammenfassung

Das Grundwasser an der Küste ist in ein komplexes System eingebunden, in dem sowohl das Klima als auch der Mensch eine wichtige Rolle spielen. Klimaänderungen beeinflussen die Höhe des Meeresspiegels und die Grundwasserneubildung und haben dadurch Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt. Der Mensch nutzt das Grundwasser zur Trink- und Brauchwassergewinnung und verringert zusätzlich durch Entwässerungsmaßnahmen die Menge des verfügbaren süßen Grundwassers. Bei übermäßiger Grundwasserentnahme droht die Gefahr, dass wichtige Teile des Grundwasservorrats versalzen. Um eine nachhaltige Nutzung der Grundwasservorräte der Küstenregion zu gewährleisten, muss untersucht werden, welche Folgen zu erwartende Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt haben werden und welche Anforderungen und Bedürfnisse der Bevölkerung es in Zukunft zu berücksichtigen gilt. Die Grundwasserförderung durch Wasserwerke muss mit den Entwässerungsmaßnahmen in der Region abgestimmt werden, damit eine zu große Gesamtentnahme vermieden wird. Trinkwasserbrunnen in unmittelbarer Küstennähe können ins Landesinnere verlegt werden, um einer drohenden Versalzung vorzubeugen. Darüber hinaus kann durch Grundwasseranreicherung im Küstenbereich der Grundwasserabstrom in Richtung Meer künstlich erhöht und dadurch die Salzwasserintrusion zurückgedrängt werden. Anstatt die Gräben vollständig über Sielanlagen und Schöpfwerke ins Meer zu entwässern, könnte ein Teil des Wassers mit Hilfe von Injektionsbrunnen an anderer Stelle dem Grundwasserleiter wieder zugeführt werden.

Literatur

- Badon Ghyben, W. und Drabbe, J. (1889): „Nota in verband met de voorgenomen nabij Amsterdam“, in: *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs*, 1888-1889, S. 8-22.
- Becker, A. und Lahmer, W. (1996): „Klimawandel und seine Auswirkungen auf den Wasserhaushalt“, in: *gwf*, 137, Nr. 14, S. 40-50.
- Cohen, J.E., Small, C., Mellinger, A., Gallup, J. und Sachs, J. (1997): „Estimates of Coastal Populations“, in: *Science*, 278 (2), S. 1211-1212.
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. und van den Belt, M. (1997): „The value of the world’s ecosystem services and natural capital“, in: *Nature*, 387, S. 253-260.
- Darcy, H. (1856): „Détermination des lois d’écoulement de l’eau à travers le sable“, in: *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, S. 590-594, Paris, Victor Dalmont. (nachgedruckt in: Hubbert, M.K. (1969): *The Theory of Ground-Water Motion and Related Papers*, Hafner Publishing Company: New York, London).
- Hanisch, J. (1980): „Neue Meeresspiegeldaten aus dem Raum Wangerooge“, in: *Eiszeitalter und Gegenwart*, 30, S. 221-228, Hannover.
- Herzberg, A. (1901): „Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder“, in: *Z. Gasbeleucht. Wasserversorg.*, 44, S. 815-819, und 45, S. 842-844.
- Kahle, H.-J. (1998): „... das allerbeste aber ein gesundes Wasser!“ – *Die Geschichte der Wasserversorgung in Cuxhaven*, Heidsiek: Cuxhaven.
- Streif, H. (1990): „Das ostfriesische Küstengebiet – Inseln, Watten und Marschen“, in: *Sammlung Geologischer Führer*, 57, Bornträger: Berlin, Stuttgart.
- Streif, H. (1998): „Die Geologische Küstenkarte von Niedersachsen 1:25000 – eine neue Planungsgrundlage für die Küstenregion“, in: *Z. angew. Geol.*, 44(4), S. 183-194.
- Sindowski, K.-H. (1979): „Zwischen Jadebusen und Unterelbe“, in: *Sammlung Geologischer Führer*, 66, Bornträger: Berlin, Stuttgart.

Jens Dannenberg

Die Vermessung des Wattenmeeres– eine dynamische Landschaft wird kartiert

1 Einleitung

Das Wattenmeer entlang der Nordseeküste der Niederlande, Deutschlands und Dänemarks ist ein vielfältiger, ökologisch wertvoller Naturraum, dessen Erscheinungsbild durch den Wechsel der Gezeiten geprägt ist. Zahlreiche Tier- und Pflanzenarten haben sich den besonderen Lebensbedingungen in der Gezeitenzone angepasst und bilden eine einzigartige Lebensgemeinschaft. Die ökologische Bedeutung dieses Gebiets ist nicht auf die Küstenregion selbst beschränkt. Viele Zugvogelarten Nordeuropas machen hier Rast und nutzen das reichhaltige Nahrungsangebot. Darüber hinaus ist das Watt ein wichtiger Laichplatz für einige Fischarten der Nordsee. Jede Schädigung oder Beeinträchtigung dieses Lebensraums hätte daher Auswirkungen, die weit über die Grenzen des Wattenmeers hinausreichen.

Neben seiner Bedeutung für die Tier- und Pflanzenwelt der Nordseeküste wird die Region durch den Menschen intensiv genutzt. Durch seine Lage an der Küste eines dicht besiedelten Industriestaats ist das Wattenmeer einer ganzen Reihe von menschlichen Eingriffen ausgesetzt. So erfordern insbesondere die Seeschifffahrt und der Küstenschutz oft umfangreiche Baumaßnahmen, die das empfindliche natürliche Gleichgewicht stören.

Außerdem verbinden zahlreiche Pipelines und Stromleitungen die Inseln sowie die Förderplattformen in der Nordsee mit dem Festland. Viele dieser Leitungen mussten durch das Wattgebiet verlegt werden, eine Entwicklung, die noch nicht abgeschlossen ist. So müssen die geplanten Offshore-Windanlagen in der Deutschen Bucht ebenfalls mit den Stromnetz des Festlands verbunden werden. Nicht zuletzt ist

der Tourismus an der Küste ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor, der zu einer nicht unerheblichen Belastung der Natur führt. Um den Umweltschutz mit diesen und anderen wirtschaftlichen Interessen in Einklang zu bringen, wurden weite Teile des deutschen Wattenmeeres 1985/86 zum Nationalpark erklärt.

Für die Überwachung des Nationalparks und eine möglichst schonende Nutzung des Gebiets sind präzise topographische Karten eine wesentliche Voraussetzung. Sie dienen nicht nur zur Navigation, sondern sind Planungsgrundlage für Baumaßnahmen, Grundlage für Notfallpläne (zum Beispiel bei einem Schiffsunglück oder der Rettung von gefährdeten Wattwanderern) und ermöglichen die Beobachtung von Veränderungen des Gebietes.

Die Beschaffung der Messdaten für diese Karten ist eine schwierige und aufwendige Aufgabe, die mit großen Kosten verbunden ist. Das gesamte Gebiet hat eine Größe von etwa 13 500 Quadratkilometern, von denen rund 60 Prozent auf deutschem Staatsgebiet liegen (Definition der Trilateral Waddensea Cooperation, 2002). Etwa die Hälfte der Gesamtfläche entfällt auf den sogenannten „Intertidalbereich“. Dieses ausgedehnte System von Inseln, Sänden, Prielen und Wattflächen ist auch durch moderne Vermessungsmethoden nur schwer zu erfassen – ein Problem, das sich laufend neu stellt, denn durch den Einfluss von Wind, Wellen und Gezeiten verändert sich das Erscheinungsbild des Wattenmeeres ständig, was eine laufende Aktualisierung des Kartenmaterials erfordert.

Die Größenordnung dieser Veränderung lässt sich am Beispiel der Insel Scharhörn demonstrieren. Der in *Abbildung 1* gezeigten Karte ist zu entnehmen, dass sich die Lage der Insel auch innerhalb weniger Jahre beträchtlich verändert (Umweltbehörde Hamburg, 2001). Eindrucksvoll ist zum Beispiel die Verlagerung der Ostseite der Insel in den Jahren 1992 bis 1997 um mehr als 200 Meter.

Das Ausmaß der Verlagerung von Scharhörn ist typisch für das Wattenmeer und nicht auf die Inseln beschränkt. Die Lage der Sände und Wattflächen sowie der Verlauf von Prielen sind ebenfalls hoch variabel. Oft reichen schon einige wenige stürmische Winterwochen

aus, um die Topographie großer Gebiete zu verändern. So werden jedes Jahr Tausende von Kubikmetern Sand aufgespült, um die Küstenlinien der deutschen Nordseeinseln zu stabilisieren. Die Insel Sylt ist nur das bekannteste Beispiel für dieses Problem; ähnliche Maßnahmen sind auch bei vielen anderen Inseln notwendig.

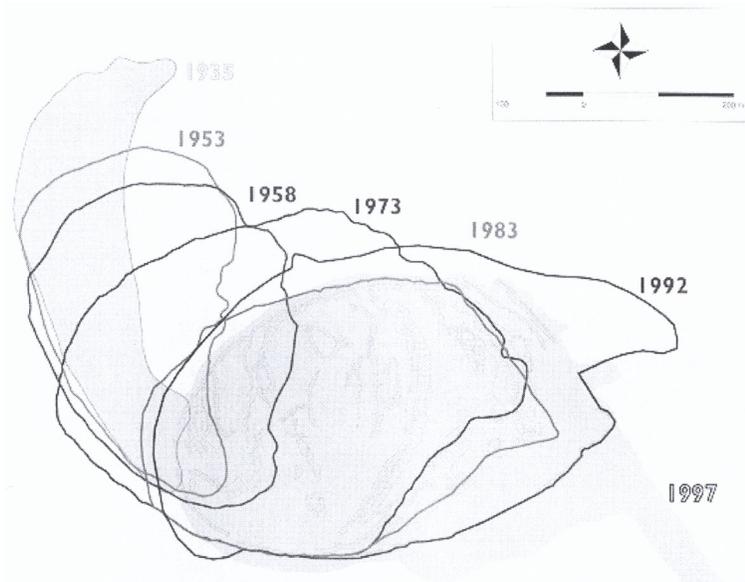


Abb. 1: Verlagerung von Scharhörn in den Jahren 1935 bis 1997. Insbesondere die Veränderungen zwischen 1992 und 1997 zeigen die hohe Dynamik der Topographie im Wattenmeer (Umweltbehörde Hamburg, 2001, leicht verändert)

Diese Besonderheiten des Watts stellen hohe Anforderungen an die Vermessungsmethoden, mit deren Hilfe dieser Bereich kartiert wird. Einige der heute zur Verfügung stehenden Methoden werden in diesem Beitrag dargestellt und ihre Vor- und Nachteile analysiert. Die mögliche Ergänzung der heutigen Vermessungsmethoden durch die Auswertung von Satellitenbildern wird dabei eingehend diskutiert.

2 Vermessungsmethoden

Für die Vermessung von Land- und Seegebieten steht eine ganze Reihe von sehr unterschiedlichen Messgeräten und Trägersystemen zur Auswahl. Es ist im Rahmen dieses Artikels nicht möglich, alle Verfahren genau zu beschreiben. Daher wurde eine Auswahl von gängigen Meßmethoden getroffen, anhand derer die besonderen Schwierigkeiten bei einem Einsatz im Wattenmeer verdeutlicht werden.

Prinzipiell kann zunächst zwischen vier verschiedenen „Plattformen“, also Trägern für Messgeräte, unterscheiden werden:

- Begehung zur Landvermessung
- Schiffsvermessung
- Befliegung
- Satellitenvermessung

Die Auswahl eines geeigneten Trägersystems ist schwierig, denn jede der genannten Plattformen hat eigenen Vor- und Nachteile. Dabei werden hier die folgenden Bewertungskriterien herangezogen:

- Die „Auflösung“ des Verfahrens. Damit ist die Genauigkeit einer Messung gemeint. Die Lokalisierung eines Punkts („räumliche Auflösung“) und die Geländehöhe an diesem Messpunkt („Höhenauflösung“) müssen durch das Messverfahren hinreichend gut bestimmbar sein. Die Auflösung hängt nicht nur vom Messgerät ab, sondern wird stark von den äußeren Umständen der Messung (wie zum Beispiel dem Wetter) bestimmt. Diese Einflüsse sind oft weit gravierender als der prinzipielle Fehlerbereich eines bestimmten Messgeräts.
- Die „Kosten“ des Verfahrens. Dieses Kriterium bezieht sich nicht nur auf den finanziellen Aufwand einer Vermessung, sondern berücksichtigt außerdem den zu erwartenden Zeitaufwand. Hier kann nur eine qualitative Bewertung erfolgen (das heißt in Kategorien wie „kostspielig“ oder „langwierig“), da eine genaue Kalkulation des Zeit- und Finanzbedarfs von Fall zu Fall sehr unterschiedlich ist.

- Die „Verfügbarkeit“ eines Verfahrens. Nicht jedes Verfahren kann in allen Teilbereichen des Wattenmeers eingesetzt werden. Darüber hinaus steht nur eine begrenzte Anzahl von Schiffen oder Flugzeugen zur Verfügung, deren Einsatzmöglichkeiten durch logistische Probleme oder das Wetter weiter eingeschränkt werden.

2.1 Landvermessung und Schiffsvermessung

Der Einsatz von Vermessungsschiffen und die Landvermessung sind die zurzeit gängigen Standardmethoden. Da diese Verfahren einander ergänzen, werden sie hier gemeinsam vorgestellt.

Vor- und Nachteile der Landvermessung

Das Konzept der Landvermessung ist die wohl vertrauteste Messmethode, die hier beschrieben wird. Seit der Einführung des „differential Global Positioning System (dGPS)“ können solche Messungen in hoher Genauigkeit an fast jedem Ort der Welt vorgenommen werden. Auf die Einzelheiten des Messprinzips wird hier nicht näher eingegangen, da die Einsatzmöglichkeiten dieser Methode im Watt nicht so sehr von der Messtechnik abhängen, sondern durch die praktische Umsetzung bestimmt sind.

Der große Vorteil dieser Methode ist ihre mögliche Präzision. Die Landvermesser sind direkt vor Ort, können das zu vermessende Gelände in Augenschein nehmen und je nach den Gegebenheiten ein mehr oder weniger engmaschiges Messgitter festlegen. Damit ist die Ortsauflösung, die sich bei dieser Methode prinzipiell erzielen lässt, sehr gut. Die Höhenvermessung an jedem Punkt ist bis auf fünf Zentimeter genau möglich (Palm, 1999).

Allerdings sind die Kosten und der Zeitaufwand einer solchen Messkampagne sehr hoch. Das jährlich wiederholte Vermessen einer großen Fläche mit dicht beieinander liegenden Messpunkten wäre sehr langwierig und extrem personalintensiv. Darüber hinaus sind weite Teile des Watts nur schwer zu erreichen und nur bei Niedrigwasser betretbar. Daher kommt diese Methode nur in relativ kleinen, gut

erreichbaren Teilen zur Anwendung, vor allem auf Inseln und Sänden. Eine Beispielmessung wird zusammen mit den Ergebnissen einer Schiffsvermessung im nächsten Abschnitt gezeigt.

Schiffsvermessung per Echolot

Der Einsatz von Vermessungsschiffen, die mit Hilfe eines Echolot-systems die Topographie des Meeresbodens bestimmen, ist eine gängige Methode, die beispielsweise vom „Bundesamt für Seenschiff-fahrt und Hydrographie (BSH)“ eingesetzt wird. Diese Behörde ist unter anderem für die Schiffssicherheit in den deutschen Küsten-gewässern zuständig und damit für die Erstellung von Seekarten der Deutschen Bucht. Die wichtige Echolotvermessung wird im folgen-den etwas ausführlicher dargestellt.

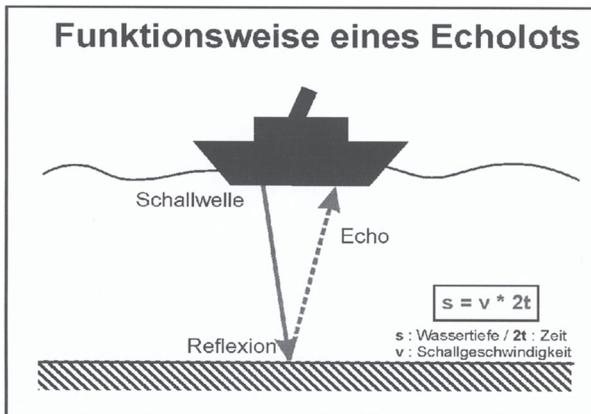


Abb. 2: Funktionsprinzip eines Echolots. Die gemessene Laufzeit des ausgesendeten Schallsignals erlaubt eine Bestimmung der Wassertiefe.

Die Funktionsweise eines Echolots ist in *Abbildung 2* skizziert. Das Prinzip ist vergleichsweise einfach: Das Schiff sendet Schallwellen aus, die vom Meeresboden teilweise reflektiert werden. Die reflektierten Signale werden vom Schiff registriert und die Zeit zwischen dem Aussenden und Empfangen der Schallimpulse wird gemessen. Da die Schallgeschwindigkeit im Wasser gut bekannt ist, kann aus der

gemessenen Laufzeit des Signals der Abstand des Schiffes zum Grund berechnet werden. Einfache Echolotsysteme bestimmen nur den Abstand eines Punktes direkt unter dem Schiff, es gibt aber auch noch die sogenannten Fächerecholote, die einen ganzen Streifen quer zur Fahrtrichtung des Schiffes vermessen können (*Abbildung 3*).

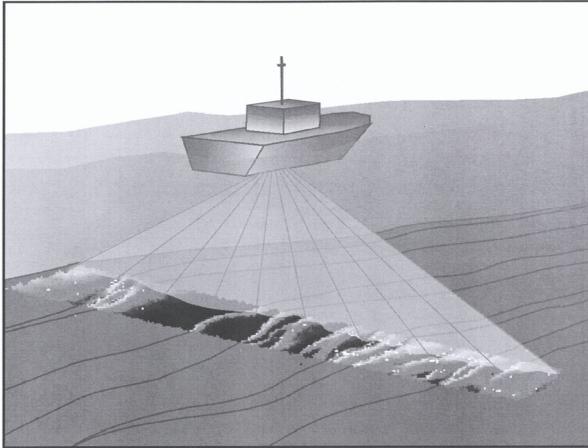


Abb. 3: Skizze eines Fächerecholots. Bei diesem System werden die Schallimpulse senkrecht zur Fahrtrichtung des Schiffes fächerförmig ausgestrahlt, um die Topographie eines breiteren Streifens zu vermessen

Die Genauigkeit dieses Messverfahrens ist für viele Zwecke ausreichend. Die Position des Schiffes kann mit Hilfe des GPS-Systems auf wenige Meter genau bestimmt werden, der Fehlerbereich bei der Tiefenbestimmung eines guten Echolots wird von den Herstellern mit fünf Zentimetern angegeben. Dies ist allerdings nur unter Laborbedingungen zu realisieren. Bei einem Einsatz unter realen Bedingungen ist eine so hohe Genauigkeit nicht zu erreichen, da zahlreiche äußere Faktoren die Tiefenmessung beeinflussen:

- Das Schiff steht während der Messung nicht still und wird zusätzlich vom Seegang und der Strömung beeinflusst, wodurch die vom Schall zurückgelegte Strecke verändert wird.

- Je nach Bodentyp wird das Schallsignal unterschiedlich reflektiert. Das kann zu Fehlinterpretationen der Daten führen.
- Auch die physikalischen Eigenschaften des Meerwassers können leicht variieren, wodurch sich die Schallgeschwindigkeit im Wasser ändern kann.

Diese und andere Fehler können nur zum Teil mathematisch korrigiert werden und summieren sich auf. Eine weitere Fehlerquelle ist der Wasserstand zum Zeitpunkt der Messung. Das Echolot misst nur den Abstand des Sensors zum Boden, also die aktuelle Wassertiefe. Dieser wiederum hängt von den Gezeiten ab. Um eine Tiefenkarte zu erhalten, muss daher der Wasserstand ermittelt werden, beispielsweise durch die Auswertung von Pegelmessungen an der Küste. Dies ist eine zusätzliche Messung mit ihren eigenen Fehlern, die ebenfalls die Genauigkeit der Karte beeinflussen. Trotz all dieser Schwierigkeiten ist das Ergebnis einer Echolotvermessung immer noch sehr gut. Bei den regelmäßigen Vermessungsfahrten des BSH kann mit einem Tiefenfehler von 20 Zentimetern gerechnet werden (Vahrenkamp, 2001). Bei widrigen Bedingungen kann das Ergebnis allerdings deutlich schlechter ausfallen. Zum Teil müssen daher ganze Messreihen verworfen werden.

Die Anwendung des Verfahrens ist nicht in allen Teilen des Watts möglich, da es auf die schiffbaren Bereiche beschränkt ist. Zusätzlich zum Tiefgang des Schiffes benötigt das Echolot selbst eine minimale Wassertiefe von etwa einem halben Meter. Selbst bei extremem Hochwasser sind daher viele Flächen mit dieser Methode nicht zu erfassen. Für die tieferen Bereiche, die bei Niedrigwasser nicht trocken liegen, ist die Echolotvermessung derzeit das einzig wirklich praktikable Messverfahren.

Der Zeit- und Finanzaufwand ist bei diesem Verfahren beträchtlich, denn Unterhalt und Betrieb von Vermessungsschiffen erfordern erhebliche finanzielle Mittel. Der Zeitbedarf dieser Methode ist ebenfalls groß. Mit den momentan zur Verfügung stehenden Mitteln erfordert eine komplette Neuvermessung der deutschen Nordseeküste etwa

fünf bis sieben Jahre. Nur die wichtigen Fahrrinnen können häufiger vermessen werden.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen das Ergebnis einer solchen Vermessung von Süderoog Sand an der Küste Schleswig-Holsteins. In diesem Gebiet finden sich alle für das Wattenmeer typischen Landschaftsformen. Es umfasst die Hallig Süderoog, die umgebenden Wattgebiete und den der Hallig im Westen vorgelagerten Sand und ist daher gut geeignet, um die Problematik der Vermessung zu demonstrieren. Die Höhenmessung auf dem Sand selbst wurde 1993 von einem Landvermessungsteam durchgeführt, und die umgebenden Seegebiete sind im selben Jahr von einem Schiff per Echolot vermessen worden. Diese Daten stammen vom Amt für Ländliche Räume in Husum. *Abbildung 4* zeigt die Lage der Messpunkte und die Küstenlinien der Hallig und des Sandes. Der vom Vermessungsschiff zurückgelegte Weg ist deutlich als Schlangenlinie auf den an den Sand grenzenden Seegebieten zu erkennen. Längs dieses Weges wurde alle 25 Meter eine Echolotmessung vorgenommen. Die einzelnen Linien haben einen Abstand von etwa 125 Metern. Auf dem Sand selbst und in einem Teil des Watts östlich des Sandes wurde von den Landvermessern längs mehrerer gerader Linien eine Höhenbestimmung vorgenommen. Der Abstand der einzelnen Linien liegt hier bei 250 Metern, auf denen etwa alle 50 Meter eine Messung vorgenommen wurde. Eine relativ große Fläche des Watts mit der Hallig im Zentrum wurde dagegen nicht in die Vermessung mit einbezogen. In diesem Bereich ist für Vermessungsschiffe die Wassertiefe in der Regel auch bei Hochwasser zu gering, während er für die Landvermessung nur schwer zugänglich ist.

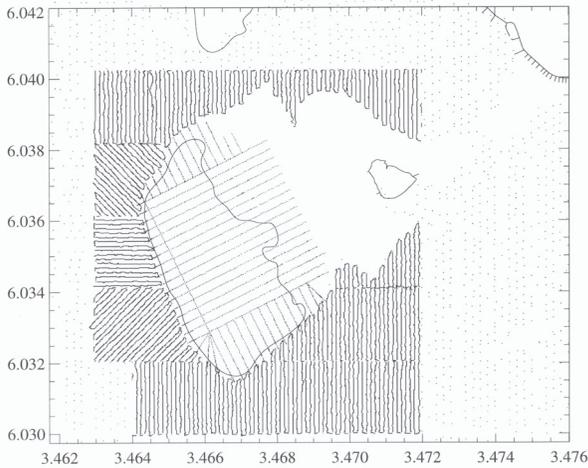


Abb. 4: Lage der Messpunkte einer Echolot und Landvermessung von Süderoog Sand. Zusätzlich zu den Messpunkten ist die Lage des Sandes und der Hallig Süderoog eingetragen. In einem Bereich rund um die östlich vom größeren Sand gelegene Insel konnten bei dieser Vermessung mit beiden Methoden keine Messwerte gewonnen werden. Die am Rand der Abbildung angegebenen Koordinaten sind die Rechts- und Hochwerte in 10^6 Meter (Gauss-Krüger-Koordinaten) (Klocke, 2001).

In Abbildung 5 ist die aus der Messung resultierende Karte gezeigt. Ihre Genauigkeit ist für die meisten Anforderungen ausreichend. Anhand dieser Karte wird jedoch deutlich, dass die Kombination der beiden bisher vorgestellten Meßmethoden noch nicht ausreicht, um eine komplette Karte des Wattenmeeres zu erhalten. Um solche Lücken zu schließen, müssen andere Meßmethoden herangezogen werden.

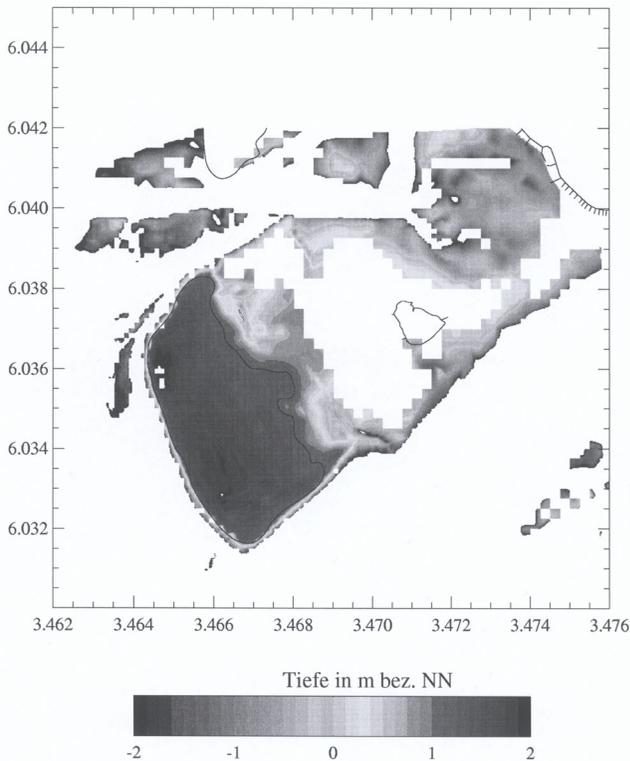


Abb. 5: Topographie von Süderoog Sand nach der in Abbildung 4 gezeigten Vermessung. Zwischenwerte wurden durch die Anwendung eines Interpolationsverfahrens gewonnen. Die Graustufen zeigen den Höhenbereich zwischen minus zwei und plus zwei Meter, bezogen auf Normal Null (NN). Tiefergelegene Bereiche und Gebiete mit fehlenden Messpunkten sind weiß markiert (vgl. Abbildung 4). Die Achsenbeschriftung gibt die Gauss-Krüger-Koordinaten des Gebiets an (Klocke, 2001).

2.2 Befliegung

Mit Hilfe von Flugzeugen lassen sich die schwer zugängliche Teile des Wattenmeeres vermessen. Zu diesem Zweck können eine Vielzahl von sehr unterschiedlichen Sensoren eingesetzt werden. Eine häufig angewandte Methode ist die Photogrammetrie, bei der Luftbilder zur Ableitung der Topographie verwendet werden. Dabei werden

Aufnahmen der selben Fläche aus verschiedenen Blickwinkeln verwendet, um unter Ausnutzung des Stereo-Effekts die Geländehöhe zu bestimmen. Aufgrund der extrem flachen Topographie des Watts sind das Verfahren in diesem Bereich jedoch schwer einsetzbar. Neben dieser indirekten Vorgehensweise kann die Topographie auch direkt bestimmt werden, beispielsweise mit Hilfe der Laser-Altmetrie, einer Methode zu Höhenvermessung mit Hilfe eines Laserstrahls.

Die Funktionsweise eines Laser-Altimeters ähnelt im Prinzip der Echolotvermessung, nur dass dabei nicht mit Schallwellen, sondern mit Laserimpulsen gearbeitet wird. Der Sensor an Bord des Flugzeugs sendet einen Laserstrahl aus und misst die Laufzeit des vom Boden reflektierten Signals zurück zum Sensor. Da die Lichtgeschwindigkeit bekannt ist, kann der Abstand des Flugzeugs zum Untergrund berechnet werden. Bei bekannter Flughöhe lässt sich daraus die Topographie des Bodens bestimmen. Mit diesem System können – ähnlich wie beim Fächerecholot – breite Streifen senkrecht zur Flugrichtung erfasst werden. Diese Methode funktioniert nur auf trocken gefallenem Flächen, da der Laserstrahl nicht tief ins Wasser eindringen kann.

Die Genauigkeit dieser Methode ist sehr gut. Je nach Messkampagne kann eine räumliche Auflösung von bis zu einem Meter und besser erreicht werden. Der Sensor selbst hat einen Höhenfehler von fünf Zentimetern. Wie auch bei der Echolotvermessung kann diese Genauigkeit durch die äußeren Umstände der Vermessung schlechter werden. Trotzdem reicht die Datenqualität für die Erstellung einer guten Karte aus.

In der *Abbildung 6* ist das Ergebnis einer Altimetervermessung im Wattgebiet bei Cuxhaven gezeigt. Diese Vermessung erfolgte im März 1999 im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung für die „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt“. Die gezeigte Karte und eine ausführliche Dokumentation der Vermessung sind im Internet verfügbar (Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven, 1999). Anhand dieses Beispiels lassen sich die Vorzüge und Nachteile einer Befliegung sehr gut zeigen.

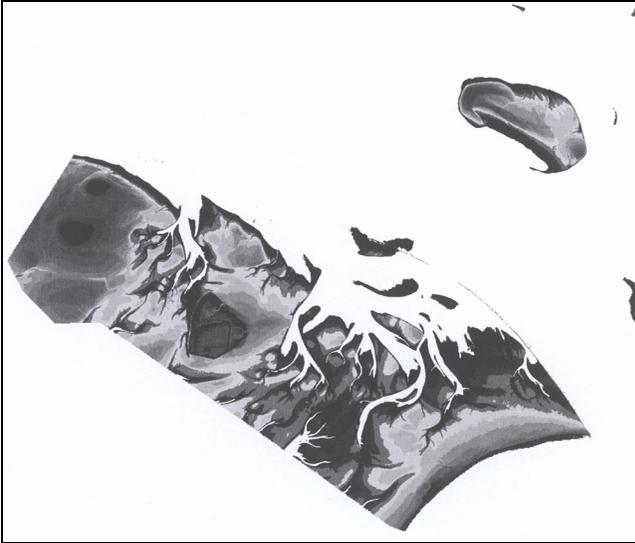


Abb. 6: Resultat einer Befliegung des Wattgebiets vor Cuxhaven mit den Inseln Neuwerk und Scharhörn. Die Graustufen geben die Geländehöhe zwischen minus 1,25 und plus 12,5 Meter, bezogen auf Normal Null (NN), wieder. Tiefergelegene Bereiche und Gebiete mit fehlenden Messpunkten sind in der Darstellung weiß. Die Topographie des Gebiets wurde bei dieser Vermessung gut erfasst, auch feinere Strukturen im Bereich der Priele sind zu erkennen (Montage aus den Einzelkarten vom Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven, 2002).

Das in der Abbildung dargestellte Gebiet zeigt nur einen Teil der bei dieser Befliegung vermessenen Wattgebiete. Der gezeigte Ausschnitt hat eine Fläche von 122,3 Quadratkilometern. Insgesamt wurden 427,6 Quadratkilometer neu vermessen. Die räumliche Auflösung der Laserscannerdaten beträgt fünf Meter, die Höhengenaugigkeit wurde für diese Vermessung mit fünf Zentimetern angegeben. Die Qualität der Daten ist sehr gut. Auf der gezeigten Karte lassen sich auch kleinere Priele erkennen, die bei einer Echolotvermessung nur schwer zu erfassen sind. Die Validation im Rahmen der Vermessung zeigt eine gute Übereinstimmung mit der realen Topographie in diesem Gebiet. Das Laser-Altimeter kann prinzipiell zur Vermessung der Wattgebiete

verwendet werden. Die Probleme liegen hier nicht in der Genauigkeit der Vermessung sondern in der Durchführung und Finanzierung.

Aus der Dokumentation ist ersichtlich, dass diese Messung vor allem durch die Wetterbedingungen und die engen Flugzeitfenster stark erschwert wurde. Die Vorgaben für die Umweltverträglichkeitsuntersuchung stellten sehr hohe Anforderungen an die Qualität der Vermessung. Die idealen Bedingungen für eine Befliegung der Wattgebiete sind bei extremem Niedrigwasserständen gegeben, das heißt möglichst nahe am Springniedrigwasser an zwei bis drei aufeinander folgenden Tagen mit geringem Windstau wobei jeweils in einem Zeitfenster von 30 Minuten vor und nach Eintreten des Niedrigwassers gemessen wird. Eine erste Befliegung im Januar 1999 musste aufgrund des schlechten Wetters abgebrochen werden, eine zweite Befliegung erfolgte im März unter vereinfachten Vorgaben, da sich die idealen Bedingungen zu selten einstellen und das Flugzeitfenster zu kurz bemessen war. Daher wurde das Zeitfenster erweitert und zum Zeitpunkt eines normalen Niedrigwasserstands gemessen. Unter diesen Bedingungen ließen sich die tiefsten Bereiche des Watts nicht mehr erfassen. Die Kartierung der restlichen Fläche ist jedoch zufriedenstellend. Obwohl wetterbedingte Ausfallszeiten die Messung zusätzlich verteuern, ist die prinzipielle Verwendbarkeit des Verfahrens gegeben.

Weitere Einzelheiten zur Planung, Durchführung und Auswertung dieser Befliegung sind in der angegebenen Quelle ausführlich dargestellt. Es zeigt sich, dass der logistische Aufwand und damit auch die Kosten einer solchen Vermessung beträchtlich sind.

Um die gesamte deutsche Küste auf diese Weise zu erfassen, wären zahlreiche Messflüge notwendig, deren Daten anschließend zu einem Mosaik zusammengesetzt werden müssten – ein operationell nur schwer finanzierbarer Aufwand, selbst wenn ein weitmaschiges Messgitter gewählt wird und nur die Flächen aus der Luft vermessen werden, die anderweitig gar nicht zu erfassen sind. Der Einsatz von Flugzeugen ist generell sehr kostenintensiv. Daher gilt diese Einschränkung für alle in Betracht kommenden Sensoren oder Luftbilder

gleichermaßen. Zur Zeit werden deshalb nur vereinzelte Messflüge unternommen, die spezielle Fragestellungen behandeln. Das Stadtamt Cuxhaven nutzt beispielsweise Luftbilder, um den Verlauf von Priel-
len im Watt vor Neuwerk zu bestimmen, wobei keine Höhenbestimmung notwendig ist. Das vereinfacht zwar die Auswertung, doch bleibt der Aufwand erheblich.

2.3 Erdfernerkundung

Wie im letzten Abschnitt gezeigt, bietet die Auswertung von Flugzeugdaten prinzipiell die Möglichkeit, selbst in entlegenen und unzugänglichen Region des Watts Vermessungen durchzuführen. Das Problem ist der hohe Aufwand der Kartierung. Wünschenswert ist daher ein Verfahren, das die Vorteile der Befliegung nutzen kann, aber deutlich preiswerter und schneller funktioniert. Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, ist die Auswertung von Satellitenbildern.

Viele der Sensoren, die auf Flugzeugen eingesetzt werden, sind ebenfalls auf Satelliten installiert. Sie werden für die verschiedensten Aufgaben genutzt, unter anderem auch zur Landvermessung. Der Hauptvorteil eines Beobachtungssatelliten ist die große Höhe, aus der gemessen wird. Aufgrund seiner Flughöhe (bei Erdbeobachtungssatelliten 800 Kilometer) kann ein Satellit einen großen Teil der Erdoberfläche auf einen Blick erfassen, was eine deutliche Verbesserung gegenüber Flugzeugvermessungen darstellt. Allerdings gibt es auch hier einige Nachteile, die eine Auswertung dieser Bilder erschweren:

Die räumliche Auflösung eines Sensors auf einem Satelliten ist geringer als bei einem Einsatz eines solchen Geräts vom Flugzeug aus, da der Satellit sehr viel weiter von der zu beobachtenden Fläche entfernt ist. Für viele Aufgaben stört das nicht, weil nicht immer eine hohe Präzision nötig ist. Die Vermessung der Oberfläche eines ganzen Kontinents kann durchaus mit einer räumlichen Auflösung von mehreren Kilometern erfolgen. Für die feinen Strukturen des Wattenmeers ist jedoch eine direkte Höhenvermessung, wie zum Beispiel mit dem Laseraltimeter, vom Satelliten aus nicht genau genug.

Der Satellit muss Signale durch die gesamte Erdatmosphäre hindurch empfangen können. Wettereinflüsse wie zum Beispiel Wolken, die von einem Flugzeug noch unterflogen werden können, machen eine Messung im sichtbaren Bereich des Spektrums oft unmöglich. Gerade in Norddeutschland ist die häufige und dichte Bewölkung ein Problem. Außerdem ist ein optisches System abhängig vom Tageslicht, was die Anzahl der auswertbaren Bilder weiter einschränkt. Die wenigen wolkenfreien Tage reichen nicht aus, um eine Vermessung des Watts mit hochauflösenden, optischen Systemen zu ermöglichen.

Der Orbit von Satelliten ist nach dem Start nur mit großem Aufwand und nicht beliebig zu verändern. Der Aufnahmezeitpunkt eines Bildes ist daher nicht frei festlegbar. Eine bestimmte Region wird statt dessen regelmäßig zu festen Terminen überflogen. Daher können ungünstige Wetterbedingungen nicht durch eine Verschiebung der Messung vermieden werden. Diese Einschränkungen begrenzen die Auswahl an einsetzbaren Satelliten erheblich.

Nötig ist ein Sensor, der eine gute räumliche Abdeckung mit hoher Auflösung unabhängig vom Wetter bietet. Diese Bedingungen werden vom Synthetic Aperture Radar (SAR) der europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1/2 weitgehend erfüllt. Das SAR-System sendet Radarstrahlen aus und registriert die von der Erdoberfläche zurückgestreute Leistung. Wie jedes andere Radarsystem ist es vom Tageslicht unabhängig und wird vom Wetter praktisch nicht direkt beeinflusst. Im Gegensatz zu den bekannten Radaranlagen, wie sie im Flugverkehr oder auf Schiffen eingesetzt werden, liefert dieser Sensor hochauflösende Bilder, die im wesentlichen die Rauigkeit der abgebildeten Fläche wiedergeben. Raue Oberflächen haben sehr gute Rückstreuungseigenschaften und erscheinen im Radarbild hell, während glatte Oberflächen nur wenig zurückstreuen und daher dunkel erscheinen. In *Abbildung 7* ist ein SAR-Bild der Deutschen Bucht gezeigt. Der dargestellte Bereich umfasst die Nordseeküste Schleswig-Holsteins zwischen der Elbmündung im Süden und der Insel Sylt im Norden. Dieses Bild zeigt eine Fläche von 100 mal 102,5 Kilometer bei einer räumlichen Auflösung von 25 Metern. Der Preis eines solchen Bildes

liegt bei etwa 2500 Euro, was im Vergleich zu einer Befliegung durchaus kostengünstig ist (Eurimage, 2002). Zusammen mit einigen wenigen benachbarten SAR-Bildern lässt sich so das gesamte Wattenmeer von den Niederlanden bis nach Dänemark relativ preiswert abdecken.

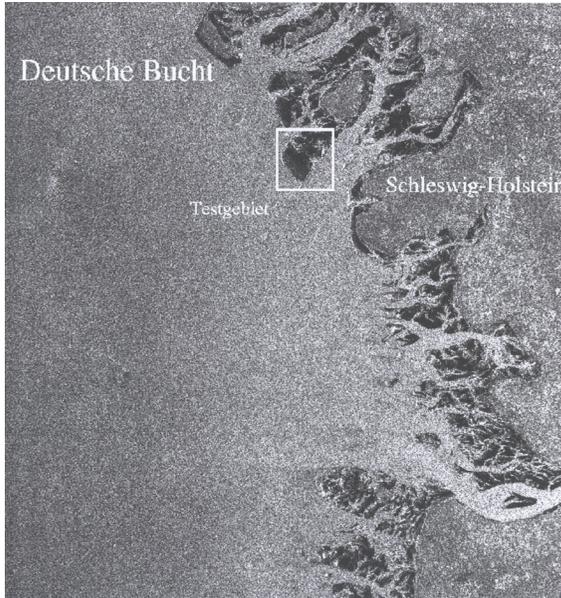


Abb. 7: SAR-Bild der deutschen Nordseeküste vom 19. März 1998. Der abgebildete Bereich umfasst ein Gebiet von 100 auf 102,5 Kilometer mit einer räumlichen Auflösung von 25 Metern. In dieser Radar-Aufnahme erscheinen raue Oberflächentypen hell, während glatte Flächen eher dunkel abgebildet werden. Daher heben sich die vergleichsweise glatten und damit dunklen Wattgebiete an der Küste deutlich von der vom Wind aufgerauten, helleren Wasserfläche der Nordsee ab. Die Testregion um Süderoog Sand ist mit einem Rechteck markiert. Die Bilddaten stammen von Eurimage (2002).

Die Verfügbarkeit der Daten ist ebenfalls gegeben. Die Erdoberfläche wird vom Satelliten in fest vorgegebenen Streifen abgetastet, die sich von Überflug zu Überflug leicht gegeneinander verschieben. Der Orbit des ERS-2 wurde so gewählt, dass der Satellit einmal im Monat

exakt dasselbe Gebiet abbildet. Da sich benachbarte Streifen zum Teil überlappen, werden einige Teilbereiche öfter erfasst. So entsteht etwa alle 14 Tage ein Bild der hier interessierenden Wattgebiete. Auch nach Ablauf der Lebensdauer von ERS-2 stehen weitere Satelliten zur Verfügung, die über ein leistungsfähiges SAR-System verfügen, so dass auch in Zukunft mit einer ausreichenden Datenlage gerechnet werden kann.

Aufgrund dieser Eigenschaften scheinen SAR-Bilder gut für die Vermessung geeignet zu sein – bis auf ein wesentliches Problem: Wie können diese Bilder zur Messung der Geländehöhe verwendet werden? Im Gegensatz zu den bisher geschilderten Vermessungsmethoden liefert ein SAR-Bild keinerlei direkte Höheninformation, nur die geographische Lage von Strukturen innerhalb der Wattgebiete kann erfasst werden. Mit Hilfe des sogenannten Wasserlinienverfahrens ist es jedoch möglich, aus einer Serie von SAR-Bildern indirekt auf die Topographie zu schließen.

Das Wasserlinienverfahren wurde in den sechziger Jahren zur Auswertung von Luftbildern entwickelt aber nie operationell eingesetzt. Sein Prinzip ist auf Satellitenbilder übertragbar (Wang, 1997). Nötig dafür sind mehrere Bilder, die im Laufe eines Jahres bei verschiedenen Wasserständen aufgenommen wurden, sowie die möglichst genauen Wasserstände zum Aufnahmezeitpunkt der Bilder. Die Grundlage des Verfahrens ist die Unterscheidung zwischen trocken gefallenen Wattflächen und den sie umgebenden Wasserflächen auf den Bildern.

In der Abbildung 7 ist der starke Kontrast zwischen den relativ glatten und daher dunklen Wattflächen und der vom Wind aufgerauten Nordsee, die im Radarbild eher hell erscheint, deutlich zu erkennen. Nicht auf allen Bildern ist der Kontrast so markant wie auf diesem Beispielbild. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten sind die Wasserflächen sehr dunkel, weil ihre vom Wind abhängige Rauigkeit dann geringer ist. Bei den Windbedingungen an der deutschen Nordseeküste sind diese Situationen jedoch relativ selten. Der Kontrast zwischen Watt und Wasser kann daher in den meisten Fällen zur Bestim-

mung der Wasserlinie, also der aktuellen Trennlinie zwischen trockengefallenen Wattgebieten und der Wasserfläche, verwendet werden.

Je nach Stand der Gezeiten und Windstau ist die Lage diese Linie variabel. Auf einer Serie von Bildern, die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen wurden, wird daher jedes Mal eine andere Wasserlinie gefunden. Die Wasserlinie wandert dabei über den gesamten Tidebereich, vom absolutem Niedrigwasser, bei dem das gesamte Watt trocken liegt, über verschiedene Zwischenstufen bei auflaufendem oder ablaufendem Wasser bis hin zum Hochwasser, bei dem nur noch die Inseln und einige Sände aus der Wasserfläche ragen. Um das Prinzip zu illustrieren, ist in *Abbildung 8* das Testgebiet von Süderoog Sand zu vier verschiedenen Wasserständen dargestellt. In jedem dieser vier Bilder ist die Lage der Watt-Wasser Grenze deutlich zu erkennen. Diese Linie kann mit Hilfe geeigneter Algorithmen automatisch im Computer berechnet werden, was bei der Größe der Bilder und dem umfangreichen Datenmaterial für eine praktische Umsetzung des Verfahrens unerlässlich ist.

Anschließend wird die geographische Lage einer im Bild gefundenen Linie bestimmt. Auf diese Weise wird zu jedem Wasserstand eine natürliche Höhenlinie gefunden: Ist der Wasserstand bekannt, kann dieser Wert als Geländehöhe der Wasserlinie betrachtet werden. Allerdings läuft die Gezeitenwelle nicht gleichmäßig auf, sondern hat eine eigene Topographie, die unter anderem von den lokalen Windverhältnissen abhängt. Es muss also für jeden Punkt einer gefundenen Wasserlinie noch der zugehörige Wasserstand ermittelt wird. Dazu werden die Daten eines numerischen Modells verwendet, das unter Berücksichtigung der Windverhältnisse und der astronomischen Tide den Wasserstand berechnet. Das Modell gibt die Topographie der Wasseroberfläche wieder. So wird der von Ort zu Ort leicht unterschiedliche Verlauf der Gezeiten simuliert. Diese lokalen Variationen müssen noch mit Pegeldata korrigiert werden, um absolute Wasserstandswerte zu erhalten.

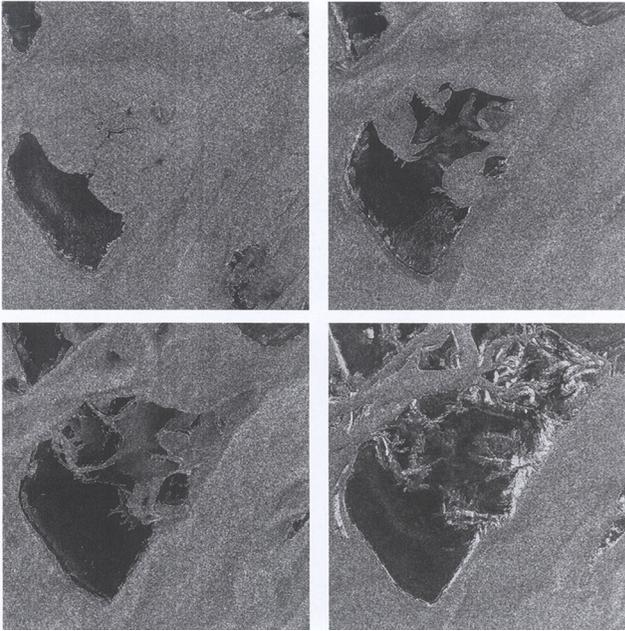


Abb. 8: Ausschnitte von vier SAR-Bildern aus dem Jahr 1998. Dargestellt ist die Region um Süderoog Sand (12,5 mal 12,5 Kilometer) bei verschiedenen Wasserständen (von links oben bei Hochwasser über zwei Zwischenstände bis zum Niedrigwasser links unten). Der Sand und die trocken gefallenen Wattgebiete heben sich dunkel von der helleren Wasserfläche ab. Bei sinkendem Wasserstand werden größere Bereiche des Watts freigelegt. Für jedes dieser vier Bilder lässt sich die Trennlinie zwischen Watt und Wasser bestimmen, sodass zusammen mit den bekannten Wasserständen eine natürliche Höhenlinie gewonnen werden kann. Die Bilddaten stammen von Eurimage (2002).

Wird den Punkten einer Wasserlinie der jeweils entsprechende Wasserstand zugeordnet, ergibt dies eine vermessene Strecke. Das entspricht im Prinzip einer von einem Vermessungsschiff abgefahrenen Linie von Messpunkten, wenn auch mit einem sehr unregelmäßigen Verlauf. Die Linien mehrerer Bilder bilden das Messgitter, aus dem durch Interpolation von Zwischenwerten die Karte erstellt wird. Der genaue Ablauf des hier nur grob skizzierten Verfahrens findet sich bei Klocke (2001) oder Wang (1997).

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen das Ergebnis dieser Vorgehensweise für das bereits in Abschnitt 2.1 verwendete Testgebiet bei Süderoogsand. In *Abbildung 9* ist die Lage der Wasserlinien von insgesamt neun SAR-Bildern aus dem Jahr 1992 zu verschiedenen Wasserständen gezeigt. Dieses unregelmäßige Messgitter wird durch die Verknüpfung mit den Wasserstandsdaten zur Grundlage des digitalen Geländemodells. Zur Einbettung der Wasserlinien in bestehendes Kartenmaterial wurden zusätzliche Messpunkte der Schiffsvermessung verwendet. Der Vergleich mit dem Messgitter der Echolotvermessung in *Abbildung 4* zeigt die deutlichen Unterschiede der beiden Methoden.

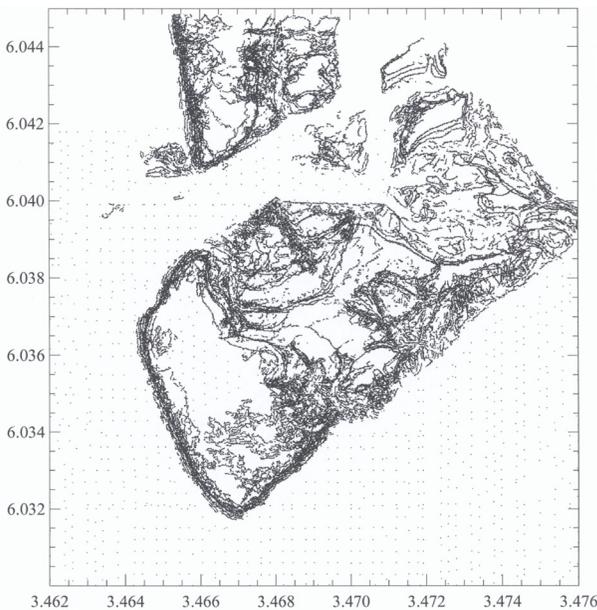


Abb. 9: Lage der Wasserlinien aus neun SAR-Bildern des Jahres 1992. Diese Punkte dienen zusammen mit den Wasserständen als irreguläres Messgitter für die Ableitung der Topographie. Der Vergleich mit *Abbildung 4* zeigt, dass dieses Messgitter auch die Wattgebiete um die Hallig Süderoog abdeckt. Achsenbeschriftung in Gauss-Krüger-Koordinaten. (Klocke, 2001).

Die Verteilung der Messpunkte ist bei den Wasserlinien auf den Bereich der Wattflächen und des Sandes konzentriert, also genau auf die Bereiche, die durch die Schiffsvermessung nicht erfasst werden konnten. Die in *Abbildung 10* dargestellte Karte entsteht durch die Interpolation der Tiefenwerte in ein regelmäßiges Gitter. Man erkennt in dieser Karte nicht nur die in der Echolotvermessung nicht erfasste Topographie der Wattflächen, sondern es sind auch die Strukturen an den Seiten des Sandes deutlich detaillierter zu erkennen als auf der per Echolot gemessenen Karte. Das liegt daran, dass die Wasserlinien an dem relativ steilen Rand des Sandes sehr eng beieinander liegen und damit in diesem Bereich ein dichteres Netz von Messpunkten bilden als die Punkte der Vergleichsmessung.

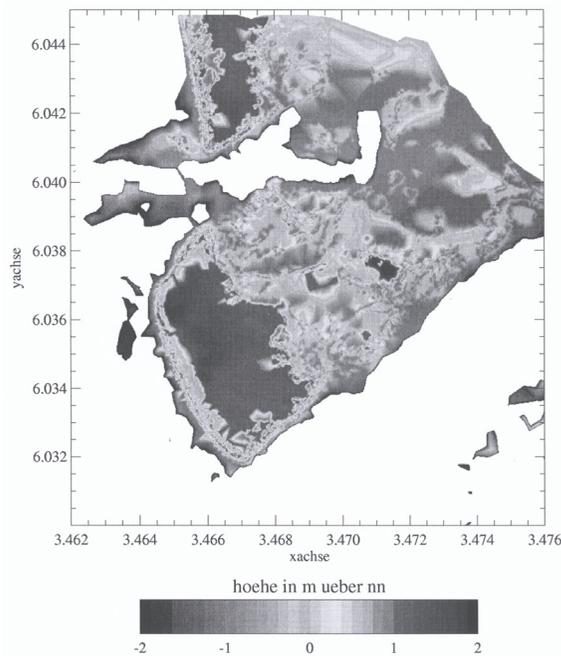


Abb. 10: Topographie der Wattgebiete um Süderoog Sand erstellt mit Hilfe des Wasserlinienverfahrens. Die Graustufen zeigen den Höhenbereich zwischen minus zwei und plus zwei Meter, bezogen auf Normal Null (NN). Tiefergelegene Bereiche und Gebiete mit fehlenden Messpunkten sind weiß markiert (vgl. *Abbildung 5*). Achsenbeschriftung in Gauss-Krüger-Koordinaten (Klocke, 2001).

Die räumliche Auflösung dieses Verfahrens hängt von der exakten Bestimmung der Wasserlinie ab. Im optimalen Fall kann die Lage der Wasserlinien bis auf ein Pixel genau ermittelt werden, was einer räumlichen Auflösung von 25 Metern entspricht. Das ist leider nicht immer gegeben. In einigen Bildern oder Bildbereichen ist die Wasserlinie sogar für das menschliche Auge nur schwer zu erkennen. In diesen Fällen versagen selbst gute Kantendetektionsalgorithmen, was zu Lücken in der Vermessung führt. Aber selbst bei einer perfekten Kantendetektion ist die Dichte der Messpunkte unterschiedlich, da kein regelmäßiges Messgitter vorliegt. In Bereichen mit großen Steigungen, wie an den Rändern eines Sandes oder im Bereich einer Prielkante, liegen die Wasserlinien sehr dicht. Dies führt zu einer hohen Auflösung, wie am Beispiel von Süderoogsand gezeigt wurde. Bei flachen Gebieten, in denen auch bei geringen Wasserstandsänderungen große Flächen überflutet werden oder trocken fallen, liegen größere Distanzen zwischen den einzelnen Wasserlinien, was einer schlechteren Auflösung entspricht. Daher ist die tatsächliche Auflösung der Messung sehr variabel. Die Qualität einer Karte hängt damit stark von einer guten Interpolation von Zwischenwerten ab. Eine Validation des Verfahrens steht noch aus, sodass hier keine Angaben möglich sind. Der zweite wichtige Punkt ist die Genauigkeit der Wasserstandsdaten. Hier ist der Fehlerbereich des Wasserstandsmodells entscheidend, der bei etwa 20 Zentimeter liegt. Diese Unsicherheit liegt im Fehlerbereich einer Echolotvermessung und erscheint damit akzeptabel.

Der große Vorteil des Wasserlinienverfahrens sind die gute Verfügbarkeit der Daten und die relativ geringen Kosten. Die innerhalb eines Jahres aufgenommenen SAR Bilder können weitgehend automatisiert ausgewertet werden und liefern in Verbindung mit den ebenfalls gut verfügbaren Wasserstandsdaten die Möglichkeit einer jährlichen Kartierung des gesamten Intertidalbereichs.

Diese zeitliche und räumliche Abdeckung ist zurzeit mit keiner anderen Methode bei vertretbaren Kosten möglich. Die Präzision der Vermessung liegt dabei voraussichtlich in derselben Größenordnung wie

die einer Schiffsvermessung. Das Beispiel Süderoogsands hat gezeigt, dass so vor allem die regelmäßige Vermessung von schwierigen Bereichen möglich ist, die anderweitig nur sehr selten erfasst werden können. Das Wasserstandsverfahren stellt damit eine gute Ergänzung der Schiffsvermessungen dar.

3 Fazit

Selbst mit moderner Messtechnik bleibt die Kartierung der Wattgebiete eine schwierige Aufgabe. Die derzeit verfügbaren Messsysteme sind nicht in der Lage, mit der morphologischen Veränderung des Wattenmeers in allen Bereichen Schritt zu halten. Die größten Probleme liegen dabei nicht in der Messgenauigkeit, die bei allen hier vorgestellten Methoden gut oder zumindest für die meisten Anforderungen ausreichend ist, sondern im hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand, der für eine komplette Vermessung erforderlich ist. Insbesondere der Intertidalbereich ist aufgrund seiner hohen Variabilität und des oft schwierigen Zugangs kaum laufend zu überwachen, obwohl eine regelmäßige, am besten jährlich stattfindende Neuvermessung dieses sensiblen Ökosystems wünschenswert ist.

Die Auswahl einer geeigneten Messmethode hängt vor allem vom Geländetyp ab. Der Bereich des Wattenmeers, der ständig unter der Wasseroberfläche liegt, kann derzeit nur mit Hilfe von Vermessungsschiffen erfasst werden. Die Überwachung der Schifffahrtswege ist mit dieser Methode gewährleistet, doch ist eine jährliche Neuvermessung des ganzen Gebietes mit den gegebenen Mitteln nicht zu leisten.

Für die relativ kleinen Inseln und Sände ist die klassische Landvermessung aufgrund ihrer hohen Genauigkeit eine gut geeignete Methode. Eine jährliche Vermessung ist jedoch zu aufwendig. Der Intertidalbereich ist der am schwersten zu vermessende Teil des Watts. Diese große, oft weder für Schiffe noch Landvermessungsteams zu erreichende Fläche, kann derzeit nur in mehrjährigen Abständen vermessen werden. Der Einsatz von Vermessungsflugzeugen erlaubt zwar die Erfassung der unzugänglichen Bereiche mit hoher Genauig-

keit, ist für einen flächendeckenden operationellen Einsatz jedoch ebenfalls zu kostspielig.

Die Nutzung von Fernerkundungssatelliten, insbesondere der Daten eines SAR-Systems, kann dazu beitragen, Lücken in der Überwachung des Gebietes zu schließen. Mit Hilfe des Wasserlinienverfahrens ist es möglich, die Topographie des Intertidalbereichs auf einer jährlichen Basis zu erfassen. Die Genauigkeit dieses in der Entwicklung befindlichen Verfahrens sollte in etwa in der Größenordnung einer Echolotvermessung liegen.

Literatur

- Eurimage (2002): <http://www.eurimage.com/products.shtml>.
- Klocke, B. (2001): *Topographische Karte des Wattgebietes aus ERS-1 SAR- und Modelldaten*, Dissertation, Universität Bremen.
- Palm, M. (1999): Amt für Ländliche Räume (ALR,) Husum, mündliche Mitteilung.
- Trilateral Waddensea Cooperation (2002): <http://cwss.www.de/trilat/brochure/1waddensea.html>
- Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg (2001): *Nationalpark-Atlas Hamburgisches Wattenmeer*.
- Vahrenkamp (2001): Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, mündliche Mitteilung.
- Wang, Y. (1997): „Satellite SAR Imagery for Topographic Mapping of the Tidal Flat areas in the Dutch Wadden Sea“, in: *ITC publication*, Nr. 47, Enschede: ITC.
- Wasser und Schifffahrtsamt Cuxhaven(2002): *UVU und Beweissicherungsdatenbank*, <http://cux.wsd-nord.de/htm/start.asp>.

Claudia Wienberg

Korrigiert und ausgebaggert – Die Außenweser im Wandel der Zeit

1 Einleitung

Der Küstenraum wird unablässig durch dynamische Prozesse wie Gezeiten, Strömungen und Wellengang beeinflusst sowie morphologisch verändert. Speziell in den Watten- und Ästuargebieten der norddeutschen Küste, zu denen auch das Jade-Weser-Ästuar gehört, gibt es einen ständigen Wandel des natürlichen Erscheinungsbildes. Stromrinnen versanden, werden verlagert oder spalten sich auf. Es bilden sich Barren, Platen und Untiefen, während an anderer Stelle Priele neu entstehen und sich verzweigen oder Rinnen sich vertiefen und verbreitern. Seit über tausend Jahren nimmt aber auch der Mensch, angefangen mit einem groß angelegten Deichbau zum Schutz vor Hochwasser und Sturmfluten, mehr und mehr gestaltenden Einfluss auf die Küstenregion. Insbesondere Ästuarflüsse, wie die Weser, die von jeher wichtige Handels- und Verkehrswege für den Menschen waren, wurden in immer stärkerem Maße reguliert und umgewandelt. Mit Hilfe von Baggerungen werden Rinnenquerschnitte vertieft und verbreitert, Strombauwerke wie Buhnen und Leitdämme sollen Wattkanten und Böschungen vor Abbrüchen schützen sowie Rinnenverlagerungen, Stromspaltungen und Versandungen stoppen. Allerdings sind anthropogene Eingriffe dieser Art nicht nur als Reaktion auf immer wiederkehrende Fahrwasserprobleme zu sehen, sondern, insbesondere seit Ende des 19. Jahrhunderts, als Reaktion auf die Größenentwicklung von Seeschiffen sowie den wachsenden Markt des Transports von Gütern auf dem Seeweg.

Die Weser mit Unter- und Außenweser zählt heute mit den Häfen in Bremen und Bremerhaven zu den wichtigsten deutschen Seeschiffahrtsstraßen. Auch ihr natürliches Erscheinungsbild mit allen hydro-

logischen und morphologischen Eigenschaften wurde in den letzten hundert Jahren kontinuierlich durch Baumaßnahmen modifiziert.

2 Die Außenweser – seewärtiger Abschnitt der Weser

Der Weserverlauf, wie wir ihn heute kennen, entwickelte sich vor etwa 11 000 Jahren während des Endstadiums der letzten Eiszeit durch den Zusammenfluss von Werra und Fulda. Das Zusammentreffen beider Flüsse bei Hannoversch Münden wird als Ursprungsort der Weser definiert. Die Werra ist der eigentliche Quellfluss der Weser. Sie entspringt am Südwesthang des Thüringer Waldes und ist mit einer Länge von 300 Kilometern nur 185 Kilometer kürzer als die Weser selbst. Einen wesentlich kürzeren Verlauf hat dagegen die in der Rhön entspringende Fulda mit insgesamt 154 Stromkilometern. Die Weser erstreckt sich von Hannoversch Münden bis zur Mündung in die Nordsee über eine Gesamtlänge von 485 Kilometer und überwindet dabei 120 Höhenmeter. Zusammen mit Werra und Fulda umfasst ihr oberirdisches Einzugsgebiet etwa 46 000 Quadratkilometer (Halpaap, 1999; Korinth, 2000). Untergliedert wird der Fluss in vier Abschnitte (*Abbildung 1*). Zum einen in Ober- und Mittelweser, die sich ab Hannoversch Münden 360 Kilometer quer durch das Weserbergland sowie die Marsch- und Geestlandschaft der eiszeitlich geprägten norddeutschen Tiefebene winden. Ab Bremen schließen sich mit insgesamt 125 Kilometern Länge Unter- und Außenweser an (Busch et al., 1989).

Zusammengefasst werden Unter- und Außenweser als Weserästuar bezeichnet, da von der Nordseemündung bis Bremen die Hydrologie des Flusses von den Gezeiten mit Hoch- und Niedrigwasser sowie Tidehub bestimmt wird. Der Mittlere Tidehub der Weser variiert heute zwischen vier Metern beim Weserwehr in Bremen und 2,80 Metern beim Leuchtturm Roter Sand an der Nordseemündung (BfG, 1992). Weiterhin wird ein Ästuar als halbeingeschlossener, küstennaher Wasserkörper beschrieben, in dem sich Salzwasser mit Süßwasser vermischt und in dem die Sedimentation geringer ist als die erodierende Wirkung von Ebb- und Flutstrom (Pritchard, 1967).

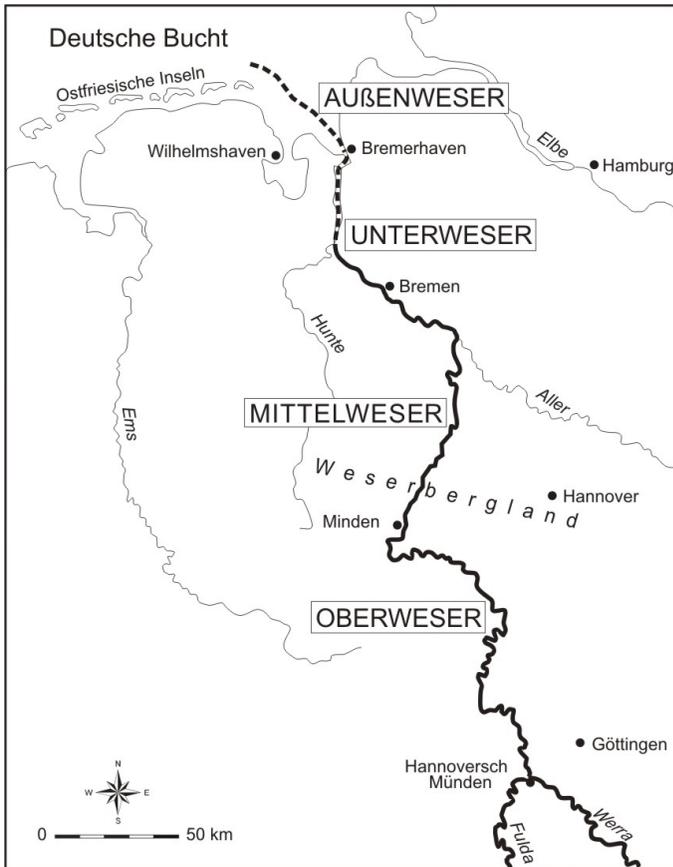


Abb. 1: Verlauf der Weser von Hannoversch Münden bis zur Nordseemündung

Unterhalb von Bremerhaven erweitert sich die kanalartige und von Schutzdeichen gesäumte Unterweser zum breiten Mündungstrichter der Außenweser (Abbildung 2). Als äußerer Abschnitt des Weser-ästuars windet sie sich in nordwestlicher Richtung quer durch weit ausgedehnte Wattflächen wie Langlütjensand, Hohe-Weg-Watt, Ever-sand und Wurster Watt. Nach einer Strecke von 60 Kilometern mündet die Außenweser schließlich westlich des Leuchtturms Roter Sand in die Deutsche Bucht. Das Fahrwasser grenzt beidseitig unmittelbar

an das Schutzgebiet des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer.

Dem Weserästuar sind keine Inseln als natürliche Wellenbrecher vorgelagert, sodass Strömungen, die entlang der ostfriesischen Inselkette von Westen nach Osten fortschreiten, mit ungeminderter Energie über Rinnen und Priele in das Wattengebiet eindringen können. Diese exponierte Lage bedingt eine starke morphologische Gliederung des Gebietes. Es besteht aus einem System von bis zu 20 Meter unter SKN (Seekartennull) tiefen Tiderinnen, Flachwassergebieten mit weit verzweigten Prielen, steilen Unterwasserböschungen sowie flach ansteigenden Platen und Sänden, deren Lage und Gestalt sich kontinuierlich verändern. Die einzige Insel in diesem Bereich ist die an der nördlichen Grenze des Hohe-Weg-Watts gelegene Vogelschutzinsel Alte Mellum mit einer Höhe von 6,50 Metern über SKN.

Aus historischem Kartenmaterial, das bis ins Jahr 1650 zurückreicht, ist ersichtlich, dass die Außenweser sich von je her aus zwei parallelen Rinnen zusammengesetzt hat. In diesem sogenannten Doppeltinnensystem entwickelte sich immer abwechselnd eine Rinne auf Kosten der anderen zur tieferen und strömungsschnelleren Fahrrinne, während die andere zu einem flachen Wattpriel degenerierte. Auch heute existieren zwei parallele Rinnen, die 14 Kilometer nördlich von Bremerhaven an der Stromspaltung Fedderwarder Arm/Wurster Arm einsetzen. In der westlichen Stromrinne, bestehend aus Fedderwarder Arm, Hohe-Weg-Rinne und Neue Weser, befindet sich das heute von der Großschifffahrt genutzte Hauptfahrwasser. Wurster Arm, Tegeler Rinne und Alte Weser bilden zusammen die wesentlich flachere östliche Nebenrinne. Beide Rinnensysteme werden von Süden nach Norden durch Robbenplate, Tegeler Plate und den Roten Grund voneinander getrennt (*Abbildung 2*) (Hovers, 1973).

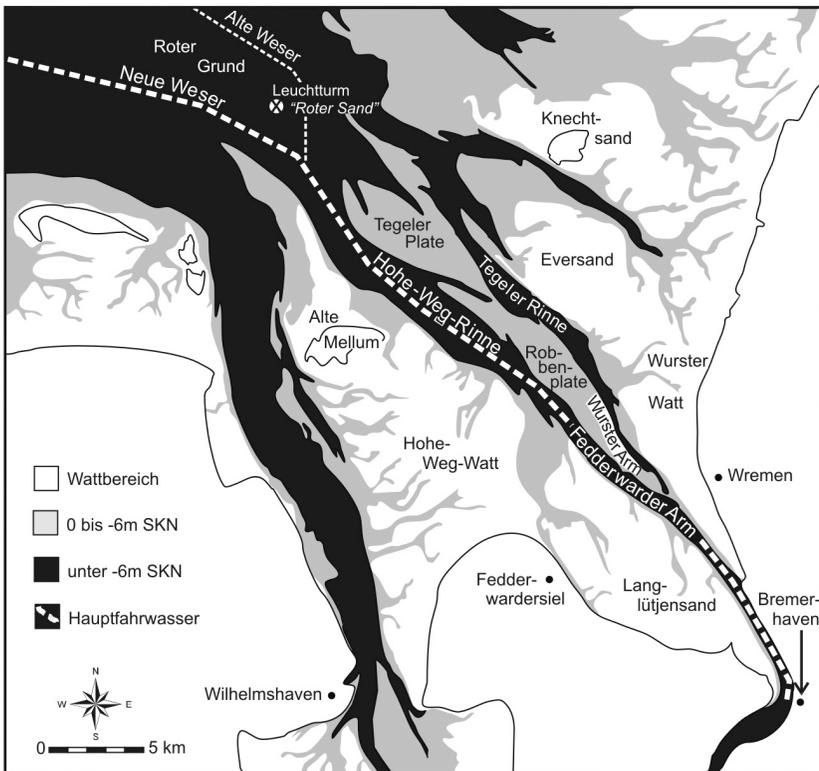


Abb. 2: Das Gebiet der Außenweser mit ihrem Doppelrinnensystem

3 Hundert Jahre Korrekturmaßnahmen in der Außenweser

3.1 Fahrwasserprobleme auf der Weser

Nachweisbar wird die Weser seit dem 8. Jahrhundert von Handelsschiffen befahren. Bis ins 18. Jahrhundert hinein hatte sich der Fluss in seiner ganzen Länge zu einem bedeutenden Handels- und Schifffahrtsweg entwickelt, auf dem zahlreiche Waren der landwirtschaftlichen und gewerblichen Produktion transportiert wurden. Heute trifft dies nur noch für Außen- und Unterweser zu. In diesem Abschnitt stellt die Weser nach der Elbe die zweitwichtigste deutsche Seeschiffahrtstraße dar (transportierte Güter 1994: 36 Millionen Tonnen).

Dagegen ist auf der Mittelweser seit Mitte der sechziger Jahre der Gütertransport rückläufig (1964: vier Millionen Tonnen, 1994: 2,5 Millionen Tonnen). Die Oberweser hat ihre Funktion als Schifffahrtsweg weitgehend verloren; hier werden heute kaum noch Waren transportiert (1994: 10 000 Tonnen). Gründe für den Niedergang von Mittel- und Oberweser als Gütertransportweg waren der Ausbau des Eisenbahn- und Straßennetzes, Mangel an großen Verbrauchs- und Produktionszentren, fehlende leistungsfähige Anschlusswasserstraßen sowie ungenügende Wasserstandsverhältnisse, speziell auf der Strecke zwischen Hameln und Hannoversch Münden (Brohm, 1999).

Auf der gesamten Weser wurde die Schifffahrt immer wieder durch ungünstige Fahrwasserverhältnisse beeinträchtigt. Die Gründe hierfür waren sehr vielfältig. So verursachte das verhältnismäßig kleine Einzugsgebiet der Weser eine eher geringe Wasserführung, die zudem jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen war. Daraus ergaben sich Probleme in Form von lang anhaltenden Niedrigwasserperioden, extremen Hochwasser, und im Winter behinderte starker Eisgang die Schifffahrt. Ein weiteres Problem stellte die zunehmende Versandung des Flusses dar. Dies machte sich insbesondere im Unterweserraum bemerkbar. Die Verflachung der Unterweser nahm so drastische Formen an, dass 1750 im Bereich von Bremen der Fluss nur noch eine Wassertiefe von 80 Zentimetern aufwies und daher eine normale Schifffahrt nicht mehr möglich war (Korinth, 2000; Busch et al., 1989). Ausgelöst wurde die Versandung durch umfangreiche, seit dem Hochmittelalter stattfindende Waldrodungen sowie durch die fortschreitende Umwandlung von Auewäldern in landwirtschaftlich genutzte Flächen. Beide Faktoren führten zu erhöhter Bodenerosion. Weitere Fahrwasserbeeinträchtigungen ergaben sich durch Stromschnellen, Stromspaltungen und im Flussbett liegende Felsblöcke. Erste Gegenmaßnahmen im 18. Jahrhundert beschränkten sich darauf, den Fluss von treibenden oder festsitzenden Baumstämmen und Geröll zu befreien und Sandbänke durch Baggerungen mit einfachen Windmühlenbaggern zu beseitigen. Diese lokalen Eingriffe waren allerdings nicht sonderlich effektiv und wirkten sich noch nicht verändernd auf das Hydrosystem der Weser aus (Brohm, 1999). Mit organi-

sierten, großflächigen Flussregulierungen wurde erst im 19. Jahrhundert begonnen. Bis heute hat sich die Gestalt der Weser vollkommen verändert.

Lag die Motivation für anthropogene Eingriffe zunächst noch in der Behebung von Fahrwasserproblemen begründet, so erfolgten ab dem Ende des 19. Jahrhunderts die vorgenommenen Weserausbauten in erster Linie mit dem Ziel, die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Bremer Häfen zu sichern. Die insbesondere in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Entwicklung im internationalen Seeverkehr mit steigender Gütermenge und der daraus resultierenden Größenentwicklung bei Containerschiffen machte es erforderlich, die Weser fortlaufend durch einen angemessenen Ausbau anzupassen. Baggerungen zur Vertiefung des Rinnenquerschnitts waren eine Reaktion auf die zunehmenden Schiffsgrößen und der damit einhergehenden Zunahme der Schiffstiefgänge. Durch Begradigung und Verengung des Stromes sollte der Gezeitenwelle ein möglichst glattes Ein- und Ausschwingen ermöglicht werden, sodass Seeschiffe mit Unterstützung der Tide die Häfen ungehindert anlaufen konnten. Zudem sollten durch die Errichtung von Strombauten wie Buhnen, Leitdämmen und Stauwerken Wassermassen und Strömungen kontrolliert gelenkt werden.

3.2 Ausbaumaßnahmen in der Außenweser

In der Unterweser versuchte man bereits ab 1738 die Fahrwasserverhältnisse durch kleinräumige Baggararbeiten zu verbessern. Bis heute wurde die Weser zwischen Bremen und Bremerhaven sukzessive von weniger als einem Meter Wassertiefe auf neun Meter unter SKN vertieft. Die Unterweser gehört heute zu den am stärksten regulierten und ausgebauten Flussabschnitten der Welt (Flügel, 1987; Wetzel, 1987).

In der Außenweser setzten anthropogene Eingriffe erst 1891 ein. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte sich das Doppelrinnensystem vollkommen natürlich entwickeln und wurde nur von den Gezeitenkräften gestaltet und verändert. Auf ständige Verlagerungen der Stromrinnen reagierte man ausschließlich mit der Verlegung von Tonnen und

anderen schwimmenden Seezeichen. Die natürlichen Fahrwassertiefen genügten dem ständigen Schiffsverkehr (Hovers, 1973).

Mit Beginn des 19. Jahrhunderts gab es jedoch tiefgreifende Veränderungen, was Größe und Art der auf der Weser fahrenden Schiffe angeht. Von größter Bedeutung für die Seeschifffahrt war der Übergang von hölzernen Segelschiffen zu stählernen Dampfschiffen, die Mitte des 19. Jahrhunderts bereits auf allen Überseelinien eingesetzt wurden. Zwischen Bremerhaven und New York gab es seit 1847 eine erste regelmäßige Dampfschifflinie. Diese technische Entwicklung ging mit einem immensen Wachstum der Schiffsgrößen einher (Brohm, 1999). Zwischen 1881 und 1887 wurden zum Beispiel von dem in Bremen ansässigen Norddeutschen Lloyd Passagierschiffe mit einem Tiefgang von 7,8 Metern in Dienst gestellt. Um diesen Schiffen eine möglichst tideunabhängige und somit uneingeschränkte Zufahrt zum Hafen in Bremerhaven zu ermöglichen, musste in die ungünstigen Fahrwasserverhältnisse und ungenügenden Fahrwassertiefen eingegriffen werden (Wetzel, 1987). Damit begann eine mehr als einhundert Jahre andauernde Periode des Außenweser-Ausbaus, die sich in drei Hauptphasen gliedern lässt.

Ausbau der östlichen Rinne (Wurster Arm) (1891 bis 1922)

Das Hauptfahrwasser der Außenweser befand sich zwischen 1825 und 1922 in der östlichen Stromrinne, die durch den Wurster Arm am Westrand von Wurster Watt und Eversand verlief (*Abbildung 3*). Ab 1891 wurden vier „Korrektionspläne“ erstellt, nach denen die Fahrrinne schrittweise auf zunächst acht Meter unter Tnw (Tideniedrigwasser) und schließlich auf zehn Meter unter Tnw vertieft werden sollte (Hovers, 1973).

Neben Baggerungen zur Herstellung der gewünschten Tiefe sind zusätzlich Strombauwerke wie Buhnen und Leitdämme errichtet worden. Strombauten in Tidestromrinnen wirken passiv oder aktiv regulierend auf die Strömungsverhältnisse ein. Passiv schützen sie als Verstärkung Wattkanten und Böschungen vor Abbrüchen und verhindern somit eine Versandung des Fahrwassers. Sie verändern aber auch

aktiv Richtung und Intensität von Strömungen. So kommt es zum Beispiel durch die Einengung des Rinnenquerschnittes zu einer Verstärkung der Strömung, wodurch die Selbststräumkraft eines Stromes erhöht wird. Des weiteren wird versucht, die Strömung bevorzugt in das Hauptfahrwasser zu lenken und Nebenrinnen zu schwächen. Zudem sollen Seitenverlagerungen und zu starke Rinnenkrümmungen verhindert und eine Lagestabilität der Rinne erreicht werden (Hovers, 1973). Da sich bis 1922 das betonnte Fahrwasser in der östlichen Rinne befand, konzentrierte sich bis zu diesem Zeitpunkt auch die Errichtung von Strombauwerken auf den östlichen Bereich der Außenweser, um hier, wie oben beschrieben, die hydrodynamischen Bedingungen zu optimieren. Insgesamt wurden drei Leitdämme errichtet: „Imsum“ am östlichen Rinnenrand, „Außenweser“ an der östlichen Wattkante von Langlütjensand sowie ein weiterer an der Südspitze der Robbenplate. Im Westen des Eversandes sind mehrere Bühnen gebaut worden.

Die Ausbaumaßnahmen im Wurster Arm waren allerdings nur kurzzeitig von Erfolg gekrönt. Die angestrebten Fahrwassertiefen konnten nie lange aufrechterhalten werden, und es kam immer wieder zu Versandungen (Hovers, 1973). Es gab bis zu diesem Zeitpunkt noch keine hydrologisch-morphologische Untersuchung der Außenweser, als Grundlage für die Durchführung von gezielten und nachhaltigen Strombaumaßnahmen. Erst während des Ersten Weltkriegs, als alle Strombauaktivitäten eingestellt waren, wurde von Baurat Ludwig Plate eine erste Bestandsaufnahme durchgeführt (Wetzel, 1987).

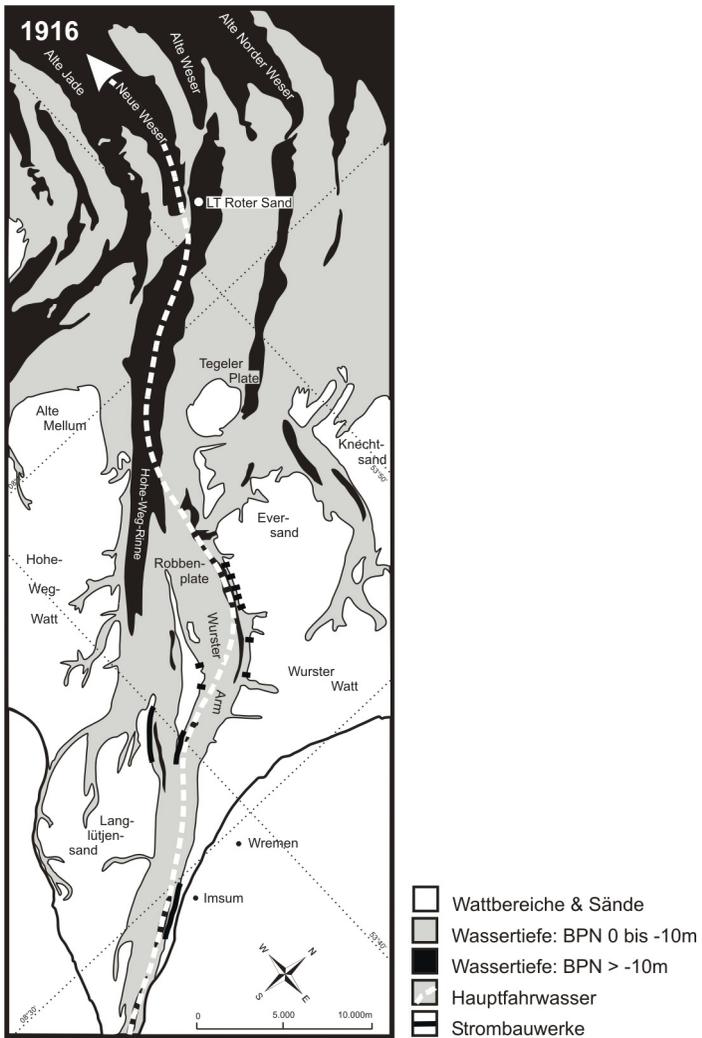


Abb. 3: Karte der Außenweser aus dem Jahr 1916 mit Wurster Arm als Hauptfahrwasser (Wassertiefen beziehen sich bis 1936 auf Bremer Pegelnull BPN)

*Fahrwasserverlegung und Ausbau des Fedderwarder Armes
(1922 bis 1968)*

1922 wurde entschieden, das Hauptfahrwasser von der östlichen Rinne in den westlichen Fedderwarder Arm zu verlegen. Die vorangegangenen Untersuchungen der hydrodynamischen Verhältnisse in der Außenweser hatten ergeben, dass auf lange Sicht ein Ausbau der Westrinne erfolgsversprechender sein würde. Als Ausbauziel wurde festgelegt, ein durchgehendes Fahrwasser mit einer Mindestdiefe von 10,3 Metern unter Tnw zu schaffen. Während die Strombauwerke in der Ostrinne nicht weiter unterhalten wurden und immer weiter verfielen, errichtete man im Bereich des Fedderwarder Arms am Langlütjensand sowie an der gesamten Westflanke der Robbenplate neue Leitdämme und Buhnen. Bis 1928 waren alle Arbeiten beendet und das Ausbauziel von 10,3 Metern unter Tnw erreicht. Die zwischen 1929 und 1931 vom Norddeutschen Lloyd in Dienst gestellten Schnelldampfer mit einem Tiefgang von 9,75 Meter konnten jetzt problemlos das Fahrwasser der Außenweser passieren. Der Wurster Arm war hingegen zu einer flachen Nebenrinne degeneriert (*Abbildung 4*).

In den folgenden 40 Jahren kam es zu keinem weiteren Ausbau. Es wurden ausschließlich Unterhaltungsarbeiten an Fahrrinne und Strombauwerken durchgeführt, die nur zur Zeit des Zweiten Weltkrieges unterbrochen werden mussten (Hovers, 1973).

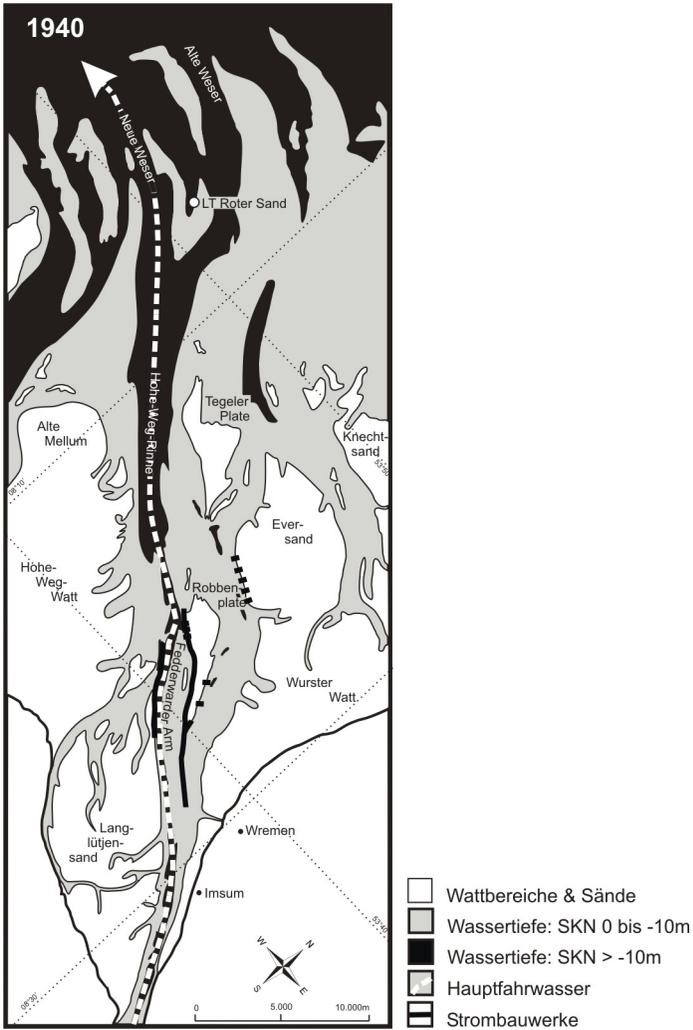


Abb. 4: Karte der Außenweser aus dem Jahr 1940 nach der Verlegung des Fahrwassers vom Wurster in den Fedderwarder Arm (Wassertiefen beziehen sich ab 1936 auf Seekartennull SKN)

Ausbau als Reaktion auf die Entwicklung in der Containerschiffahrt (1968 bis heute)

1968 wurde erneut entschieden, das Fahrwasser der Außenweser auszubauen. Mit einer Vertiefung auf 12 Meter unter SKN sollte neuen Generationen von Containerschiffen eine reibungslose und weitestgehend tideunabhängige Zufahrt zum Containerterminal in Bremerhaven gewährleistet werden. Es wurden Vertiefungs-baggerungen ausgeführt. Zudem gab es umfangreiche Strombaumaßnahmen am bestehenden Leitdamm- und Buhnensystem sowie die Errichtung weiterer stromleitender Buhnen. 1972 waren alle Arbeiten beendet (Wetzel, 1987).

Der bislang letzte Ausbau auf 14 Meter unter SKN wurde 1998/99 durchgeführt. Die Gründe sowie Baumaßnahmen dieses Außenweser-Ausbaus sollen im folgenden Kapitel näher beleuchtet werden.

4 Ausbau der Außenweser auf 14 Meter unter SKN

4.1 Gründe

Der sukzessive Ausbau von Schifffahrtswegen wie der Außenweser ist heutzutage in den steigenden Wachstumsraten des internationalen Containerverkehrs begründet. Zwischen 1990 und 2000 erreichten die jährlichen Wachstumsraten fast regelmäßig Werte um neun bis zehn Prozent. Für die kommenden zehn Jahre prognostizieren internationale Wirtschaftsinstitute eine Verdoppelung des Containerumschlagvolumens. Wachstumsträger werden dabei insbesondere der Containerverkehr zwischen Europa und Fernost sowie nach Nordamerika sein. Zudem haben aufgrund kontinuierlicher Zunahmen des Ladungsvolumens sowie eines erheblichen Kosten- und Rationalisierungsdrucks für die Reeder international verkehrende Containerschiffe in den letzten Jahren eine intensive Größenentwicklung erfahren. Zwar werden nach wie vor zum größten Teil Containerschiffe der zweiten und dritten Generation mit einer Ladekapazität zwischen 2 000 und 4 000 TEU (Twenty-Foot-Equivalent-Unit) eingesetzt, doch seit 1990 wurden auch Containerschiff-Riesen des sogenannten Panmax- und Post-Panmax-Typs mit einer Tragfähigkeit zwischen

4 000 und 8 000 TEU in Dienst gestellt. Diese Schiffstypen haben eine Länge von rund 300 Meter, sind bis zu 40 Meter breit und weisen Tiefgänge zwischen 14 und 18 Metern auf (*Abbildung 5*). Solche großen, kapitalintensiven Schiffe können nur unter optimierten Einsatzbedingungen wirtschaftlich betrieben werden. Sie verkehren deshalb in festen, zeitlich eng terminierten Fahrplänen. Werden Hafenanlagen und Fahrrinnen der Größenentwicklung von Containerschiffen nicht angepasst, entstehen für die Reedereien Ladungsverluste und Wartezeiten, da einige der Frachterriesen bestimmte Fahrwasserabschnitte nur unvollständig beladen passieren können oder ein sehr kleines Tidefenster besteht, währenddessen sie in die Häfen ein- oder auslaufen können. Ein Hafenstandort wie Bremerhaven muss daher immer wieder mit entsprechenden Anpassungen der Hafeninfrastruktur, wie der Erweiterung seines Containerterminals und der stetigen Vertiefung der Außenweser, reagieren, um ein Abwandern bedeutender Containerreedereien zur europäischen Konkurrenz in Rotterdam und Antwerpen zu verhindern (Rodiek, 1997).

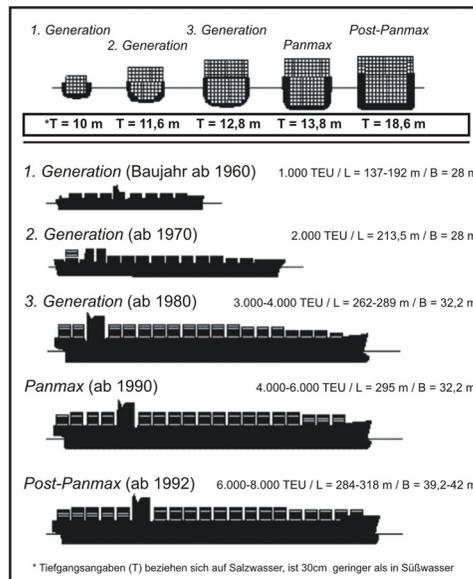


Abb. 5: Größenentwicklung von Containerschiffen

4.2 Vertiefungsbaggerungen

Im Zeitraum von Juni 1998 bis Januar 1999 fand nach neunjähriger Planungsphase die bis jetzt letzte Vertiefungsmaßnahme im Bereich der Außenweser auf 14 Meter unter SKN statt. Grundsätzlich ist bei jedem Fahrriennausbau zu beachten, dass die Sohle eines Flusses keine einheitliche Ebene darstellt. Aufgrund natürlicher, strömungsbedingter Variabilitäten treten auch in der Außenweser Bereiche auf, die um einige Meter tiefer liegen als die Sollsohle von SKN-14 Meter. Die Fahrrinne musste daher nur streckenweise vertieft werden. Lediglich 30 Prozent der gesamten Außenweserstrecke waren von Baggerarbeiten betroffen (*Abbildung 6*). Neben großflächigen Baggerstellen wurden insbesondere in der sogenannten Riffelstrecke der Neuen Weser Kuppen mit geringem Mengenaufkommen aber einem maximalen Vertiefungsmaß von 2,4 Meter beseitigt. Insgesamt lagen die Baggereingriffstiefen überwiegend in der unteren Größenordnung zwischen einem halben und einem Meter. Maximale Vertiefungsmaße von zwei Metern und mehr blieben auf weniger als fünf Prozent der gesamten Ausbaustrecke beschränkt. Die Ausbaustrecke ist in mehrere Baggerfelder unterteilt worden, die einmal kompakt bis zur Solltiefe von SKN-14 Meter gebaggert wurden. Im gesamten Durchführungszeitraum der Vertiefungsbaggerungen wurden täglich zwischen 20 000 und 60 000 Kubikmeter Boden aus der Fahrrinne entfernt. Unmittelbar nach Fertigstellung des letzten Baggerfeldes gab es eine einmalige Nachbaggerung in der gesamten Fahrrinne, um die bis dahin wieder eingetriebene Sedimentmenge von rund 526 000 Kubikmetern zu beseitigen (Rodiek und Steege, 2001). Die Ausbaubaggerungen erfolgten ausschließlich mit Hilfe des Einsatzes von Hopperbaggern. Dieser freifahrende Bagger-Typ nimmt Bodenmaterial durch ein Saugrohr von der Gewässersohle auf und pumpt es in seinen Laderaum. Direkt anschließend wird das Baggergut zu geeigneten Klappstellen transportiert und dort verbracht. Beim Weserausbau wurden bis zu vier Hopperbagger gleichzeitig eingesetzt. Sie hatten ein Laderaumvolumen zwischen 6 000 und 23 000 Kubikmetern und maximale Abladetiefgänge zwischen 5,86 und 11,50 Meter (Rodiek und Steege, 2001).

Am 31. Januar 1999 waren alle Baggerarbeiten im Zuge des SKN-14 Meter-Ausbaus der Außenweser beendet. Insgesamt wurden acht Millionen Kubikmeter Sand aus der Fahrrinne entnommen. Die Gesamtkosten für die Weservertiefung beliefen sich auf 92 Millionen DM, wobei sich die Kosten für die Baggerungen auf 14,8 Millionen DM beliefen (WSA Bremerhaven, 2000).

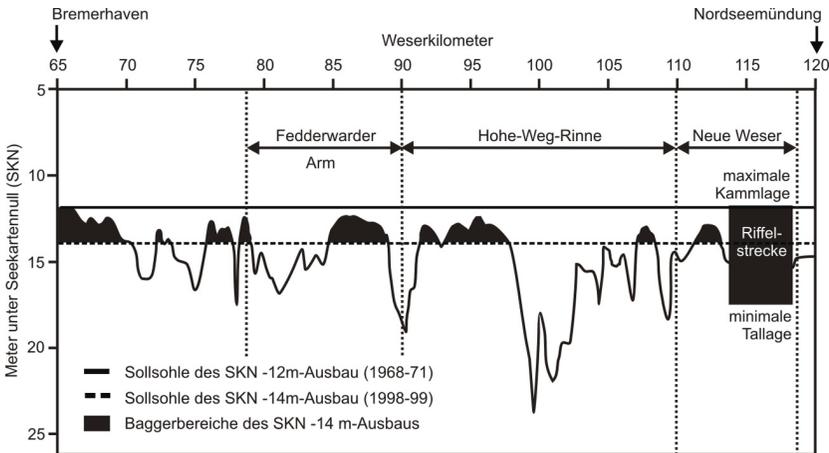


Abb. 6: Die Gewässersohle der Außenweser vor dem SKN-14 Meter-Ausbau (nach Rodiek und Steege, 2001)

4.3 Verwendung des Baggermaterials

Ein großer Teil des gebaggerten Materials (etwa drei Millionen Kubikmeter) ist zur vollständigen Verfüllung des Überseehafens in Bremen wirtschaftlich wiederverwertet worden. Weitere 1,7 Millionen Kubikmeter Sand wurden für bremische und niedersächsische infrastrukturelle Bauprojekte (unter anderem Wesertunnel bei Dedesdorf, B 71/Bohmsiel) verwendet. Dies bedeutete eine erhebliche Kosteneinsparung. Zudem konnte auf die Einrichtung neuer Ausbauplätze verzichtet werden. Die restliche Sedimentmenge von ca. 3,3 Millionen Kubikmeter ist auf die Klappstelle Rotergund verbraucht worden. Diese Ausbauplätze befinden sich in der äußeren Außenweser (Weser-Kilometer 113 bis 116) in unmittelbarer Nähe

zum Leuchtturm Roter Sand. Das unter Denkmalschutz stehende Bauwerk war durch Kolkbildungen zunehmend gefährdet. Als Nebeneffekt der Verklappungen sollte hier der Sand möglichst nah am Fuß des Leuchtturmes verbracht werden, um seine Standsicherheit zu verbessern (Rodiek und Steege, 2001).

4.4 Resultat des Ausbaus

Heute gehört Bremerhaven zu den zehn weltweit größten Containerhäfen (Containerumschlagmengen im Jahr 2000: 2,4 Millionen TEU) und gewährleistet seit der Vertiefung der Fahrrinne auf 14 Meter unter SKN Containerschiffen mit einem Tiefgang von bis zu 12,80 Metern einen tideunabhängigen Zugang zu den Hafenanlagen (WSA Bremerhaven, 2000).

5 Folgen der Weserausbauten

Ein Ästuargebiet wie das Jade-Weser-Ästuar ist aufgrund seines natürlich vorherrschenden Strömungsregimes ständig morphologischen Veränderungen unterworfen. Da die dort stattfindenden sedimentologischen Prozesse sehr komplex und dynamisch sind, ist bislang kaum zu quantifizieren, welche Veränderungen natürlicher Herkunft sind und welche anthropogen hervorgerufen wurden (*Abbildung 7*). Festzustellen ist allerdings, dass Maßnahmen wie Fahrwasservertiefungen und Verklappungen eine sehr einschneidende Wirkung auf das natürliche morphodynamische System haben und daher einige Probleme nach sich ziehen. Es ist unter anderem zu beobachten, dass es direkt nach Vertiefungsbaggerungen zu einem verstärkten Wiedereintrieb des Sedimentmaterials in die Fahrrinne kommt, sodass gesteigerte, kostenintensive Unterhaltungsbaggerungen notwendig werden. Allerdings pendelt sich dieser Sedimenteintrieb, nachdem sich die Fahrinnensohle stabilisiert hat, auf eine normale Menge ein. Zudem sind die Wiedereintriebsmengen lokal sehr unterschiedlich und nicht zwangsläufig mit der Nähe zu Bagger- oder Klappstellen zu korrelieren. Auch in der Außenweser wurden sowohl im Anschluss an den SKN-12 Meter-Ausbau als auch dem SKN-14 Meter-Ausbau verstärkt

Unterhaltungsbaggerungen notwendig. Im ersten Jahr nach der Vertiefung auf 14 Meter unter SKN musste in der Außenweser mehr als das zwanzigfache der normalen Menge zur Unterhaltung der Fahrinne gebaggert werden (Rodiek und Steege, 2001).

Die Ausbauten der Weser hatten zudem eine stark verändernde Wirkung auf die Hydrographie des Flusses. Seitdem ab dem Ende des 19. Jahrhunderts damit begonnen wurde, den Rinnenquerschnitt sowie den Verlauf von Unter- und Außenweser massiv zu modifizieren, haben sich die Tidewasserstände deutlich verändert (Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1992; Wetzel, 1987). Das Mittlere Tideniedrigwasser hat sich seit 1882, insbesondere im Bereich der Unterweser, sehr stark abgesenkt, während das Mittlere Tidehochwasser im gesamten Weserästuar einen leichten Anstieg aufweist (*Abbildung 8*). Diese beiden Faktoren hatten wiederum einen Anstieg des Mittleren Tidehubs zur Folge. So ist zum Beispiel bei Bremen der Mittlere Tidehub zwischen 1882 und 1990 von wenigen Zentimetern auf über vier Meter angestiegen. In der Außenweser hatte der Anstieg sehr viel geringere Ausmaße; hier lag er im gesamten Abschnitt nur zwischen zehn und 30 Zentimetern (*Abbildung 9*). Die Tidehuberhöhung hatte im Unterweserraum massive Überschwemmungen zur Folge. Als Gegenmaßnahme wurde der gesamte Abschnitt mit Schutzdeichen bebaut, außerdem wurde zwischen 1906 und 1911 in Hemelingen eine Wehranlage als künstliche Tidegrenze errichtet.

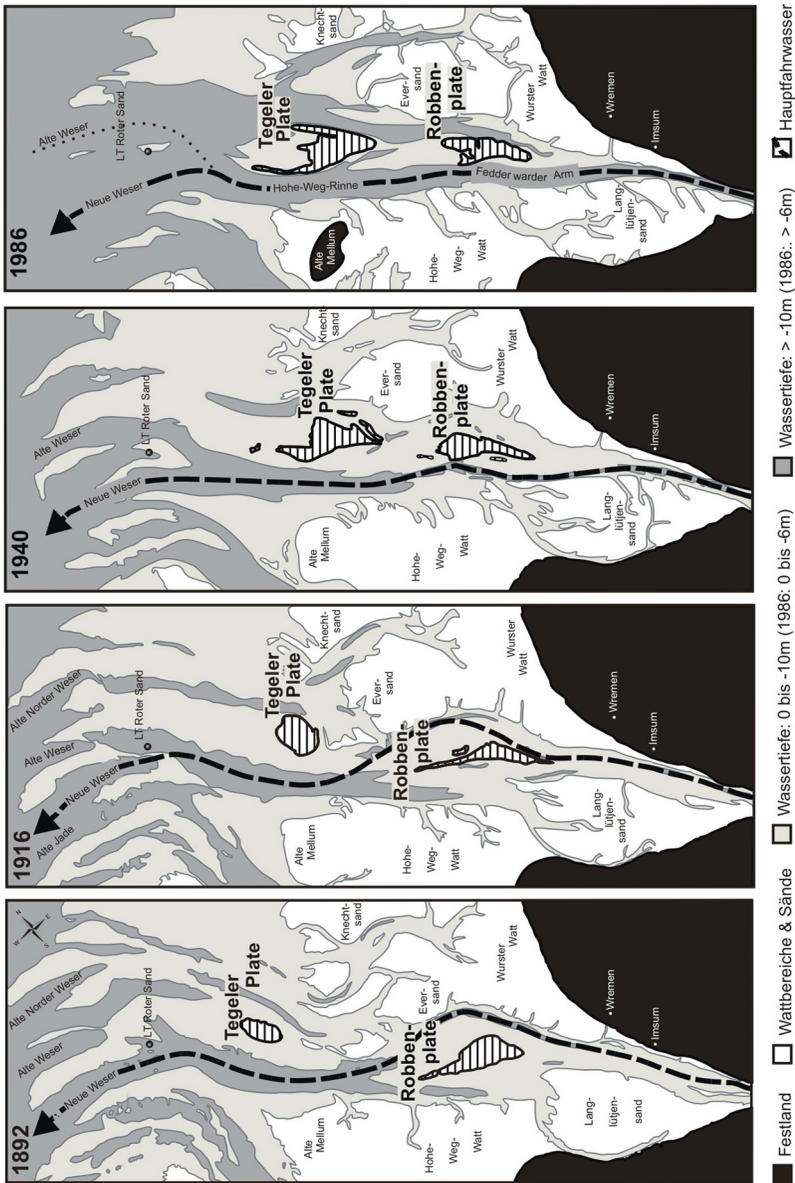


Abb. 7: Die Außenweser im Wandel der Zeit (1892 bis 1986)

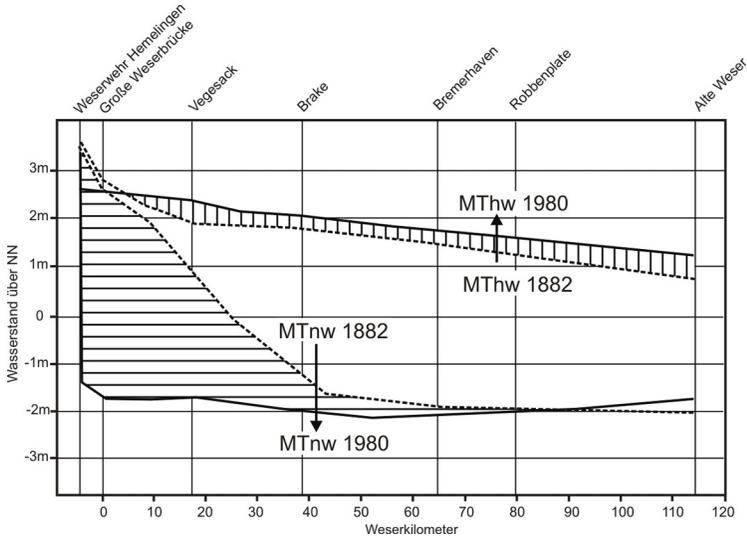


Abb. 8: Veränderung des Mittleren Tidehochwassers sowie des Mittleren Tideniedrigwassers zwischen 1882 und 1980 (Wetzel, 1987)

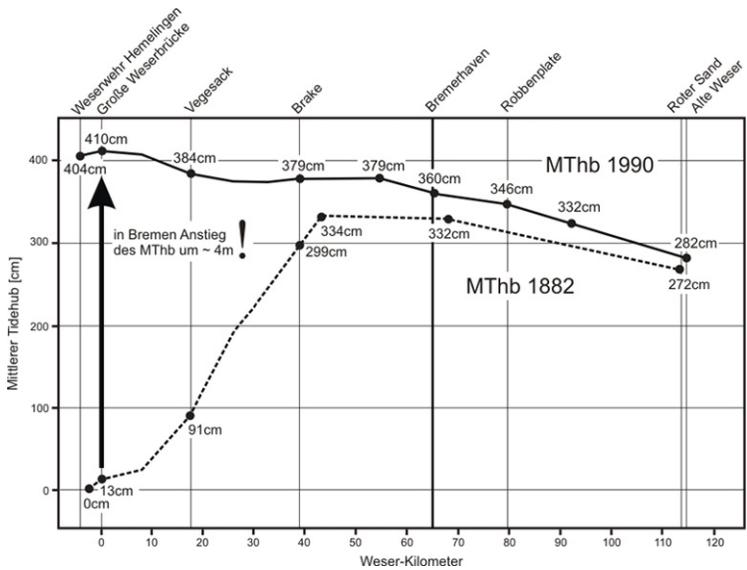


Abb. 9: Veränderung des Mittleren Tidehubs zwischen 1882 und 1990 (BfG, 1992)

6 Fazit

Dass der Ausbau von Stromrinnen gravierende Auswirkungen hat und welcher Art diese Auswirkungen sind, ist bekannt. Doch bis heute sind keine klaren und in Zahlen fassbaren Aussagen darüber zu machen, wie stark sich die Gestalt und die Morphodynamik eines Ästuar-Systems auf natürliche Weise verändern und wie groß der Einfluss von Baumaßnahmen ist. So erhöht sich zum Beispiel der Tidehub nicht nur aufgrund eines Fahrrinnen-Ausbaus, sondern auch als Folge des stetig ansteigenden Meeresspiegels.

Um eine genaue Quantifizierung natürlich bedingter und anthropogen beeinflusster Veränderungen in einem Ästuar wie dem der Weser machen zu können, müssen in noch stärkerem Maße als bisher grundlegende Untersuchungen zu den dort stattfindenden morphodynamischen Prozessen durchgeführt werden.

Literatur

- Brohm, U. (1999): „Die Weser als Transportweg“, in: Küster, B. (Hg.): *Die Weser 1800 – 2000*, Bremen: Donat-Verlag, S. 52–71.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (1992): „Umweltverträglichkeitsuntersuchung: Anpassung der Fahrrinne der Außenweser an die künftig gültigen Anforderungen der Containerschiffahrt, SKN-14 m-Ausbau“, Report-Nr. BfG-0664, Auftraggeber: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest und Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven, 217 S.
- Busch, D., Schirmer, M., Schuchardt, B., und Ullrich, P. (1989): „Historical Changes of the River Weser“, in: Petts, G.E., et al. (Hg.): *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, Chichester: Wiley, S. 297–321.
- Flügel, H. (1987): „100 Jahre Korrektio n der Unterweser und Haf enbau in Bremen“, in: *Jahrbuch der Haf enbautechnischen Gesellschaft*, Band 42, S. 49–82.
- Halpaap, R. (1999): „Die Weser – Ein archäologischer Rückblick“, in: Küster, B. (Hg.): *Die Weser 1800 – 2000*, Bremen: Donat-Verlag, S. 32–51.
- Hovers, G. (1973): „Der Einfluss von Strombauwerken auf die morphologische Entwicklung der Stromrinnen im Mündungstrichter eines Tideflusses, untersucht am Beispiel der Außenweser“, in: *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau*, Karlsruhe, 107 S.

- Korinth, D. (2000): „Der Fluss als Naturgewalt“, in: Kastler, J., und Lüpkes, V. (Hg.): „Die Weser. Ein Fluss in Europa – Aufbruch in die Neuzeit“, Begleitbuch zur Ausstellung: 1200 Jahre Geschichte und Kultur des Weserraumes, Band 2, Holzminden: Verlag Jörg Mitzkat, S. 22–55.
- Pritchard, D.W. (1967): „What is an estuary: Physical viewpoint“, in: Lauff, G.H. (Hg.): *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Nr. 83, S. 3–5.
- Rodiek, W. (1997): „Ausbau der Außenweser auf eine Mindesttiefe von 14 m unter Seekartennull“, in: *Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft* (Sonderdruck), Schifffahrts-Verlag Hansa, 12 S.
- Rodiek, W. und Steege, V. (2001): „Die Vertiefung der Außenweser und ihre Kompensationsmaßnahmen“, in: *Hansa*, 138. Jahrgang, Nr. 2, S. 44–55.
- Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Bremerhaven (2000): „Der SKN-14 m-Ausbau der Außenweser – Aktueller Stand Mai 2000“, in: *Beiträge zum 15. Hydrographentag 2000*, Deutsche Hydrographische Gesellschaft.
- Wetzel, V. (1987): „Der Ausbau des Weserfahrwassers von 1921 bis heute“, in: *Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft*, Band 42, S. 83–105.

Ingo Heidbrink

Fischdampfer in der Nordsee – Überfischung als Auslöser technischer Innovationen

Die Nordsee gehört gegenwärtig zu den am stärksten befischten Gewässern der Erde. Vorübergehende Fangverbote für einzelne Arten und ein nahezu unüberschaubares Regelwerk von fischereispezifischen Gesetzen und Verordnungen zeigen beinahe deutlicher als jede Fang- oder Bestandsstatistik, dass die internationalen Fangflotten, die in diesen Gewässern operieren, solch einen Fischereidruck ausgeübt haben, dass viele Fischarten permanent überfischt sind oder sich zumindest unmittelbar davor befinden.

Das übliche Erklärungsmuster hierfür lautet, dass die Entwicklung hochmoderner Fischereifahrzeuge mit ihrer Ortungs- und Fangtechnologie nahezu zwangsläufig zu dieser Situation führen musste, oder, kurz gesagt, dass die technischen Innovationen in der Fischerei kausaler Verursacher der gegenwärtigen Überfischung waren. Auch wenn dies für den Zeitraum der letzten Jahrzehnte mit großer Sicherheit zutreffend ist, lohnt es sich doch, einen Blick auf den Anfang der Phase der industriellen Hochseefischerei in Deutschland zu werfen und zu prüfen, ob diese These auch für diesen Zeitraum am Übergang vom 19. zum 20. Jahrhundert aufrecht erhalten werden kann.

Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts war die deutsche Seefischerei im Nordseegebiet im wesentlichen eine Küstenfischerei, die vergleichsweise kleine Fahrzeuge ohne Maschinenantrieb von maximal 20 Metern Länge nutzte (*Abbildung 1*) und oftmals sogar nur in den Mündungsgebieten der Weser und Elbe arbeitete. Die Fischer waren ganz überwiegend Handwerker, deren Betriebe nur mit geringem Kapital ausgestattet waren und die somit nur eine niedrige Inno-

vationsrate aufweisen konnten. Hinzu kam, dass der deutsche Markt für Fisch, mit Ausnahme des Herings, auf den in dieser Untersuchung nicht eingegangen werden soll, ein reiner Frischfischmarkt war, auf dem üblicherweise der noch lebende Fisch direkt vom Fischer an den Endverbraucher verkauft wurde. Hierdurch waren die Absatzmärkte weitgehend auf den unmittelbaren Küstenraum beschränkt. Alles in allem war somit die maximale Fangmenge begrenzt, und diese mit Ewern und Kuttern unter Segel ausgeübte Fischerei übte nur einen geringen Druck auf die Fischbestände in der Deutschen Bucht und der südlichen Nordsee aus.

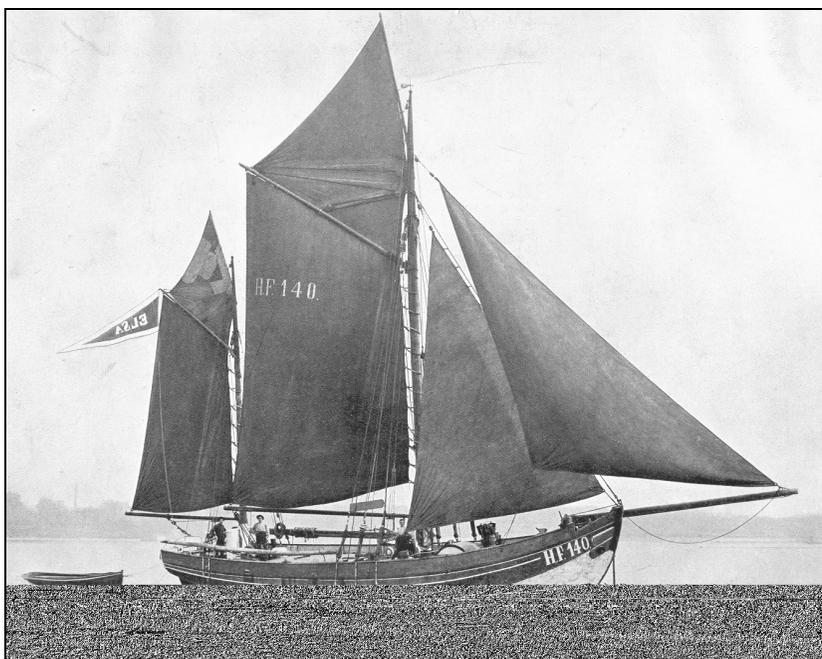


Abb. 1: Finkenwerder Fischkutter HF 140 ELSA (Archiv Deutsches Schifffahrtsmuseum)

Nach dem Anschluss der Seehäfen an das Eisenbahnnetz, zum Beispiel Bremerhavens im Jahre 1862/63, und der Reichsgründung 1870/71 veränderte sich diese Situation grundlegend. Einerseits stand

mit der Eisenbahn ein Verkehrsmittel zur Verfügung, das es ermöglichte, auch eine extrem schnell verderbliche Ware, wie Seefisch, innerhalb kürzester Zeit weit ins Binnenland zu transportieren, und andererseits gab es in den schnell anwachsenden Industrieregionen, wie zum Beispiel dem Ruhrgebiet, eine große Nachfrage nach billigen Lebensmitteln, die zumindest teilweise durch die Fischerei befriedigt werden konnte. Bis es zu einer grundlegenden Strukturveränderung der deutschen Seefischerei kommen sollte, war somit nur eine Frage der Zeit. Im Jahr 1884/85 fand sich mit dem Geestemünder (das ehemals preußische Geestemünde ist heute ein Bestandteil der Stadt Bremerhaven) Fischhändler Friedrich Busse der Unternehmer, der den entscheidenden Schritt unternahm. Busse schloss am 9. Juli 1884 mit der Bremerhavener Werft von Friedrich Wilhelm Wecke den Bauvertrag über den ersten deutschen Fischdampfer ab (Hoffmann, 1985, S. 221). Basierend auf britischen Erfahrungen, wie beispielsweise dem 1881 in Grimsby in Fahrt gekommenen Fischdampfer ZODIAC (Walter, 1999, S. 53), ging mit der SAGITTA (*Abbildung 2*) im Februar 1885 erstmalig ein deutsches Fischereifahrzeug in See, das unabhängig vom Wind war und somit nahezu kontinuierlich fischen konnte. Nach einem ökonomischen Misserfolg im ersten Betriebsjahr aufgrund der Ineffizienz der als Fanggeschirr verwendeten Angelleinen erhielt das mit 148 Bruttoregistertonnen vermessene Schiff noch während des Jahres 1885 Baumkurren nach britischem Vorbild und erzielte bereits 1886 ein ausgeglichenes Betriebsergebnis (Hoffmann, 1985, S. 227). Mit der SAGITTA hatte sich jedoch nicht nur die Antriebsart der Fischereifahrzeuge verändert, sondern der Fang wurde jetzt bereits auf See geschlachtet und auf Eis gelagert angelandet, was seine Haltbarkeit erheblich erhöhte, so dass in Kombination mit der Eisenbahn nahezu der gesamte deutsche Markt mit Frischfisch beliefert werden konnte.

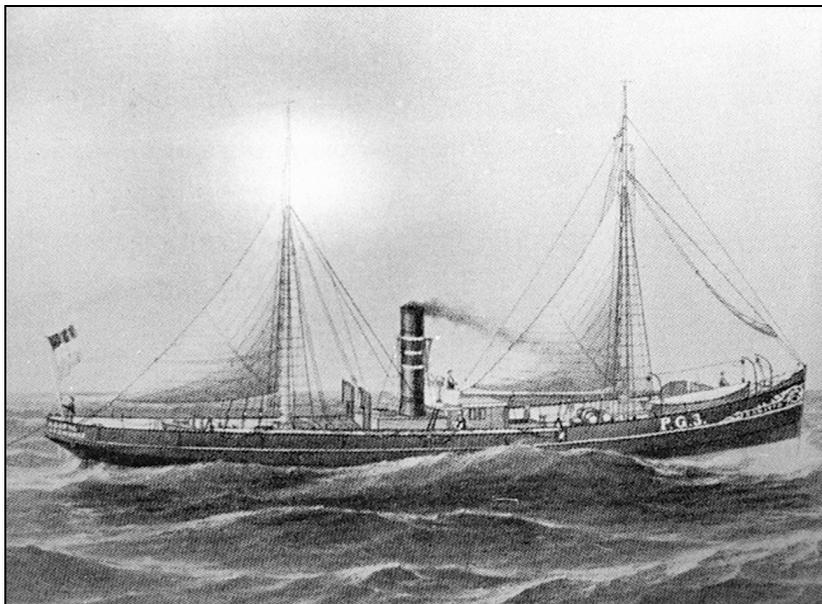


Abb. 2: Der erste deutsche Fischdampfer: PG 3 SAGITTA (Baujahr 1885) (Archiv Deutsches Schifffahrtsmuseum)

Der Erfolg dieses Konzepts blieb nicht aus und fand seine Nachahmer. Während es im Jahr 1885 nur einen Fischdampfer gab, waren es 1890 bereits 22 Schiffe diesen Typs, im Jahr 1895 88 und nur fünf Jahre später 123 (Baartz, 1991, S. 643). Die Fanggebiete, die von diesen Schiffen genutzt wurden, waren zunächst dieselben wie diejenigen der besegelten Seefischerei, die Deutsche Bucht und Teile der südlichen Nordsee. Somit konnte es nicht ausbleiben, dass auf die Fischbestände dieser Regionen ein erheblich erhöhter Fangdruck ausgeübt wurde, oder um es mit anderen Worten auszudrücken, eine beginnende Überfischung einsetzte. Eine von der National Seafishery Association im Jahr 1891 einberufene Konferenz, an der Delegationen sämtlicher Nordseefischereinationen teilnahmen, markierte den Wandel des Grundverständnisses der Fischbestände, indem sie das Postulat von deren Unerschöpflichkeit aufgab und jetzt sogar die Ver-

nehmung ganzer Bestände durch die Fischerei für möglich hielt (Meyer, 1947, S. 6f.). Die Anlandungszahlen der deutschen Hochseefischerei belegen zwar, dass die Hochseefischerei sich in einem kontinuierlichen Wachstum befand, in Relation zum Fischereiaufwand zeigen sie jedoch ebenso deutlich, dass im Bereich der Nordsee ein immer größerer Fischereiaufwand je gefangene Tonne Fisch betrieben werden musste (siehe *Tabelle 1* und *2*).

Tab. 1: Auktionsmenge an den deutschen Hochseefischereimärkten (1888 bis 1892)

Jahr	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897
Auktionsmenge (t)	1.981	4.160	8.169	12.594	16.178	20.335	24.945	24.945	29.589	29.590

(Baartz, 1991, S. 638)

Tab. 2: Durchschnittsfänge je Reisetag der Geestemünder Fischdampfer in der Nordsee

	Nordsee			
	Reisezahl	Reisetage	Fangmenge [t/Jahr]	Fangmenge je Reisetag [t/Tag]
1893	951	8.162	7.428	0,910
1894	1.306	9.780	10.673	1,091
1895	1.379	10.494	11.456	1,091
1896	1.466	11.545	10.208	0,884
1897	1.131	9.285	7.138	0,769

(Berechnet nach: Lundbeck, 1955)

Wenn auch dieser frühe Beginn der Überfischung der Nordsee noch nicht zu vergleichbaren ökologische Problemen in der Nordsee führte, wie sie heute allgegenwärtig sind, zwang er doch die Fischerei, neue Konzepte für eine weitere ökonomische Expansion zu entwickeln. Insbesondere die traditionelle Seefischerei mit Kuttern und Ewern musste auf die neue Konkurrenz der Fischdampfer reagieren, wenn sie weiterhin Bestand haben wollte.

Eine erste einschneidende Veränderung war der Beginn der Winterfischerei. Während zuvor Ewer und Kutter weitgehend eine winterliche Ruhezeit einhielten, gingen sie jetzt trotz der schlechten Wetter- und Seeverhältnisse in dieser Jahreszeit auf Fang (Broelmann und Weski, 1992, S. 60–63). Die folgenschwerste Konsequenz aus dieser Ausweitung der Fangsaison war die Zunahme der Schiffsverluste. Von 130 Kuttern und Ewern, die zwischen 1882 und 1912 verloren gingen, scheiterten 98 im Sturm oder strandeten, davon allein 70 in der Winterfischerei (Hauschild, 1912, S. 52). Als Reaktion auf diese Entwicklung und eine schlechte Ertragslage der Seefischerei förderte der Deutsche Seefischerei-Verein unter seinem Präsidenten Walther Herwig die technische Verbesserung der Ewer und Kutter. Hierbei stand neben der Motorisierung der Fangfahrzeuge und der Netzwinden die Umstellung der Fanggeschirre auf das moderne Scherbrettnetz im Mittelpunkt des Interesses (Lübbert, 1906) (*Abbildung 3*). Diese wurde zudem durch ein zinsgünstiges Darlehnprogramm des Reichsamtes des Inneren gefördert. Darüber hinaus führten Verbesserungen in der schiffbaulichen Konstruktion der Kutter und Ewer, vor allem im oberen Abschluss der Bunn, zu einer deutlichen Verbesserung der Schiffssicherheit und der Fähigkeit, auch bei ungünstigen Seeverhältnissen die Fischerei fortsetzen zu können. Einen besonderen Namen in diesem Zusammenhang machte sich der Wewelsflether Schiffbauer Junge durch zahlreiche konstruktive Verbesserungen.

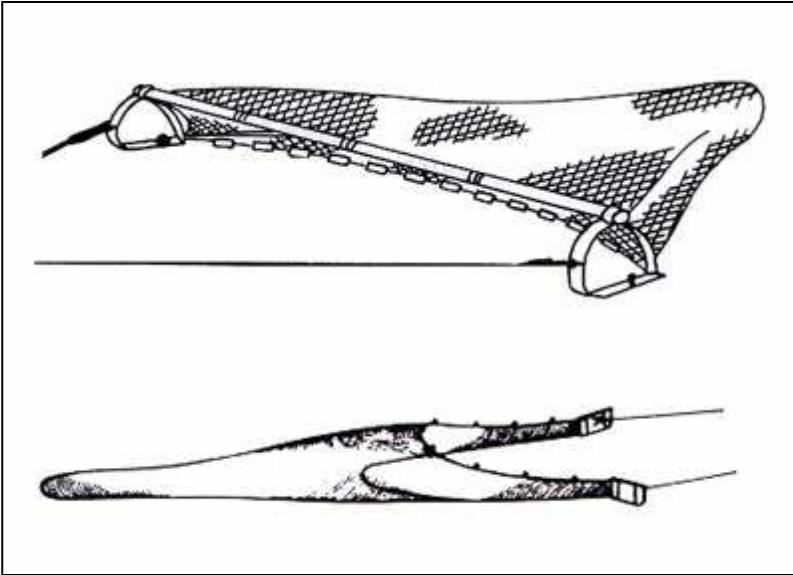


Abb. 3: Baumkurre und Scherbrettnetz (Archiv Deutsches Schiffahrtsmuseum)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die besegelte Seefischerei auf die zunehmende Konkurrenz der Fischdampfer und die beginnende Überfischung ihrer traditionellen Fangplätze mit technischen Innovationen reagierte. Der Wandel der Einstellung der Seefischer zur neuen Konkurrenz durch die industrielle Hochseefischerei lässt sich wohl am deutlichsten durch zwei Zitate aus den vielleicht bekanntesten literarischen Beschreibungen der Kutter und Ewerfischerei ablesen. Gorch Fock (an sich Johann Kinau) legt seinem Protagonisten für das Jahr 1887 folgenden Text in den Mund:

1887 schreiben wir, und die Hochseefischerei unter Segeln steht in Sommerblüte. [...] Wohl haben sie auf der Weser schon einen Fischdampfer, die kleine SAGITTA, aber unsere Fahrende lachen noch über den Smeukewer, wenn sie ihm begegnen. (Fock, 1943, S. 58)

Bei Albert Hotopp klingt es in einem Brief des Protagonisten an seine Frau wenig Jahre später dagegen schon erheblich pessimistischer, vielleicht aber auch eher der realen historischen Situation entsprechend:

Der Fang war gut. Drei Kutter waren hier in Geestemünde. Die Schollen haben ihr Geld gebracht. Wenn die Dampfers nicht wären, aber sie haben so viele Fische in ihrem Leib. Wir haben alles verkauft. Die Kutter, die hinter uns kamen, hebb nich so viel für de Schollen kriegen. Wir müssen bannig segeln und fischen. (Hotopp, 1986, S. 31f.)

Was geschah jedoch in derselben Zeit in der eigentlichen Hochseefischerei, dem Betrieb mit Fischdampfern?

Dem Rückgang der Fänge in der Deutschen Bucht und der südlichen Nordsee waren diese Schiffe zunächst selbstverständlich genauso ausgesetzt wie die kleineren Ewer und Kutter. Anders als diese besaßen die Fischdampfer aufgrund ihrer möglichen längeren Reisedauern und besserer Seefähigkeit eine weitere Handlungsoption: Sie konnten nicht nur die saisonale Einsatzzeit verlängern, sondern auch ihr Operationsgebiet vergrößern. Zwei wichtige Beschränkungen galt es jedoch zu beachten: So lange als einzige Konservierungsmethode für Frischfisch an Bord die Lagerung auf Eis zur Verfügung stand, war die maximale Reisedauer bis zur Anlandung durch die Verderblichkeit des Fisches auf einen Zeitraum von weniger als drei Wochen nach Fangbeginn begrenzt (Birkhoff, 1957, S. 38). Zusätzlich mussten im Fall großer Distanzen zum Fangplatz geeignete Bunkermöglichkeiten zur Verfügung stehen, um Kohle und Eisvorräte zu ergänzen.

Eines der ersten Gebiete, das seit 1891/92 von deutschen Fischdampfern außerhalb der Nordsee erschlossen wurde, waren die Fanggründe bei Island (Heidbrink, 2000, S. 56). Dieses Gebiet mit seiner Entfernung von etwa dreieinhalb bis vier Reisetagen zwischen den deutschen Fischereihäfen und den Fanggründen konnte prinzipiell von jedem Fischdampfer erreicht werden. Die trotz langer Reisezeiten sehr gute Relation zwischen Fischereiaufwand und Fangergebnis führte dann auch dazu, dass die Isländischen Fangplätze neben der

Nordsee schnell zu den bedeutendsten der Hochseefischerei wurden. (Tabelle 3).

Tab. 3: Durchschnittsfänge je Reisetag der Geestemünder Fischdampfer im Bereich Island

	Island			
	Reisezahl	Reisetage	Fangmenge [t/Jahr]	Fangmenge je Reisetag [t/Tag]
1893	4	53	41	1,293
1894	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
1895	1	15	151	10,067
1896	16	240	359	1,496
1897	40	594	838	1,411
1898	40	601	1.041	1,732
1899	93	1.379	2.171	1,574
1900	138	2.148	3.493	1,626

(Berechnet nach: Lundbeck, 1955)

Die schwierigen navigatorischen Bedingungen bei Island und die gerade in den Wintermonaten oft extremen Seeverhältnisse in diesen Gewässern hatten zur Folge, dass ab Mitte der 1890er Jahre eine Anpassung des Fischdampferbaus an dieses Einsatzgebiet stattfand. Zu viele wetterbedingte Strandungen an der isländischen Küste und auf der Reise nach Island verschollene Schiffe hatten die Erfordernis von Innovationen mehr als deutlich gezeigt. Die wichtigsten Entwicklungen waren neben einer gewissen Vergrößerung der Schiffe die Ausrüstung mit einem geschlossenen Ruderhaus und einer Walback (Walter, 1999, S. 31). Anders als in der besegelten Seefischerei handelte es sich hierbei jedoch nicht um eine unmittelbar aus der beginnenden Überfischung der Nordsee resultierende Innovation. Die technische Weiterentwicklung war vielmehr eine mittelbare Folge der Fanggebietsvergrößerung.

Noch offensichtlicher wird die Reaktion der deutschen Hochseefischerei auf die beginnende Überfischung der Nordsee im Fall der Bäreninsel.

In einem vertraulichen Brief des Präsidenten des Deutschen Seefischerei-Vereins, Herwig, an Admiral von Tirpitz vom 1. Januar 1898 wird erwähnt, dass andere Fischereinationen versuchten, ihre Fischerei durch die Entwicklung und Erprobung neuer Fischereimethoden zu fördern, jedoch keine systematische Erforschung neuer Fangplätze betrieben (Barthelmess, 2000, S. 430). Herwig schlug daraufhin vor, eine Expedition auszurüsten, um insbesondere nördlich 61° N Fischereibasen und zugehörige Fangplätze zu erkunden. Da es sich bei den in Frage kommenden subarktischen Inseln größtenteils um Gebiete handelte, deren territoriale Zugehörigkeit bis zu einem gewissen Grad umstritten war, gehen einzelne Autoren wie Barthelmess davon aus, dass diese Erkundung neuer Fanggründe aufs engste mit kolonialen Überlegungen des Deutschen Reichs verbunden war (Barthelmess, 2000, S. 430). 1898 wurde mit SMS OLGA eine erste Expedition zur Bäreninsel durchgeführt, der in den Jahre 1899 und 1900 je eine des Deutschen Seefischerei-Vereins folgte. Die Bäreninsel war von besonderem Interesse, da neben reichen Fischgründen in den Gewässern um die Insel auf der Insel selbst Kohlevorkommen vermutet wurden. An der Expedition im Jahr 1899 nahmen deshalb auch Bergbauexperten teil, die ein Versuchsbergwerk errichteten (Herwig, 1900). Obwohl die Bergbau- und Fischereiversuche erfolgreich verliefen, kam es in der Folgezeit weder zu einem Aufbau einer Fischereistation mit einer Kohleförderung größeren Stils, noch zu einer intensiven regelmäßigen Nutzung der Fangplätze in der Nähe der Bäreninsel. Die Kenntnis über die Fischgründe war jedoch vorhanden, und einzelne Reisen führten deutsche Fischdampfer in der Folgezeit wiederholt in diesen Teil des Nordost-Atlantiks.

Nach dem Ersten Weltkrieg versuchte der Deutsche Seefischerei-Verein nochmals, im Nordost-Atlantik Fuß zu fassen, indem er Anspruch auf ein Territorium auf Spitzbergen erhob. Wieder war es die Kombination aus reichen Fischgründen und Kohlevorkommen, die diese

Insel attraktiv erscheinen ließ. Bis in das Jahr 1928 zogen sich die Streitigkeiten mit Norwegen um den Gebietsanspruch hin, bevor sie mit einer Pachtvereinbarung beigelegt werden konnten (Bundesarchiv, Politisches Archiv AA/ Akte 51/229, 25934-1938). Doch auch hier galt, dass keine Fischerei zustande kam, die in ihrer Intensität nur annähernd mit derjenigen in der Nordsee oder bei Island vergleichbar war.

Die Überlegungen, der Überfischung der Nordsee durch eine einfache Erweiterung der Fanggebiete zu begegnen, war bis zu einem gewissen Grad an ihre Grenzen gestoßen. Während dies Konzept für den isländischen Raum noch problemlos aufging, waren die Bäreninsel oder Spitzbergen so weit entfernt, dass sie für Schiffe, die an die Haltbarkeitsgrenze auf Eis gelagerten Fisches gebunden waren, trotz geeigneter Fanggründe nur begrenzt nutzbar waren. Sollte die deutsche Hochseefischerei dauerhaft von der überfischten Nordsee unabhängig werden, waren erneute Innovationen erforderlich, die jedoch primär nicht der Erhöhung der Effizienz der Fischerei dienen sollten, wie diejenigen im Bereich der Kutter und Ewer, sondern der Loslösung von der durch die Haltbarkeit der Fänge vorgegebenen geographischen Beschränkungen des Einsatzgebiets.

Den Durchbruch brachte hier schließlich die Zeit der nationalsozialistischen Autarkiepolitik, welche die Hochseefischerei besonders förderte, da es mit ihr möglich schien, die Lebensmittelproduktion ohne Einsatz von Devisen nahezu unbegrenzt zu steigern. Eberhard Eichelbaum, Staatssekretär im Reichsernährungsministerium, merkte in diesem Zusammenhang 1936 an, dass sich für die deutsche Hochseefischerei keine Konsequenzen aus der Überfischung einzelner Seegebiete ergeben könnten, da die Fischdampfer im Bedarfsfall einfach zu neuen, unerschlossenen Fanggründen versiegeln könnten (Eichelbaum, 1936, S. 518). Die Interessen der Fischerei richteten sich dabei insbesondere auf die grönländischen Gewässer und die Seegebiete vor Neufundland. Französische, spanische und portugiesische Fischer arbeiteten zwar zu diesem Zeitpunkt bereits seit Jahrhunderten auf den Neufundlandbänken, produzierten dort aber ausschließlich Salz-

fisch (Bartz, 1964, S. 134), der im deutschen Markt keinen Absatz fand. Um ein für Deutschland taugliches Produkt anlanden zu können, waren erneute Innovationen notwendig, wenn auf die Überfischung der Nordsee aufs neue mit einer Erweiterung der Fanggründe reagiert werden sollte.

Zwar gab es mit dem am Ende der 1920er Jahre in Dienst gestellten Versuchsfischdampfer VOLKSWOHL bereits zuvor ein Schiff, das durch Tiefkühlung imstande sein sollte, den begrenzten Aktionsradius der Frischfischtrawler zu verlassen, doch erbrachte die Tiefkühlung nicht die erhofften Ergebnisse in Bezug auf Haltbarkeit und Qualität (Hilck und Hövel, 1979, S. 24). Zwei Projekte aus der nationalsozialistischen Zeit lösten die technischen Probleme der Tiefkühlung auf See schließlich am Übergang zwischen den 1930er und 1940er Jahren. Der Fischdampfer WESER wurde zum ersten deutschen Fangfabrikschiff umgebaut und ein ehemaliger Frachtdampfer zum Fabrikschiff HAMBURG. Beide Schiffe konnten durch den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs nicht mehr in ihren geplanten Einsatzgebieten arbeiten. Die HAMBURG wurde schließlich 1943 nahe Svolvær (Lofoten) versenkt, während die WESER den ganzen Krieg über ausschließlich in der für die Fahrzeuge der Hochseefischerei nur begrenzt geeigneten Ostsee zum Einsatz kam (Heidbrink, 2000b).

Mit der Niederlage und totalen Kapitulation im Jahr 1945 verlor Deutschland jede Handlungsoption, auf die Überfischung der Nordsee durch technische Innovationen an Bord der Fischdampfer oder eine Fortsetzung der Expansion der Fanggebiete zu reagieren. Die vom Alliierten Kontrollrat genehmigten Fischdampfer-Neubauten, die sogenannten Einheitsdampfer, durften nicht nur eine Größe von maximal 400 Bruttoregistertonnen nicht überschreiten, sondern ebenfalls keine fortgeschrittene Technologie, wie die Bauer-Wach-Abdampfturbine, nutzen (Dierks, 1949, S. 65). Die Fischdampfer waren somit wieder auf die Nordsee und die Gebiete bei Island angewiesen, da sämtliche fernen Fangplätze von ihnen nicht ökonomisch sinnvoll erreicht werden konnten.

Mit der Aufhebung der Schiffbaurestriktionen setzte in der Bundesrepublik wieder der Bau technisch weit fortgeschrittener Fischdampfer ein, von denen einzelne, obwohl sie noch immer reine Frischfischfänger ohne Tiefkühleinrichtungen waren, bereits 1953 die deutschen Fischereihäfen mit Kurs Neufundland verließen (Bartz, 1964, S. 135). Möglich war dies nur, weil diese Schiffe eine hohe Reisegeschwindigkeit besaßen und die Fanggründe vor Neufundland so ergiebig waren, dass die Schiffe innerhalb weniger Tage vollgefischt werden konnten. Es blieb allerdings zu diesem Zeitpunkt bei vereinzelt Reisen auf die Westseite des Atlantiks.

Mit dem Aufbau einer Flotte von Fangfabrikschiffen, das heißt Heckfängern mit Verarbeitungs- und Tiefkühlanlagen an Bord, veränderte sich die bundesdeutsche Hochseefischerei seit dem Ende der 1950er Jahre endgültig zu einer reinen Fernfischerei (*Abbildungen 4 und 5*). Die Nordsee war für diese Schiffe, die die Voraussetzungen für einen weltweiten Einsatz boten, endgültig kein relevantes Fanggebiet mehr. Während diese Schiffe auf allen Fangplätzen des Nordatlantiks operierten und teilweise auch den Südatlantik sowie das antarktische Randmeer befischten, verblieb die Kutterfischerei, teilweise auch als kleine Hochseefischerei bezeichnet, in der Nordsee. An der zum Einsatz kommenden Technologie hatte sich hier seit der Durchsetzung des Motorkutters nur noch wenig grundsätzliches verändert. Zwar wurden moderne schiffbauliche und antriebstechnische Erkenntnisse auch hier genutzt, und die elektronische Fischortung erlaubte auch für diese kleinen Schiffe eine erhebliche Steigerung der Effizienz, doch waren es weiterhin Seitenfänger, die großteils mit Baumkurren fischten und ihre Fänge auf Eis lagerten.



Abb. 4: Das erste deutsche Fangfabrikschiff: BX 655 HEINRICH MEINS (Baujahr 1957) (Archiv Deutsches Schifffahrtsmuseum)



Abb. 5: Fangfabrikschiff der dritten Generation: BX 713 ÖSTERREICH (Baujahr 1968) (Foto: F. Krüger, Archiv Deutsches Schifffahrtsmuseum)

Die seerechtlichen Auseinandersetzungen um die Fanggebiete bei Island (Thór, 1995, S. 203ff.) sowie die Fangplätze der anderen nordatlantischen Uferstaaten führten schließlich seit Beginn der 1970er Jahre in Verbindung mit der Ölkrise dazu, dass an einen weiteren Ausbau der eigentlichen Hochseefischereiflotte nicht mehr gedacht werden konnte. Deutschland stand für die Fischerei im wesentlichen nur noch die Nordsee beziehungsweise später das EU-Meer zur Verfügung. Die Nutzung anderer Fangplätze war von Lizenzverhandlungen und Quotenfreigaben bestimmt, die keinen dauerhaften Erhalt der Fabrikschifflotte sicherstellen konnten. Die Fangfabrikschiffe, deren dauerhafter Betrieb ohne eine eigene geeignete Fischereizone im Nordatlantik, nicht möglich war, wurden größtenteils verkauft oder verschrottet. Die deutsche Fischerei war wieder dort angekommen, wo sie begonnen hatte: Es wurde in der Tradition der besegelten Seefischerei (Groß-)Kuttern in der Nordsee gefischt (*Abbildung 6*), und die Hochseefischerei wurde weitgehend zum Geschäft anderer Nationen. Diese Großkutter entsprechen zwar hinsichtlich ihrer Größe den ersten Fischdampfern oder übertrafen diese sogar ein wenig. Auch waren und sind sie hinsichtlich der Maschinenleistung und Fangkapazität den frühen Fischdampfern weit überlegen. Aufgrund ihrer Betriebsstruktur – in der Regel befinden sie sich im Besitz eines Einzelfischers und nicht einer als Kapitalgesellschaft organisierten Reederei – und des bis auf wenige Ausnahmereisen auf die Nordsee begrenzten Einsatzgebietes gehören sie aber doch in die Tradition der Seefischerei und nicht der Hochseefischerei. Konsequenterweise reagierten sie deswegen auf die Überfischung der Nordsee in jüngster Zeit auch nicht mit einer Verlagerung oder Erweiterung ihrer Fanggebiete, sondern mit erneuten technischen Innovationen, die in diesem Fall die verstärkte Nutzung von selektiven Fanggeschirren und immer weiter fortgeschrittener Ortungstechnologie betraf.



Abb. 6: Moderner Großkutter beim Fang in der mittleren Nordsee
(Foto: I. Heidbrink)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Wirkungsgeflecht von Überfischung der Nordsee und technischen Innovationen in der deutschen Fischerei sich für den Bereich der Kutterfischerei und der Hochseefischerei grundsätzlich unterschiedlich gestaltete. Auch wenn die technischen Innovationen es einerseits erst ermöglichten, den Prozess der Überfischung zu forcieren, waren sie für die Kutterfischerei vielfach eher Reaktionen auf zurückgehende Fänge, wie sie beispielsweise durch die Konkurrenz der Fischdampfer in der Nordsee entstanden. Dieses Frühstadium der Überfischung war in der Kutterfischerei Auslöser der Innovationen. Die Hochseefischerei mit ihren Fischdampfern reagierte dagegen vollständig anders. Sobald sie die Auswirkungen der beginnenden Überfischung zu spüren bekam, erweiterte sie zunächst ihre Fanggebiete. Die hier zu beobachtenden technischen Innovationen, wie zum Beispiel die Entwicklung der Seefrostung, waren demzufolge keine unmittelbaren Folgen der Über-

fischung, sondern vielmehr mittelbare Reaktionen auf die Erfordernis, weit entfernte Fangplätze aufzusuchen.

Literatur

- Bundesarchiv, Politisches Archiv AA/ Akte 51/229, 25934–1938, Übersetzung: Auszug aus dem Übertragungs- und Hypothekenregister für Svalbard (Spitzbergen), soweit es das nachstehende Dokument betrifft, Grundbucheintragung 10/12,28.
- Baartz, Roland (1991), *Entwicklung und Strukturwandel der deutschen Hochseefischerei unter besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für Siedlung, Wirtschaft und Verkehr Cuxhavens*, Stuttgart.
- Barthelmess, Klaus (2000), „The bear Island Expeditions of the German Sea Fisheries Association as Camouflage for Secret German Governments Plans to Occupy the Island, 1897–1900“, in: Sigurðsson, Ingi and Skaptason, Jón (eds.), *Proceedings of the International Congress of the Arctic and Sub-Arctic Regions*, Reykjavík, pp. 429–435.
- Bartz, Fritz (1964), *Die großen Fischereiräume der Welt*. Band 1, Atlantisches Europa und Mittelmeer, Wiesbaden.
- Birkhoff, Conrad (1957), *Seefischerei in Gegenwart und Zukunft*, Bremerhaven.
- Broelmann, Jobst, und Weski, Timm (1992), „*Maria HF 31*“ *Seefischerei unter Segeln*, München.
- Dierks, August (1949), „Der Wiederaufbau der deutschen Hochseefischerei“, in: Sturtzel, Wilhelm und Hoppe, Hans (Hrsg.), *Im Wirkungskreis der deutschen Hochseefischerei*, Hamburg, S. 65–69.
- Eichelbaum, Eberhard (1936), „Ueber die ernährungspolitische Aufgabe der deutschen Fischerei“, *Deutsche Fischerei-Rundschau*, 1936, S. 517–519.
- Fock, Gorch (an sich Johann Kinau) (zitiert nach der Ausgabe 1943, ursprünglich 1913), *Seefahrt ist Not*, Hamburg.
- Hauschild, Harry (1912), *Die soziale Lage der Besatzung der deutschen Hochseefischereifahrzeuge*, Berlin.
- Heidbrink, Ingo (2000), „Fischdampfer von der Wesermündung unter Islands Küsten / Gufutogarar frá Weser-mynni við stendur Íslands“, in: *Kirche – Kaufmann – Kabeljau: 1000 Jahre Bremer Islandfahrt / Klerkar – kaupmenn – karfamidd: Íslandsferðir Brimara í 1000 ár*, Bremen, S. 55–74.

- Heidbrink, Ingo (2000b), „WESER und HAMBURG – Zwei frühe Fischereifabrik-schiffe“, *Deutsche Schifffahrt. Informationen des Fördervereins Deutsches Schifffahrtsmuseum*, 22/01, S. 13–15.
- Herwig, Walter (1900), „Die Expedition des Deutschen Seefischerei-Vereins in das nördliche Eismeer vom Jahre 1899“, *Mitteilungen des Deutschen Seefische-rei-Vereins*, 16, S. 1–36.
- Hilck, Erwin, und Auf dem Hövel, Rudolf (1979), *Jenseits von minus null. Die Geschichte der deutschen Tiefkühlwirtschaft*, (Köln).
- Hoffmann, Eduard (1985), „Fischdampfer ‚Sagitta‘ im Wandel der Zeiten“, *Jahrbuch der Männer vom Morgenstern*, 64, S. 217–249.
- Hotopp, Albert (zitiert nach der Ausgabe 1986, ursprünglich 1930), *Fischkutter H.F.13*, Hamburg.
- Lübbert, Hans O. (1906), *Die Einführung von Motor und Schernetz in die Deutsche Seefischerei*, Berlin.
- Lundbeck, J. (1955), *Statistische Jahres-Tabellen der deutschen Dampfhochsee-fischerei 1893–1922 bearbeitet und herausgegeben nach den Unterlagen des ehemaligen Deutschen Seefischerei-Vereins*, Hamburg.
- Meyer, Paul Friedrich (1947), *Raubbau im Meer. Ein Beitrag zur Ueberfischungs-frage unserer Meere*, Hamburg.
- Thór, Jón Th. (1995), *British Trawlers and Iceland 1919–1976*, Esbjerg.
- Walter, Wolfgang (1999), *Deutsche Fischdampfer. Technik, Entwicklung, Einsatz, Schiffsregister*, Hamburg.

Ann-Katrin von der Heide

Nordseeschutz und Umweltrecht – welche Rolle spielen internationale Meeresschutzvereinbarungen?

1 Einleitung

Der starken Verschmutzung internationaler Gewässer, den Gefahren durch umweltgefährdende Havarien auf den Meeren, der Umweltbelastung durch Schadstoffeinleitungen und andere Nutzungsinteressen wird die internationale Zusammenarbeit zum Schutze der Meeresumwelt bisher nicht gerecht. Zwar hat das internationale Recht zum Meeresschutz richtige Tendenzen. Es ist aber überfällig, dass die in ihrer Durchsetzungskraft noch relativ schwachen Regelungen des Umwelt-Völkerrechts der Bedeutung globaler Umweltressourcen nachkommen und der Meeresschutz in gemeinsamer internationaler Anstrengung verstärkt wird. Nationale Nutzungsinteressen stehen noch im Vordergrund, und nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien sind nur schwer durchsetzbar. Dafür ist nicht zuletzt die Aufteilung der Meere in unterschiedliche Hoheitszonen verantwortlich sowie das damit verbundene und von Nutzungsinteressen geprägte Denken in nationalen Grenzen.

Was umfasst Meeresverschmutzung, welche Nutzungen, Schadstoffeinträge und Eintragswege gibt es? Wie ist es um die vor unserer Haustür gelegene Nordsee bestellt? Und warum haben die Meere überhaupt eine globale Bedeutung?

Als Hintergründe des internationalen Seerechts sollen in diesem Zusammenhang die beiden im Spannungsverhältnis stehenden Grundsätze des gemeinsamen Erbes der Menschheit und der Freiheit der Meere erläutert werden. Als Einstieg in den rechtlichen Part sind die Gründe für die Internationalisierung des Meeresschutzrechts und als wesentliche Grundlage für alle weiteren Vorschriften das Seerechts-

übereinkommen der UN von 1982 (SRÜ, in: Sands, 1994, S. 352ff.; BGBI. 1994 II, S. 1799) vorzustellen. Charakteristisch für das Seerecht ist die Aufteilung der Meere in verschiedene Hoheitszonen. Was bedeutet die Differenzierung in Küstenmeere, ausschließliche Wirtschaftszonen und Hohe See für die internationale Zusammenarbeit beim Meeresschutz und für das Niveau von Umweltschutzstandards? Am Fallbeispiel von umweltgefährdenden Havarien wie der PALLAS 1998 oder der TORREY CANYON 1967 sollen die möglichen Rechtsinstrumente zum Schutz vor solchen Katastrophen genannt und die Rolle von internationalen Regelungen in den verschiedenen Hoheitszonen deutlich gemacht werden. Mit einem weiteren Fallbeispiel am Ende dieses rechtlichen Teils wird auf das durch das SRÜ eingeführte Streitbeilegungskonzept und insbesondere auf die Rolle des Internationalen Seegerichtshofs in Hamburg eingegangen. Den Abschluss bildet ein Resümee über die bisherige Rolle des Völkerrechts zum Schutze der Meeresumwelt, die bestehenden Defizite und die zu nutzenden Chancen, die es bereit hält, um in der Zukunft für eine größere Sensibilisierung für den Schutz des gemeinsamen Naturerbes und eine entsprechend veränderte Handlungspolitik zu sorgen.

2 Hintergründe des internationalen Meeresschutzrechts

2.1 Meeresverschmutzung

Die Meere unterliegen verschiedenartigen intensiven Nutzungen. Neben dem Schiffsverkehr gehören traditionell die Nutzung des Meeres als Nahrungsquelle, als Rohstofflieferant und als Erholungsraum dazu. Die Meere fungieren auch als Entsorgungsort, indem sie einerseits ein Auffangbecken für die Schad- und Nährstofffrachten aus Flüssen und der Atmosphäre darstellen, andererseits in der Vergangenheit ausgiebig als Abladeraum für Abfallstoffe jeglicher Art verwendet wurden. Der Grund für die Nutzung der Meere als Müllhalde lag im oberflächlichen ökonomischen Nutzen dieser Entsorgung, die häufig kostengünstiger war als die Deponierung des Abfalls an Land (Cron, 1995, S. 33f.). Jede dieser Nutzungen bedeutet eine Belastung für die marine Umwelt durch Schadstoffeinträge. Hierzu zählen Nährstoffe,

Schwermetalle, Organohalogenverbindungen, Öl und radioaktive Stoffe (vgl. BT-Drs. 11/878, S. 5, sowie OSPAR-Commission, 2000). Für die Nordsee gilt, dass sich die Umweltsituation im Vergleich zu den letzten Jahren und Jahrzehnten durch die Reduktion von Schadstoffeinträgen verbessert hat, beispielsweise beim Eintrag von Schwermetallen und Organohalogenverbindungen. Allerdings konnten die Nitrateinträge nicht wesentlich reduziert werden, und der Eintrag von Produktionsabwasser durch die Offshore-Gas- und Ölindustrie hat sogar zugenommen. Noch immer gibt es an manchen Stellen der Nordsee Euthrophierungserscheinungen. Auch die schädlichen Auswirkungen der Fischerei konnten nicht deutlich reduziert werden. Die Tributylzinn-Konzentration (TBT), vorwiegend verursacht durch zinnhaltigen Schiffsanstrich, befindet sich in vielen Gebieten noch weit oberhalb der Grenzwerte.

Dies alles ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich die Intensität der Nutzungen der Nordsee durch die Zunahme des Seeverkehrs, die Verstärkung der Ausbeutung der lebenden und nicht-lebenden Ressourcen und die Realisierung neuer Planungen wie der Offshore-Windanlagen noch weiter erhöhen wird (OSPAR-Commission, 2000, S. 124).

Das nationale und internationale Recht zum Schutz der Meere orientiert sich an Differenzierungen, indem es jeweils an bestimmte Handlungsarten als Ursache der Meeresverschmutzung anknüpft. Bei diesen kann einerseits unterschieden werden zwischen landseitigen Einträgen, die fast 80 Prozent der Meeresverschmutzungen verursachen (beispielsweise Einleitungen von Flüssen oder direkte Abwasser-Einleitungen) und Einträgen aus dem Meer, wie zum Beispiel von Ölplattformen oder Schiffen. Andererseits ist eine Differenzierung nach der Art des Eintragspfades möglich: zwischen direkten Quellen, wie die Verbringung von Abfällen oder die direkte Einleitung von Stoffen, und diffusen Quellen, wie der Eintrag von Schadstoffen über die Atmosphäre oder der Eintrag aus der Landwirtschaft über die Flüsse.

Was fällt unter den Begriff der Meeresverschmutzung? Nach der ausführlichen Definition des Art. 1 Abs. 1 Nr. 3 SRÜ versteht man darunter:

- (1) die unmittelbare oder mittelbare Zuführung von Stoffen oder Energie durch den Menschen in die Meeresumwelt einschließlich der Flussmündungen,
- (2) aus der sich abträgliche Wirkungen wie eine Schädigung der lebenden Ressourcen sowie der Tier- und Pflanzenwelt des Meeres, eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit, (...)
- (3) ergeben oder ergeben können.

Aus der hier vorgenommenen Gliederung der Definition lassen sich drei wichtige Konsequenzen ziehen. Erstens werden dadurch, dass ausdrücklich die mittelbare Einleitung von Stoffen ausreicht, auch diffuse Eintragspfade erfasst, also beispielsweise Einträge über die Flüsse. Mit dem Bezug auf die Tier- und Pflanzenwelt des Meeres wird, zweitens, nicht nur auf die wirtschaftlich nutzbaren Meeresressourcen eingegangen, sondern die Meeresumwelt als solche geschützt (Cron, 1995, S. 66; Lagoni, 1992, S. 87ff., S. 119). Und drittens ist an dieser Definition interessant, dass es aufgrund des Wortlauts „ergeben oder ergeben können“ keiner nachgewiesenen Kausalbeziehung bedarf zwischen einer bestimmten Nutzung des Meeres und einer bestimmten Form der Meeresverschmutzung, sondern auch wahrscheinliche Ursache-Wirkungsbeziehungen ausreichen. Darin kommt ein Aspekt des Vorsorgeprinzips zum Ausdruck. Wichtig ist diese Auslegung des Begriffs der Meeresverschmutzung für die Verpflichtungen, die daran anknüpfen, insbesondere die Pflicht der Staaten, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um die Verschmutzung der Meeresumwelt zu verhüten, zu verringern und zu überwachen (Art. 194 SRÜ). Die demgemäß zu beobachtende und zu verringernde Verschmutzung der Nordsee erstreckt sich neben der zum Teil massiven Gewässerverunreinigung auf eine Schädigung der Tier- und Pflanzenwelt, die von einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit bestimmter Arten (man denke nur an die Auswirkungen von TBT-

haltigen Schiffsanstrichen auf die Fortpflanzungsfähigkeit von Meeresschnecken) bis zum Aussterben von Arten reicht. Sie führt nicht zuletzt zu einer Anreicherung von Schadstoffen in der Nahrungskette, die sich auf die Gesundheit des Menschen auswirken kann.

2.2 Das Prinzip des gemeinsamen Erbes der Menschheit

1967 setzte sich die Vorstellung von den Ozeanen als gemeinsames Erbe der Menschheit durch, die von Arvid Pardo, dem damaligen maltesischen Botschafter bei der UN-Seerechtskonferenz, lanciert wurde. Der Grundsatz wurde von allen anwesenden Partnerstaaten unterstützt, wobei darunter vorrangig die gleichberechtigte Nutzung und Ausbeutung der Ressourcen verstanden wurde. Im Laufe der Jahre entwickelte sich zunehmend eine weitere Dimension: die Schonung der gemeinsamen Ressourcen. Festgehalten ist das Prinzip des gemeinsamen Erbes der Menschheit in Art. 136 SRÜ. In Art. 137 SRÜ wird das Konzept näher erläutert:

- (1) Kein Staat darf über einen Teil des Gebiets oder seiner Ressourcen Souveränität oder souveräne Rechte beanspruchen oder ausüben; ebenso wenig darf sich ein Staat oder eine natürliche oder juristische Person einen Teil des Gebiets oder seiner Ressourcen aneignen. (...)
- (2) Alle Rechte an den Ressourcen des Gebiets stehen der gesamten Menschheit zu, in deren Namen die Behörde handelt. Diese Ressourcen sind unveräußerlich. (...)

Aufgrund der Änderungsverbotsklausel nach Art. 311 Abs. 6 der Konvention gilt das Prinzip als zwingende Rechtsvorschrift, von der die Vertragsparteien nicht abweichen dürfen.

Der Grundsatz vom gemeinsamen Erbe der Menschheit dringt darauf, die Ressourcen als „Treugut“ zu verstehen (Mann Borgese, 1999, S. 173) und nicht als Zuweisung von staatspezifischen Besitzrechten. Das Verständnis eines „Treugutes“ kommt der Vorstellung von einem gemeinsam von allen Staaten zu schützenden globalen Umweltgut nahe. Ohne ausdrücklich genannt zu werden, gehört der Schutz der Umwelt und der Ressourcen als wichtiges Element des internationa-

len Seerechts neben wirtschaftlicher Entwicklung, der Gleichberechtigung der Staaten und Völker sowie Frieden und Sicherheit zu den vier Dimensionen des Prinzips (Mann Borgese, 1999, S. 179). Die Idee des gemeinsamen Erbes der Menschheit ist mit der Forderung nach Nachhaltigkeit eng verbunden. Nicht ohne Grund wird das SRÜ daher als Grundstein für die späteren internationalen Verhandlungen zum Umweltschutz im Rahmen der UN-Übereinkommen von Rio 1992 angesehen.

2.3 Der Grundsatz der Freiheit der Meere

Wie ist der Grundsatz der Freiheit der Meere mit dem Schutz der Umwelt und seiner Ressourcen zu vereinbaren? In welchem Verhältnis stehen die beiden genannten Prinzipien?

Das Verständnis der Freiheit der Meere hat sich geschichtlich entwickelt und nahm seinen Anfang mit Hugo Grotius. Nach dessen Lehre war der Meeresraum „res communis“ und nicht vereinbar mit sich gegenseitig ausschließenden Territorien (vgl. Mann Borgese, 1999, S. 175). Grotius proklamierte ein Naturrecht auf freie Meeresnutzung und rechtfertigte damit als Anwalt der ost-indischen Gesellschaft die Kaperung eines portugiesischen Frachtschiffs durch holländische Seefahrer (Gröh, 1988, S. 17). Die „Freiheit der Meere“ nahm im folgenden unterschiedliche Formen an, blieb aber ein Mittel, nationale Interessen durchzusetzen (vgl. Gröh, 1988, S. 15ff.). Ausbeutung und Machterhaltung standen im Vordergrund, nicht aber der Schutz der natürlichen Ressourcen durch gemeinsame Anstrengungen gleichberechtigter Staaten. Seit den 1950er Jahren entstand eine Diskussion über die Neuordnung und Verrechtlichung der Ausbeutung der Meere als Anpassung des Konzepts der Freiheit der Meere an die zunehmende Erkenntnis der Erschöpfbarkeit der Ressourcen (vgl. Biermann, 1994, S. 37f.). In diesem Zusammenhang ist auch die Truman-Proklamation von 1945 zu nennen, wonach die USA Anspruch erhoben auf alle Ressourcen im Bereich ihres Festlandssockels. Zugleich wurde zwar darüber nachgedacht, angesichts von „Nord-Süd-Konflikten“ eine größere internationale Verteilungsgerechtigkeit bei der

Nutzung der Meere zu erreichen (Gröh, 1988, S. 9). Die Industrieländer waren aber vorwiegend auf ihren eigenen Vorteil bedacht, und die Küstenstaaten sicherten sich durch die Schaffung von 200 Seemeilen (sm) breiten Wirtschaftszonen (eine Seemeile sind circa 1,85 Kilometer) und zum Teil noch weiterreichenden Festlandsockeln die Vergrößerung ihres Staatsgebiets um durchschnittlich das Doppelte sowie die Ausbeutungsrechte für die bekannten Ölvorkommen und Fischbestände. Der Meeresboden im Sinne einer „Allmende“ für die gesamte Menschheit wurde so zu zwei Fünfteln den Küstenländern zugeteilt (Gröh, 1988, S. 10), die in diesen Gebieten die Ressourcen ohne die Einmischung anderer Staaten ausgiebig ausbeuten konnten. Aufgrund der Ausweitung nationaler Jurisdiktion auf den Ozeanraum hat sich der internationale Raum, der keinerlei nationalen Hoheitsrechten unterliegt, stetig verkleinert, und der Grundsatz der Freiheit der Meere gilt seitdem nur noch für die Hohe See. Er umfasst den Anspruch, dass die Bürger aller Staaten alle Formen der Meeresnutzung frei ausüben können. Bereits das Genfer „Hohe See-Übereinkommen“ von 1958 bestimmte als Freiheiten der Hohen See die Schifffahrts- und Fischereifreiheit, den freien Überflug und die Freiheit, unterseeische Kabel und Pipelines zu verlegen (Art. 2 *Convention on the High Seas*, 1958, in: Burhenne, 1974, 958:33; vgl. Gröh, 1988, S. 18). Die Forschungsfreiheit wurde stillschweigend mitumfasst und ist jetzt durch das SRÜ ausdrücklich aufgenommen (Art. 87 SRÜ).

Das Ergebnis war und ist der freie Wettbewerb bei der weltweiten Ausbeutung lebender und mineralischer Rohstoffe (Gröh, 1988, S. 14). Die Umsetzung des Grundsatzes der Freiheit der Meere widerspricht somit dem Schutz der natürlichen Ressourcen und ist mit einer nachhaltigen Bewirtschaftung nur schwer in Einklang zu bringen. Vorrangig geht es auch in dem staatsfreien Raum der Hohen See um die Verfolgung nationaler Interessen, die größtmögliche Ausübung von Herrschaftsgewalt und die wirtschaftliche Vormachtstellung auf dem Weltmarkt.

Um das Spannungsverhältnis zwischen dem Grundsatz der Freiheit der Meere und dem Verbot der Meeresverschmutzung in Überein-

stimmung zu bringen (vgl. Ehmer, 1974), muss die Zukunft der Weltmeere im Sinne von nachhaltigen Strategien geplant und entwickelt werden (zur Nachhaltigkeitsstrategie vgl. die Arbeiten des *Club of Rome*, Meadows, 1972; Meadows, 1994; Meadows, 1995, sowie den sogenannten Brundlandt-Bericht, WCED, 1987, und BUND/Misereor, 1996). Dass die Rechtsgüterabwägung bisher noch zu oft zugunsten von wirtschaftlichen Interessen und zulasten der Gesundheit von Mensch und Umwelt ausschlägt, zeigt sich bei den internationalen Abkommen. Darin erklären sich die Staaten für die Meeresverschmutzungen zwar zuständig, schränken diese aber durch die Bestimmung von „illegaler Meeresverschmutzung“ nur ein und verhindern sie nicht grundsätzlich (Gröh, 1988, S. 118).

Ein Schritt in die richtige Richtung ist die zunehmende Durchsetzung von internationalen Schutzgebieten innerhalb der Meere, beispielsweise von Walschutzzonen als Form des Artenschutzes. Im Wattenmeer wurde ein UNESCO-Biosphärenreservat im Rahmen des Manand-Biosphere-Programms anerkannt. Zur Erhaltung und Förderung von Feuchtgebieten als Voraussetzung für artenreiche Pflanzen- und Tiergesellschaften wurde das gesamte Wattenmeergebiet von Dänemark bis in die Niederlande als schutzwürdiges Gebiet nach der internationalen Ramsar-Konvention „über Feuchtgebiete, insbesondere als Lebensraum für Wasser- und Wattvögel, von internationaler Bedeutung“ (*Convention on Wetlands*, Ramsar 1971, in: Sands, 1994, S. 737ff.) ausgewiesen. Im Rahmen der internationalen MARPOL-Konvention (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, London 1973/1978, in: Sands, 1994, S. 326ff., S. 341ff.; BGBl. 1984 II, S. 231) wurden die Nord- und Ostsee zum „Sondergebiet“ erklärt, in denen besondere und schärfere Standards gegen die Verschmutzung durch Schiffe gelten (vgl. für die Nordsee Anlage V MARPOL – Verhütung der Verschmutzung durch Öl, für die Ostsee Anlage I MARPOL – Verhütung der Verschmutzung durch Schiffsmüll; Cron, 1995, S. 115f.). Auch das Übereinkommen über die biologische Vielfalt von 1992 (Sands, 1994, S. 845ff.; BGBl. 1993 II, S. 1742) kann als Grundlage für die Einrichtung von Schutzgebieten für Meeressäuger oder sonstige aquatische Ökosysteme herangezogen

werden. Für das Wattenmeer wird die Ausweisung als Weltnaturerbe angestrebt. Im Bereich der Nordsee, deren Anrainerstaaten bis auf Norwegen EG-Mitgliedstaaten sind, gelten darüber hinaus gemeinschaftsrechtliche Schutzkonzepte. Für das Wattenmeer wurden Vogelschutzgebiete nach der EG-Vogelschutzrichtlinie 79/409/EWG (ABl. EG 1979, Nr. L 103/1) und besondere Schutzgebiete für das Netz NATURA 2000 nach der FFH-Richtlinie der EG (Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, ABl. EG 1992, Nr. L 206/7) gemeldet.

Insgesamt kann von einer Spannungslage zwischen der Nutzung und dem Schutz des Meeres gesprochen werden, die durch das SRÜ bisher nicht entschieden wurde (Vitzthum, 1997, 5. Abschnitt, Rn. 124, a.A. Czybulka, 1999, S. 564, der von einem relativen Gleichgewicht zwischen Schutz und Nutzung im Völkerrecht spricht). Es bleibt zu hoffen, dass sich in Zukunft das Gewicht hin zum Schutz durch die verstärkte Ausweisung und Bedeutungszumessung von Schutzgebieten verlagert.

3 Meeresschutz und internationales Umweltrecht

3.1 Internationalisierung des Meeresschutzrechts

Das internationale Meeresschutzrecht ist – wie das Völkerrecht allgemein – ein zwischenstaatliches Recht. Es bindet unmittelbar nur die Staaten als Adressaten völkerrechtlicher Rechte und Pflichten, während ihre Bürger nur über die Transformation ins nationale Recht betroffen sind (Winter, 1988, S. 271). Warum ist die Zusammenarbeit der Staaten zum Schutz der Meere bedeutsam? Die Einflussosphäre eines Küstenstaates findet ihre Grenze dann, wenn ein anderer Staat in Übereinstimmung mit dem Völkerrecht seine Kompetenzen wahrnimmt, beispielsweise als Flaggenstaat im Rahmen der Schifffahrt. So kommt es immer wieder zu Überschneidungen, die der Abstimmung unter den Staaten bedürfen (Cron, 1995, S. 60). Im Bereich des marinen Umweltschutzes ist die Internationalisierung von besonderer Bedeutung, weil es neben der Abstimmung der unterschiedlichen

Interessen und Zuständigkeiten von Staaten um gemeinsame Umweltressourcen geht. Zum Schutz der Meeresumwelt bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung der Meere (vgl. auch Präambel des SRÜ), da die Probleme des Meeresraumes eng miteinander verbunden sind. Eine blinde Verfolgung nationaler Interessen würde dazu in krassem Missverhältnis stehen. Für die Zusammenarbeit spricht die gemeinsame Verantwortung aller Anlieger für die Belastung der Meere. In der Praxis zählen insbesondere Gründe der Effizienz eines gemeinsamen und aufeinander abgestimmten Vorgehens (Cron, 1995, S. 60). Neben den weltweiten internationalen Abkommen haben die genannten Gründe zum Abschluss regionaler Abkommen beispielsweise für den Schutz des Nordostatlantiks und der Nordsee durch die verschiedenen Anrainerstaaten geführt.

3.2 Das Seerechtsübereinkommen der UN als wesentliches Regelwerk

Das SRÜ wurde 1982 in Montego Bay auf Jamaika verabschiedet und trat 1994 vorläufig, 1996 dauerhaft in Kraft, nachdem es von genügend Staaten ratifiziert worden war. Vorausgegangen waren diesem Abkommen neunjährige Verhandlungen der *Third United Nations Conference on the Law of the Sea* (UNCLOS III, 1973-1982). Die Konvention war das Ergebnis einer bewussten Auseinandersetzung mit dem Zusammenhang von Wirtschaft, Politik, Umwelt und sozialen Entwicklungen, die sich mit dem Umweltgipfel in Rio von 1992 und den dort beschlossenen Konventionen über die biologische Vielfalt, den Klimaschutz und die Agenda 21 fortsetzte. Sie stellt damit einen für das Völkerrecht und die internationalen Beziehungen wesentlichen Fortschritt dar (Mann Borgese, 1999, S. 140f.). Neu war unter anderem die Betonung der Rolle von Meereswissenschaft und -forschung sowie die Verpflichtung zum Technologietransfer (Art. 266 SRÜ, Teil XIV), wonach die Staaten, soweit es ihnen möglich ist, zusammenarbeiten, um die Weitergabe von Meerestechnologie zu „angemessenen und annehmbaren Bedingungen aktiv zu fördern“. Zusammen mit dem in Teil XIII der Konvention festgeschriebenen

Erfordernis internationaler Zusammenarbeit (vgl. Art. 242ff. SRÜ) im Seerecht bedeutete dies den „Anfang eines neuen internationalen Kooperationsrechts“ (W. Christopher Pinto, Botschafter aus Sri Lanka, in: Mann Borgese, 1999, S. 170).

Die Konvention besteht aus drei großen Abschnitten mit insgesamt 17 Teilen (Kapiteln).

Teil I bis IX bestimmen die räumliche Aufteilung der Ozeane mit den jeweiligen staatlichen Rechten und Pflichten. Festgelegt werden die Grenzen der Küstenmeere, der Anschlusszone, der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), des Festlandsockels und die Freiheiten der Hohen See. Im SRÜ wird der Meeresboden und -untergrund, der jenseits der Grenzen des Bereichs nationaler Hoheitsbefugnisse liegt, als das „Gebiet“ bezeichnet und von der „Behörde“, das heißt der Internationalen Meeresbodenbehörde mit Sitz in Jamaika (Art. 1 Abs. 1 SRÜ), nach dem Prinzip des gemeinsamen Erbes der Menschheit verwaltet (Art. 136 SRÜ). Das „Gebiet“ umfasst nicht die AWZ und den Festlandsockel, denn in diesen Zonen gelten – wenn auch eingeschränkte – nationale Hoheitsbefugnisse (Art. 56 Abs. 1 lit. b, Art. 77 SRÜ). Es bezieht sich auf das Meeresgebiet außerhalb des Kontinentalschelfs (vgl. Art. 76 in Verbindung mit Art. 134 Abs. 3 SRÜ; Nordquist, 1993, Part 1, Anm. 1.19, S. 40f.). Oft wird es mit der Hohen See gleichgesetzt. Genau genommen unterscheiden sich die Begriffe jedoch, weil die Hohe See den Festlandsockel mit umfasst.

Hinsichtlich der Tätigkeiten im Gebiet sind nach Teil XI die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um die Meeresumwelt vor schädlichen Auswirkungen auf das ökologische Gleichgewicht und die natürlichen Ressourcen wie Tier- und Pflanzenwelt wirksam zu schützen (Art. 145 SRÜ). Die Staaten haben im Gebiet das Recht zur wissenschaftlichen Forschung (vgl. Art. 143 SRÜ), dürfen nach Bodenschätzen suchen und diese ausbeuten (vgl. Art. 150, 153 Abs. 2 SRÜ). Durch die nach dem SRÜ errichtete Internationale Meeresbodenbehörde werden die Tätigkeiten der Staaten im Gebiet organisiert und überwacht (Art. 157ff. SRÜ). Durch Abschnitt 5, Teil XI SRÜ (Art. 186ff.), wird ein bindendes Verfahren zur Streitbeilegung vor dem

Internationalen Seegerichtshof, dem Internationalen Gerichtshof oder anderen Schiedsgerichten etabliert.

Teile XII bis XV bilden den dritten großen Abschnitt der Konvention und beschäftigen sich mit der Meeresumwelt insgesamt, der wissenschaftlichen Meeresforschung, dem Technologietransfer auf globaler, regionaler und nationaler Ebene sowie der friedlichen Beilegung von Streitigkeiten. Durchsetzbare, allgemein bindende Vorschriften zum Schutze der Meeresumwelt finden sich in Teil XII. Gemäß Art. 192 SRÜ obliegt den Vertragsstaaten die allgemeine Verpflichtung, die Meeresumwelt zu schützen und zu bewahren. Das souveräne Recht der Staaten auf Ausbeutung ihrer natürlichen Ressourcen wird in Art. 193 SRÜ ausdrücklich an die Bedingung geknüpft, dass diese im Rahmen ihrer nationalen Umweltpolitik erfolgt und mit ihrer Pflicht zum Schutz und zur Bewahrung der Meeresumwelt übereinstimmt. Die verschiedenen nationalen Umweltpolitiken sind untereinander abzustimmen. Verschmutzungen durch die im Rahmen von Hoheitsbefugnissen eines Staates erfolgenden Tätigkeiten dürfen sich nicht über ihr Gebiet hinaus ausbreiten; Schäden für die Umwelt anderer Staaten müssen verhindert werden. Art. 194 Abs. 3 SRÜ befasst sich mit den Verschmutzungsquellen und Eintragungspfadern von Schadstoffen und errichtet die Pflicht, alle Ursachen der Verschmutzung der Meeresumwelt zu verhüten, zu verringern und zu überwachen. Teil XII bedarf der Ausfüllung und Spezifizierung durch gesonderte internationale Abkommen. Er war damit Grundlage für die Umweltvereinbarungen von Rio 1992 (Mann Borgese, 1999, S. 144, S. 169).

3.3 Die Aufteilung der Meere in Hoheitszonen

Die Küstenmeere

Das Küstenmeer bezeichnet den an das Land beziehungsweise die inneren Gewässer angrenzenden Meeresstreifen und darf eine Breite von zwölf Seemeilen nicht überschreiten. Ausschlaggebend für die Bemessung ist die sogenannte Basislinie, die normalerweise der Niedrigwasserlinie entlang der Küste entspricht, wie sie in den Seekarten

großen Maßstabs eingetragen ist (Art. 5 SRÜ). Wie die englische Bezeichnung *Territorial Sea* deutlich macht, handelt es sich beim Küstenmeer um ein Teil des Staatsgebiets des Küstenstaates, wobei gemäß Art. 17 SRÜ die Freiheit der Schifffahrt im Sinne des Rechts der friedlichen Durchfahrt für die Schiffe aller Staaten gilt. Unter nationale Hoheit fällt rund ein Drittel des gesamten Meeresraums (Mann Borgese, 1999, S. 171). Nach Art. 2 SRÜ erstreckt sich die Souveränität eines Küstenstaats sowohl auf den Luftraum über dem Küstenmeer als auch auf den Meeresboden und Meeresuntergrund des Küstenmeers. An das Küstenmeer schließt sich eine Zone von weiteren zwölf Seemeilen an (maximal 24 Seemeilen gemessen von der Basislinie), die als Anschlusszone bezeichnet wird und in der der Küstenstaat gemäß Art. 33 SRÜ die erforderliche Kontrolle ausüben kann, um beispielsweise Verstöße gegen seine Zollgesetze oder Einreise- und Gesundheitsbestimmungen in seinem Hoheitsgebiet zu verhindern oder zu ahnden.

Die AWZ

Die AWZ zählt nicht zum Staatsgebiet des Küstenstaates, stellt für diesen aber einen Bereich besonderer Rechte, Hoheitsbefugnisse und Pflichten dar. Das Konzept der AWZ ist funktionsorientiert und hebt teilweise das nationale Verständnis von sich gegenseitig ausschließenden Territorien auf. So bestehen in demselben Meeresgebiet nebeneinander gemeinsame Nutzungsrechte wie beispielsweise Schifffahrt und Überflug sowie ausschließliche Rechte des Küstenstaates, was die Ausbeutung bestimmter Ressourcen und bestimmte wirtschaftliche Tätigkeiten in seiner AWZ anbelangt (Manolis, 1996). Gemäß Art. 57 SRÜ darf sich die AWZ nicht weiter als 200 Seemeilen von den Basislinien erstrecken. Für den Küstenstaat gelten hier gemäß Art. 56 Abs. 1 SRÜ:

- a) souveräne Rechte zum Zweck der Erforschung und Ausbeutung, Erhaltung und Bewirtschaftung der lebenden und nichtlebenden natürlichen Ressourcen der Gewässer über dem Meeresboden, des Meeresbodens und seines Untergrunds sowie hinsichtlich anderer Tätigkeiten zur wirt-

- schaftlichen Erforschung und Ausbeutung der Zone wie der Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind;
- b) Hoheitsbefugnisse, wie in den diesbezüglichen Bestimmungen dieses Übereinkommens vorgesehen, in bezug auf (...)
- ii) die wissenschaftliche Meeresforschung;
 - iii) den Schutz und die Bewahrung der Meeresumwelt; (...).

Dabei hat er die Verschmutzung der Meeresumwelt zu verhüten, zu verringern und zu überwachen (Art. 56 in Verbindung mit Art. 192ff.). Diese Bestimmungen des SRÜ sind bindend. Die Maßnahmen zum Schutz der Meeresumwelt müssen geeignet sein. Die Instrumente stehen dem Küstenstaat gemäß Art. 211 Abs. 5 SRÜ unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten internationalen Regeln grundsätzlich frei. Problematisch kann die Ausweisung von Schutzgebieten in der AWZ sein, da der Grundsatz der Freiheit der Schifffahrt eine Kooperation mit der Staatengemeinschaft und insbesondere der IMO (*International Maritime Organization*, der Internationalen Schifffahrtsorganisation) erforderlich macht (Czybulka, 1999, S. 564).

Die Hohe See und der Festlandssockel

In der Nordsee gibt es keinen Bereich der Hohen See oder des „Gebiets“. Die Nordsee ist vollständig in die verschiedenen AWZ und Küstenmeere der Anrainerstaaten aufgeteilt. Die Bestimmungen zur Hohen See gelten aber beispielsweise für Bereiche des Nordostatlantiks. Maßgeblich für die Hohe See ist der Grundsatz der Freiheit der Meere (Art. 87 SRÜ), der sich vor dem geschichtlichen Hintergrund durchgesetzt hat. Der damit konfligierende Grundsatz des Erbes der gesamten Menschheit gilt genau genommen nicht für die gesamte Hohe See, sondern nur für das „Gebiet“ (Art. 136 SRÜ), wozu der Festlandssockel als Teil der Hohen See (vgl. Art. 86 SRÜ) nicht gehört. Gemäß Art. 76 SRÜ umfasst der Festlandssockel eines Küstenstaats den jenseits seines Küstenmeers gelegenen Meeresboden und Meeresuntergrund bis zu einer Entfernung von 200 Seemeilen von

den Basislinien aus beziehungsweise die Unterwassergebiete, die sich über die gesamte natürliche Verlängerung seines Landgebiets bis zur äußeren Kante des Festlandrands bis zu einer maximalen Breite von 350 Seemeilen erstrecken. Für den Festlandsockel werden bestimmte nationale Hoheitsrechte in Anspruch genommen (Art. 77 SRÜ), die gegenüber den ausschließlichen Hoheitsbefugnissen in der AWZ stärker begrenzt sind. Umfasst sind die Erforschung und Ausbeutung der natürlichen Ressourcen. In der Hohen See darf gemäß Art. 89 SRÜ kein Staat den Anspruch erheben, irgendeinen Teil seiner Souveränität zu unterstellen – historisch gesehen das Pendant zur Freiheit der Hohen See (Nordquist, 1995, Art. 89, Anm. 89.1). Dabei ist „Souveränität“ nicht gleichbedeutend mit der Ausübung souveräner Rechte durch die Küstenstaaten beispielsweise im Bereich des Festlandsockels, sondern meint die Aneignung als Staatsgebiet und betont damit den territorialen Aspekt (Nordquist, 1995, Art. 89, Anm. 89.9(a)). Es verstößt nicht gegen den Grundsatz des Art. 89 SRÜ, wenn sich der Zuständigkeitsbereich nationaler Behörden auch auf die Hohe See im Bereich des nationalen Festlandsockels außerhalb der Hoheitsgewässer erstreckt.

Die Ressourcen der Hohen See sind anders als in der AWZ nicht dem Küstenstaat, sondern den Flaggenstaaten zugeordnet. Dies hat Konsequenzen für die Ausgestaltung des Umweltschutzes. Nach Art. 116ff. SRÜ hat jeder Staat beziehungsweise haben seine Angehörigen das Recht, auf der Hohen See zu fischen. Die ökonomischen Interessen der Staaten werden durch multilaterale Fischereikonventionen geregelt (vgl. <http://www.oceanlaw.net>). Der Schutz der natürlichen Ressourcen beruht hier auf der Einsicht, dass eine Überfischung zum Zusammenbruch der natürlichen Regeneration der Fischbestände und damit zu wirtschaftlichen Einbußen führt und ist somit nur Nebeneffekt. Mehr im Vordergrund stehen sollte der Schutz der natürlichen Meeresumwelt dagegen nach dem SRÜ. Hiernach ist der Staat verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen zur Erhaltung der lebenden Ressourcen der Hohen See zu ergreifen, also entsprechende Umweltschutzverpflichtungen für seine Angehörigen zu schaffen, und gegebenenfalls mit anderen Staaten zusammenzuarbeiten. Geeignete

Regeln zum Schutz vor schädlichen Auswirkungen auf die Meeresumwelt werden für das Gebiet auch durch die Internationale Meeresbodenbehörde erlassen (Art. 145 SRÜ). Die gemeinsamen Ressourcen sollen zum Zwecke der gesunden Entwicklung der Weltwirtschaft unter internationaler Verwaltung erschlossen werden (Art. 150ff. SRÜ). Wenn auch das SRÜ weiterer Spezifizierungen bedarf und insofern als Verpflichtung für die konkrete Umsetzung relativ schwach ausgeprägt ist, tritt der Umweltschutzaspekt in der Hohen See hiermit deutlich zu Tage.

Bedeutung für die internationale Zusammenarbeit

Die Aufteilung der Meere in die verschiedenen Hoheitszonen hat Auswirkungen auf die Interessengewichtung durch die Staaten bei der internationalen Zusammenarbeit zum Schutz der Meere.

Da die Küstenmeere Hoheitsgebiete der jeweiligen Küstenstaaten sind, überwiegen hier die nationalen Nutzungsinteressen und das nationale Rechtsregime. Dieses wird zwar beeinflusst durch den Abschluss und die Ratifikation von internationalen und regionalen Abkommen, bleibt aber im wesentlichen Sache des Nationalstaates. Bei der internationalen Zusammenarbeit in Sachen Umweltschutz im Küstenbereich wird der Nationalstaat daher nur Zugeständnisse an die internationale Staatengemeinschaft machen, wenn es sein eigenes Interesse ist oder der von der Staatengemeinschaft ausgeübte Druck groß genug ist. Da die Meere hauptsächlich durch landseitige Einträge verschmutzt werden und der Küstenbereich die „Kinderstube“ vieler Tierarten ist, ist gerade dieser Druck von entscheidender Bedeutung, um wesentliche Reduktionsziele durchzusetzen und die Meeresumwelt insgesamt zu verbessern.

In der AWZ überwiegen die souveränen Rechte des Küstenstaates gegenüber den Nutzungsrechten aller anderen Flaggenstaaten. Es gilt eingeschränkte Meeresfreiheit. Für die internationale Zusammenarbeit bedeutet dies eine gestärkte Rolle des Küstenstaates für Belange, die seine AWZ treffen. Auch hier ist daher wiederum der internationale

Druck ausschlaggebend, das heißt, es sind gegenseitige Eingeständnisse erforderlich, um die Meeresumwelt zu schützen.

In der Hohen See gilt der Grundsatz der Meeresfreiheit uneingeschränkt. Es gibt keine staatliche Souveränität. Das Problem für die internationale Zusammenarbeit ist hier, dass die Interessen der Staaten sich noch immer auf die weitestgehende Ausbeutung der Meeresressourcen richten (siehe das Beispiel der Fischerei) und der Umweltschutz eine nachrangige Rolle spielt. Um die Staatengemeinschaft zu veranlassen, strengere Schutzregime einzuführen, bedarf es daher des Druckes von „unten“, beispielsweise durch international agierende NGOs (*Non-Governmental Organizations*) wie Greenpeace, Friends of the Earth oder den WWF.

Foren internationaler und regionaler Zusammenarbeit

Welche Foren gibt es für die weltweite und für die regionale, auf die Nordsee bezogene Zusammenarbeit? Auf internationaler Ebene ist die IMO (Internationale Schifffahrtsorganisation) mit Sitz in London zu nennen, die eine Unterorganisation der UNO ist und unter anderem die allgemeine Aufsicht über die Durchführung des MARPOL-Übereinkommens führt. Foren internationaler Zusammenarbeit sind ferner die Gremien und Kommissionen, die auf der Grundlage der internationalen Abkommen wie dem SRÜ errichtet wurden, so die Internationale Meeresbodenbehörde (Art. 156ff. SRÜ). Andere internationale Organisationen sind durch Art. 197, 242 Abs. 1 SRÜ ausdrücklich zur Förderung der internationalen Zusammenarbeit aufgefordert.

Regional wirken die seit 1984 in regelmäßigen Abständen stattfindenden Internationalen Nordseeschutzkonferenzen (INK). Sie sind ein Forum für die Minister aller Nordseeanliegerstaaten, um ihre Politiken zum Meeresschutz miteinander zu koordinieren und gemeinsame Ziele aufzustellen. So wurden auf der INK in Bremen 1984 Maßnahmen zur fünfzigprozentigen Reduzierung der Einträge von Nährstoffen im Zeitraum von 1985 bis 1995 beschlossen. Auf der 4. INK 1995 in Esbjerg wurde Zwischenbilanz gezogen. Insbesondere die Halbierung der Stickstoffemissionen wurde in dem genannten Zeitraum von

keinem der Nordseeanliegerstaaten erreicht. Problematisch war gerade die Verringerung der Emissionen aus diffusen Quellen, insbesondere der Landwirtschaft. Beschlossen wurde daher die Verlängerung des Reduktionsziels bis zum Jahre 2000 (vgl. UBA, Daten zur Umwelt 2000, unter www.umweltbundesamt.org/dzu/default.html). Betreffend ihres rechtlichen Status gehören die Ministererklärungen in die Kategorie der politischen Willenserklärungen (Näheres zur INK bei Cron, 1995, S. 153ff.). Die Internationalen Nordseeschutzkonferenzen sind, wie aus dem Namen hervorgeht, auf die Nordsee begrenzt und erstrecken sich daher im Grunde nicht auf die Hohe See. Allerdings können sie beispielsweise durch den Beschluss, Belastungsverschiebungen in andere Meeresgebiete zu vermeiden (vgl. 1. INK, Erklärung der Minister, in: Bull. der BReg. v. 6. 11. 1984, Nr. 133, S. 1171, Abschnitt B des Beschlusstils), Auswirkungen auf den Meeresschutz in der Hohen See haben.

Daneben finden für den Raum der Küstenmeere seit 1978 regelmäßige Treffen im Rahmen sogenannter Trilateraler Wattenmeerschutzzonferenzen auf Ministerebene zwischen Dänemark, Deutschland und den Niederlanden statt, die der gleichen rechtlichen Kategorie angehören. Unter anderem wurden 1982 in Kopenhagen eine gemeinsame Erklärung zum Wattenmeerschutz verabschiedet, 1994 in Leeuwarden eine gemeinsame Bestimmung ökologischer Ziele vorgenommen und 1997 in Stade der Trilaterale Wattenmeerplan beschlossen. Auf dem neunten Trilateralen Ministertreffen in Esbjerg im Oktober 2001 entschlossen sich die drei Vertragsparteien, bei der IMO den Antrag auf Ausweisung des Wattenmeeres als PSSA („*Particularly Sensitive Sea Area*“) zu stellen. Das Trilaterale Monitoring- und Bewertungsprogramm (TMAP) soll weiter optimiert werden und die Ausweisung des Wattenmeeres als Weltnaturerbe vorangetrieben werden. Insgesamt ist die Zusammenarbeit unter den drei Anrainerstaaten für den Schutz des Wattenmeeres als Teil ihrer nationalen Küstenmeergebiete relativ weit vorangeschritten.

Wichtig für die allgemeine Fortentwicklung des regionalen Meeresschutzrechts für alle Hoheitszonen – Küstenmeere bis Hohe See – ist

die Kommission des OSPAR-Übereinkommens, die OSPARCOM. Das OSPAR-Übereinkommen (*Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*, Paris 1992, in: Sands, 1994, S. 472ff.) ist ein regionales Meeresschutzabkommen und ersetzt die beiden zugrunde liegenden Konventionen von Oslo und Paris, das Internationale Abkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen durch Schiffe und Luftfahrzeuge, das seit 1974 in Kraft war, und das Internationale Abkommen zur Verhütung von Meeresverschmutzungen von Einrichtungen an Land von 1978. Der räumliche Anwendungsbereich umfasst die Nordsee und den Nordostatlantik. Der Schwerpunkt der Konvention liegt bei der Verhütung und Beseitigung der Verschmutzung vom Lande aus und durch das Einbringen oder Verbrennen von Abfällen oder sonstigen Stoffen (Art. 3 und 4 OSPAR). Durch die gemeinsame Kommission, die OSPARCOM, wird die Durchführung der Bestimmungen überwacht. Die OSPAR-Konvention regelt nur das absichtliche Einbringen von Stoffen (Art. 1 lit. f OSPAR), ist aber gemäß Art. 7 für Anhänge zum Schutz vor Verschmutzung durch weitere Quellen offen.

NGOs haben bei alledem die wichtige Funktion, politische Anstöße für die Intensivierung der Arbeit zu geben, die in den nach den jeweiligen Abkommen errichteten internationalen Kommissionen und Gremien geleistet wird. Im Verhältnis zu den internationalen Foren können die regionalen Kommissionen auf Beschleunigung, bessere Koordination oder wirksamerer Anwendung der bestehenden Regeln hinwirken (Cron, 1995, S. 153).

Folgen für das Niveau von Umweltschutzstandards

Entsprechend der bereits dargestellten nationalen Interessen in den jeweiligen Hoheitszonen können sich Umweltstandards je nach Region unterscheiden. In den Küstenmeeren hängt das Niveau der Umweltstandards weitgehend vom Recht des Küstenstaates ab, der hier die nationale Umweltpolitik verfolgt. Allerdings wirken internationale und regionale Abkommen auf das nationale Recht als Mindeststandards ein. Im Nordseeraum ist das nationale Recht zudem von den Mitgliedstaaten an die EG-Standards anzupassen. In der AWZ hat das

Recht des Küstenstaates Geltung, es sei denn, es würde die Meeresfreiheit der Flaggenstaaten zu sehr beeinträchtigen. Schwierigkeiten kann es bei der Ausweisung von Schutzgebieten nach nationalem Recht geben, wenn dadurch die Freiheit der Schifffahrt zu sehr eingeschränkt würde. Die Umweltschutzstandards richten sich also nach nationalem Recht, das internationale und regionale Mindeststandards einzuhalten hat. In der Hohen See gilt für die Schiffe das Recht des jeweiligen Flaggenstaates, der aber beispielsweise bezüglich der Einbringung von Stoffen und der Ausstattung und Ausrüstung der Schiffe das internationale Recht wahren muss. Darüber hinaus gelten in der Hohen See allein internationale und regionale Standards. Dabei sind internationale Regelungen Mindeststandards und beruhen damit oft auf kleinstem gemeinsamen Nenner, während die regionalen Umweltschutzstandards häufig darüber hinaus und spezifischer auf konkrete Belange eingehen.

3.4 Umweltgefährdende Havarien – Was wäre wenn?

Im Folgenden soll anhand des Beispiels von umweltgefährdenden Schiffshavarien, beispielsweise der PALLAS, dargestellt werden, welche für den Umweltschutz relevanten Regelungen für die einzelnen Hoheitsgebiete im wesentlichen einschlägig sind. Dabei kann unterschieden werden zwischen präventiven und repressiven Rechtsinstrumenten, das heißt zwischen Maßnahmen der Vorsorge oder der Gefahrenabwehr und nachträglich einsetzenden, sich gegen die Folgen einer solchen Katastrophe wendende Maßnahmen. „Repressiv“ wird hier nicht wie im Ordnungsrecht als Gefahrverfolgungsmaßnahme im engeren Sinn verstanden, sondern im eigentlichen Wortsinn als eine die Folgen „hemmende“ Maßnahme. Zu den präventiven Maßnahmen gehört die Festlegung von Mindeststandards betreffend die Schiffsicherheit, die Einrichtung von Schutzgebieten, der allgemeine Gewässerschutz, die Kontrolle und Überwachung von Verbotsvorschriften, ein internationales oder jedenfalls gemeinschaftsweites Informationssystem und die Errichtung von Notfallplänen. Repressive Maßnahmen sind solche, die getroffen werden, wenn es tatsächlich zu

einem umweltgefährdenden Ereignis gekommen ist. Dazu gehören die einzelnen Regelungen von Notfallplänen, Haftungsregelungen oder die Einrichtung eines internationalen Fonds zur Kompensation von Ölverschmutzungsschäden. Daran kann gezeigt werden, welche Rolle die internationalen Regelungen im Notfall in den Hoheitszonen spielen und wie die Eingriffsbefugnisse des Küstenstaates jeweils aussehen, wenn sich eine Havarie im Küstenmeer, in der AWZ oder der Hohen See ereignet. Schwerpunkt ist die Untersuchung des internationalen Rechts. Da sich das internationale Recht nicht an die einzelnen Schiffseigner und sonstige Verantwortliche selbst richtet, sondern von den Nationalstaaten jeweils konkret umgesetzt werden muss, wird die Frage „Was wäre, wenn sich eine Havarie in den Küstenmeeren, der AWZ oder der Hohen See ereignet?“ zwangsläufig auf einem eher abstrakten Niveau geklärt.

Tankerunglücke beziehungsweise Ölunfälle tragen zu etwa einem Zehntel zum Gesamtöleintrag in die Meere bei. Andere Ursachen sind Tankspülungen, Lecks, Austritte beim Verladen in Häfen und anderes mehr (Gröh, 1988, S. 115). Die Havarie der PALLAS ereignete sich in dänischen Hoheitsgewässern am 24. Oktober 1998, als der Holzfrachter, der unter der Flagge der Bahamas fuhr, in Brand geriet. Aufgrund der Wetterbedingungen blieben verschiedene Schleppversuche erfolglos, bis der havarierte Holzfrachter vier Tage später in das schleswig-holsteinische Wattenmeerschutzbereich vor die Insel Amrum getrieben wurde und dort auf eine Sandbank lief. Hier konnte er lange nicht geborgen werden. Viele Tonnen Dieselöl flossen aus dem Leck der PALLAS aus und kosteten mehr als 16 000 Seevögel das Leben (WWF, Wattenmeer International, 4/2000, S.18). Das Wrack liegt noch heute vor der Insel und soll im Watt versanden. Das Unglück hat eine Vielzahl von Defiziten beim Umgang mit solchen Krisensituationen aufgedeckt. Dabei soll nicht näher eingegangen werden auf die Abstimmungsschwierigkeiten zwischen dem Land Schleswig-Holstein und dem Bund und die verspätete Koordination am zentralen Meldekopf in Cuxhaven (vgl. dazu und zur Kritik am zuständigen Umweltminister Rainer Steenblock das Plenarprotokoll des schleswig-holsteinischen Landtages, 71. Sitzung, Kiel, 12. November

1998). Für den internationalen Zusammenhang von Bedeutung ist die mangelnde Zusammenarbeit zwischen Dänemark und den zuständigen Behörden der deutschen Küste: Eine gemeinsame internationale Eingreiftruppe fehlte. Die internationale Zusammenarbeit versagte trotz der im Trilateralen Wattenmeerplan gemeinsam festgelegten Schutzziele für das Wattenmeer.

Der Unfall hat sich im Bereich des deutschen Küstenmeeres ereignet. Welche internationalen Regelungen zum Meeresschutz und zur Kooperation gelten hier? Und was wäre, wenn sich ein solcher Unfall in der AWZ oder in der Hohen See abspielen würde? Obwohl es in der Nordsee keinen Bereich der Hohen See oder des „Gebiets“ gibt, soll der Fall einer unfallbedingten Ölleckage auch für dieses Gebiet durchgespielt werden, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei der internationalen Zusammenarbeit im Vergleich zu den anderen Nutzungszonen zu zeigen. Ein Beispiel für ein Tankerunglück in der Hohen See ist die Havarie der TORREY CANYON vor der britischen Küste im Jahr 1967 – damals noch Teil der Hohen See.

Präventive Rechtsinstrumente zum Schutz vor Katastrophen

Das SRÜ sieht eine allgemeine Verpflichtung zum Erlass von Regelungen zur Verhütung der Meeresverschmutzung vor, beispielsweise die Einrichtung von Systemen der Schiffswegführung (Art. 211 SRÜ). Für die Küstenmeere gilt, dass die Küstenstaaten nach Art. 211 Abs. 4 und Art. 21 Abs. 1 lit. f SRÜ in Ausübung ihrer Souveränität Gesetze und sonstige Vorschriften zur Verhütung, Verringerung und Überwachung der Meeresverschmutzung erlassen können und zwar – entgegen des ansonsten geltenden Flaggenstaatsprinzips – auch für fremde Schiffe. Da die meisten international bedeutsamen Schifffahrtsrouten durch küstennahe Gebiete führen, wäre diese nationale Regulierungskompetenz relativ weitreichend. Um Beschränkungen der friedlichen Durchfahrt und damit einhergehenden Wettbewerbsbeschränkungen vorzubeugen, gilt sie gemäß Art. 21 Abs. 2 SRÜ nicht für den Bau, die Bemannung oder die Ausrüstung von fremden Schiffen. Strengere nationale Unfallverhütungsvorschriften sind insofern ausgeschlossen. Zur friedlichen Durchfahrt gehört nicht die

absichtliche Einleitung von Öl. Die Regelungen des SRÜ bilden den allgemeinen Rahmen, vor dem spezifische internationale Abkommen geschlossen werden. Dazu gehört die MARPOL-Konvention von 1973/1978 über die Verhinderung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (Sands, 1994, S. 326ff., S. 341 ff.). MARPOL steht als Abkürzung für *marine pollution* und gilt allgemein für das Gebiet der Küstenmeere bis zur Hohen See. Die Eingriffsbestimmungen setzen schwerpunktmäßig beim Flaggenstaat an, der gegen Verletzungen der MARPOL-Regelungen einzuschreiten und dies der IMO mitzuteilen hat (Vitzthum, 1997, 5. Abschnitt, Rn. 130). Die weltweit geltende Konvention wurde erstmals 1973 verabschiedet. Die Anlagen zu bestimmten Teilbereichen der Meeresverschmutzung durch Schiffe sind erst seit 1983 und 1986 beziehungsweise noch nicht in Kraft. In der Präambel setzen sich die Vertragsstaaten von MARPOL das Ziel, den unfallbedingten Eintrag von Öl und anderen gefährlichen Stoffen zu minimieren. Das Mittel sind Vorschriften in schiffsbaulicher Hinsicht. Dazu gehört das Vorschreiben von Doppelhüllen für Tankerneubauten als Reaktion auf das Unglück der EXXON VALDEZ vor Alaska 1989 (Cron, 1995, S. 113). Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die ein Jahr nach MARPOL aufgrund des Anstiegs von Havariefällen erneuerte SOLAS-Konvention von 1960 (BGBl. 1965 II, S. 465), das Internationale Übereinkommen von 1974 zum Schutze des menschlichen Lebens auf See (*Safety of Life at Sea*), das seit 1980 in Kraft ist. Es regelt die Stabilität und Bauart von Schiffen, betrifft Feuerschutz und Rettungsmittel und dient der Verhütung von Zusammenstößen auf See. Neben MARPOL erlaubt das seit 1982 geltende *Memorandum of Understanding on Port State Control* (MOU) eine weitgehende Umweltkontrolle der in die Häfen einlaufenden Schiffe durch den jeweiligen Hafenstaat, um so Substandard-Schiffe zu erfassen und Beweise für Verstöße gegen internationale Umweltschutznormen zu sichern. In schwerwiegenden Fällen kann ein Auslaufverbot verhängt werden (Cron, 1995, S. 120f.). Weitere internationale Standards regeln die Ausbildung der Schiffsbesatzung. Die genannten Konventionen gelten für alle Vertragsstaaten unabhängig von den Hoheitszonen.

Was ist mit den weiteren bekannten Abkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung? Die OSPAR-Konvention ist im Falle von Havarien nicht einschlägig. Das gleiche gilt für die London-Dumping-Konvention von 1972 (Internationales Abkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch die Einleitung von Abfällen und anderen Stoffen, in Kraft seit 1975, in: Sands, 1994, S. 304ff.), da unter die von der Konvention geregelte Verklappung nur das absichtliche Einbringen von Müll auf See zu verstehen ist.

Für das EG-Recht ist als präventive Regelungen die Ausweisung von Schutzgebieten im Wattenmeergebiet nach der FFH-Richtlinie (92/43/EWG, ABl. EG 1992, Nr. L 206) sowie der Vogelschutz-Richtlinie 79/409/EWG (ABl. EG 1979, Nr. L 103/1) zu nennen. Erstere hat dadurch einen spezifischen Bezug zum Meeresschutz, dass sie Lebensräume in Küstenbereichen wie Meeressgewässer und Gezeitenzonen als gemeinschaftsrechtlich schutzwürdig erfasst (vgl. Anhang I der Richtlinie; Czybulka, 1999, S. 563). Zum präventiven Bereich gehören auch die Richtlinie zum Schutz der Wale (ABl. EG 1981, Nr. L 39) sowie die neue Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (ABl. EG 2000, Nr. L 327/1) der Gemeinschaft in Verbindung mit der alten Gewässerschutz-Richtlinie 76/464/EWG (ABl. EG 1976, Nr. L 129/23). Diese Regelungen beziehen sich vorrangig auf die Verschmutzung vom Lande aus (beispielsweise auf die Einleitung über Flüsse). Sie gelten für die Küstenmeere und erstrecken sich zum Teil auch auf die AWZ der EG-Mitgliedstaaten, zu denen im Bereich der Nordsee nur Norwegen nicht gehört. Spezifischer für den Fall umweltgefährdender Havarien sind Richtlinie 93/75/EWG (ABl. EG 1993, Nr. L 247/19), die Mindestanforderungen festlegt für Schiffe, die in die Seehäfen der Gemeinschaft ein- oder auslaufen und gefährliche oder umweltschädliche Güter befördern, Richtlinie 95/21/EG zur Durchsetzung internationaler Normen für die Schiffssicherheit, die Verhütung von Verschmutzung und die Lebens- und Arbeitsbedingungen an Bord von Schiffen, die Gemeinschaftshäfen anlaufen und in Hoheitsgewässern der Mitgliedstaaten fahren (Hafenkontrollen) (ABl. EG 1995, Nr. L 157/1) sowie Verordnung (EG) Nr. 417/2002 zur beschleunigten Einführung von Doppelhüllen oder gleichwertigen Konstruktionsan-

forderungen für Einhüllen-Öltankschiffe (ABl. EG 2002, Nr. L 64/1), um nur einige zu nennen (mehr unter http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/reg/de_register_073030.html). Vereinheitlicht wird die Um- und Durchsetzung internationaler oder regionaler Regelungen ferner durch das gemeinschaftliche Aktionsprogramm auf dem Gebiet der Überwachung und Verringerung der Ölverschmutzung des Meeres (ABl. EG 1978, Nr. C 162/1) sowie durch das gemeinschaftsweite Informationssystem zur Meeresverschmutzung durch Öl (ABl. EG 1981, Nr. L 355/52). Das Aktionsprogramm „Eine gemeinsame Politik für sichere Meere“ (KOM (93), 66 endg.), das auf drei Jahre angelegt war, sah neben vorbeugenden Maßnahmen im Bereich der Schiffssicherheit die Verbesserung der Unfallfolgenbekämpfung vor. Fernziel ist die Schaffung einer „Euro-Coast-Guard“ zur Überwachung der europäischen Gewässer (Cron, 1995, S. 199; Biermann, 1994, S. 93; SDN-Magazin 1/1994, S. 5ff.).

Für das nationale Recht gilt, dass die internationalen Abkommen in nationale Gesetze transformiert werden müssen, damit sie für die Bürger der Staaten verbindlich sind. Dies ist aus deutscher Sicht für die Mehrzahl der Abkommen geschehen. Zu nennen ist hier insbesondere das Hohe-See-Einbringungsgesetz zu den Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen durch Schiffe und Luftfahrzeuge. Der sachliche Geltungsbereich umfasst die Hohe See, worunter in diesem Zusammenhang auch die AWZ fallen (§ 2 Abs. 1 HSEG). Es gilt für alle Schiffe in der deutschen AWZ sowie grundsätzlich für Schiffe unter deutscher Flagge (§ 2 Abs. 1 HSEG). Das HSEG verbietet das Einbringen von Abfällen und sonstigen Stoffen in die Hohe See (§ 4 in Verbindung mit § 3 HSEG), es sei denn, es besteht eine Notlage und eine Gefahr für das Leben von Personen oder die Sicherheit eines Schiffes. Im Falle einer Havarie dürfte also Öl ins Meer abgelassen werden, wenn nur dadurch die Sicherheit an Bord gewährleistet werden kann.

Grundsätzlich beschränkt sich die Gesetzgebung des Bundes und der Länder auf den räumlichen Geltungsbereich des Grundgesetzes. Da die AWZ nicht zum Staatsgebiet gehört, besteht also grundsätzlich

keine Gesetzgebungsbefugnis. Wenn das Völkerrecht es allerdings zulässt oder sogar fordert, obliegen dem Bund seewärts der Begrenzung des Küstenmeeres beschränkte Aufgaben. Ein Beispiel ist das Gesetz über die Aufgaben des Bundes auf dem Gebiet der Seeschifffahrt. Dazu gehört die Schifffahrtspolizei für Schiffe, die die Bundesflagge führen, die Abwehr von Gefahren und die Beseitigung von Störungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung sowie die Überwachung der Fischerei. Die Geltung nationalen (Umwelt-)Rechts in der AWZ wird aktuell aufgrund der geplanten Offshore-Windenergieanlagen diskutiert. Hierbei geht es insbesondere um die Regelungen des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) und der Landesnaturschutzgesetze mit ihren Schutzgebietsausweisungsverfahren und Eingriffs- und Ausgleichsregelungen (zur Diskussion: Czybulka, 1999, S. 567f., der die Anwendung des BNatSchG in der AWZ aus Gründen des Völkerrechts und aufgrund von Art. 20 a GG bejaht). Das BNatSchG kannte lange keine spezifischen Bestimmungen für den marinen Bereich. Einige Küstenbiotope stehen jetzt gemäß § 20 c Abs. 1 Nr. 4 BNatSchG unter Schutz. Das Wasserhaushaltsgesetz, wonach die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern sind (§ 2 WHG) und das Einbringen und Einleiten von Stoffen in die Küstengewässer einer behördlichen Erlaubnis oder Bewilligung bedürfen (§ 3 Abs. 1 Nr. 4 a, § 1 Abs. 1, Nr. 1 a WHG), umfasst nur das absichtliche Einbringen und hat ebenso wie die Naturschutz- und Wassergesetze der Länder keinen spezifischen Bezug zu unfallbedingten Öleinleitungen. Auf die Verteilung der Überwachungszuständigkeiten bei Meeresverschmutzungen in der Bundesrepublik soll nicht näher eingegangen werden (siehe dazu BT-Drs. 12/4700 vom 6. April 1993, „Überwachung der Küstengewässer in Deutschland“, insbesondere S. 6ff.).

Repressive Instrumente im Falle einer Havarie

Welche internationalen Regelungen greifen repressiv nach dem Ereignis einer umweltgefährdenden Havarie ein? Nach Art. 198 SRÜ müssen sich bei unmittelbar bevorstehenden oder tatsächlichen Verschmutzungsschäden die davon möglicherweise betroffenen Staaten

sofort gegenseitig benachrichtigen und gemäß Art. 199 SRÜ bei der Beseitigung und Verhütung mit den zuständigen internationalen Organisationen zusammenarbeiten und gemeinsame Notfallpläne erstellen. Dies gilt gerade im Falle von umweltgefährdenden Schiffsunfällen.

Speziell für umweltgefährdende Havarien gibt es einerseits global geltende Interventionsabkommen zur Schadensbeseitigung nach Ölunfällen (Internationales Übereinkommen über Maßnahmen auf Hoher See bei Ölverschmutzungsunfällen, Brüssel 1969, in Kraft seit 1975, BGBl. 1975 II, S. 137; mit Protokoll von 1973, BGBl. 1988 II, S. 705), andererseits regionale, speziell für die Nordsee geltende Notfallregime wie das Bonn-Übereinkommen von 1969/1983 (Übereinkommen zur Zusammenarbeit bei der Bekämpfung von Ölverschmutzungen der Nordsee, Bonn 1969, BGBl. 1975 II, 137; 1983 neu formuliert, auf andere gefährliche Stoffe ausgeweitet und mit der EG als weiterer Vertragspartei, ABl. EG 1984, Nr. L 188/7). Beide waren eine Reaktion auf die Katastrophe des Supertankers TORREY CANYON vor der englischen Küste zwei Jahre zuvor. Die Ladung der TORREY CANYON, die vor den an der Südwestspitze Cornwalls gelegenen Scilly-Inseln havarierte und auseinanderbrach, entlud sich fast vollständig (117 000 Tonnen Öl) ins Meer und verursachte an der britischen, französischen und niederländischen Küste die bis dahin größte Ölpest (eingehend Böhme, 1970, S. 12ff.). Damals bestand das Problem, dass Großbritannien als Küstenstaat keinerlei rechtliche Handhabe hatte, Eingriffsmaßnahmen gegen das havarierte Schiff zum Schutz seiner Küsten vor der drohenden Katastrophe zu ergreifen. Dessen ungeachtet bombardierte die *Royal Air Force* das Wrack in der Hoffnung, dass das ausfließende Öl verbrennen würde. Diese Hoffnung erfüllte sich indes nicht. Der Fall ist ein gutes Beispiel dafür, welche Dramatik hinter der Fortentwicklung internationaler Abkommen stehen kann. Auf der Problematik des fehlenden Eingriffsrechts beruhte das Interventionsabkommen von 1969. Es ergänzt das küstenstaatliche Instrumentarium im Falle einer umweltgefährdenden Havarie, indem es den Küstenstaaten das Recht gibt, im Fall einer drohenden Ölpest die notwendigen Maßnahmen auch jenseits

ihres Hoheitsgebiets zu ergreifen und auch gegenüber auf Hoher See verunglückten Schiffen Maßnahmen zum Schutz ihrer eigenen Küsten vor schwerwiegenden schädlichen Auswirkungen zu ergreifen (Art I 1 der Konvention, vgl. Ehmer, 1974, S. 93ff.). Nach Art. III des Brüsseler Übereinkommens muss der Küstenstaat vor dem Eingreifen Verhandlungen mit den anderen vom Schiffsunfall betroffenen Staaten, insbesondere dem Flaggenstaat führen. Es liegt auf der Hand, dass das Flaggenstaatsprinzip beziehungsweise der Grundsatz der Meeresfreiheit, nachdem grundsätzlich Zwangsmaßnahmen gegen Schiffe unter fremder Flagge als Ausübung von Souveränität nicht vorgenommen werden dürfen, wesentlich eingeschränkt ist. Mit dem Erfordernis der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen wurde versucht, einen Ausgleich zwischen den Interessen des Flaggenstaates an seiner Schifffahrt und den Interessen des eingreifenden Küstenstaates an der Reinhaltung seiner Gewässer und Küsten zu schaffen (Böhme, 1970, S. 57ff.). Dieses Interventionsrecht gilt nach dem Wortlaut der Regelung für den Bereich der Hohen See und gewohnheitsrechtlich auch für Seeunfälle in der AWZ (Cron, 1995, S. 144).

Das regional für die Nordsee geltende Bonn-Übereinkommen geht darüber hinaus, indem es Informations- und Kooperationspflichten im Vorfeld von Gefahren gegenüber den mit gefährdeten Vertragsparteien festlegt (Art. 3, 4 Bonn-Übereinkommen) und die Nordsee in sogenannte Schutzzonen einteilt. Für diese gilt die Pflicht zum Umweltmonitoring. Die Kooperation ist insofern intensiver, als Informationen über die im Notfall zuständigen nationalen Organisationen, über Präventionstechniken und Verfahren bei Ölverschmutzungen ausgetauscht sowie Leitlinien für ein gemeinsames Eingreifen entwickelt werden sollen. Einen besonderen institutionellen Unterbau brauchen die Interventionsabkommen im Gegensatz etwa zur OSPAR-Konvention nicht (Cron, 1995, S. 146).

Weitere Verpflichtungen der Staaten zur Zusammenarbeit enthalten das MARPOL-Übereinkommen bei der Führung des erforderlichen Nachweises einer Verletzung der Konventionsbestimmungen (vgl. Art. 6) und das Internationale Übereinkommen von 1990 über Vorsorge, Bekämpfung und Zusammenarbeit bei der Ölverschmutzung

(*OPRC Convention*, BGBI. 1994 II, S. 3798). Dieses erging als Reaktion auf die EXXON-VALDEZ-Katastrophe vor Alaska und fordert Notfallpläne für Schiffe, Offshore-Anlagen und Seehäfen sowie gegenseitige Berichtspflichten. Für geleistete Hilfeleistungen besteht die Möglichkeit der Erstattung der Kosten. Speziell auf diesen Aspekt ist das Internationale Bergungsabkommen von 1989 (*Salvage Convention*, in: Burhenne, 1974, 989:32) gerichtet, das Anreize zur Bergung und Rettung sowie zum Schutz vor schädlichen Unfallfolgen bietet: Retter haben bei erfolgreichen Operationen – wozu auch die Vermeidung von Umweltschäden, nicht allein die Rettung der Schiffsbesatzung oder ähnliches gehört – Anspruch auf entsprechendes Entgelt. Um generell dem Problem der Schadensabwicklung zu begegnen, wurde zur Entschädigung für Ölverschmutzungs-Schäden ein internationaler Fonds eingerichtet (*International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage*, Brüssel 1971, in: Sands, 1994, S. 1469; BGBI. 1975 II, S. 320). Diese Abkommen gelten global für die Hohe See und die AWZ.

Ergebnis

Während die internationalen Regelungen im präventiven Bereich keinen Unterschied machen zwischen den Küstenmeeren, der AWZ und der Hohen See, zeigt sich, dass die unterschiedlichen Hoheitsrechte in den Zonen von Bedeutung für Eingriffsmaßnahmen sind. Für das Küstenmeer ist die Rolle internationaler Regelungen in Notfällen gering. Es gilt vorwiegend das nationale Recht und Notfallregime. Als Teil des Staatsgebietes gelten die nationalen Eingriffsbefugnisse und die nationalen Zuständigkeiten. Allerdings gilt hier die Freiheit der friedlichen Durchfahrt und das nationale Recht muss internationalen Standards, im Nordseeraum daneben auch europäischen Anforderungen genügen. In der AWZ ist die Bedeutung der internationalen Regelungen höher. Das nationale Recht ist zwar für das Umweltrecht maßgeblich und regelt daneben beispielsweise die Schifffahrtspolizei. Es ist aber eingeschränkt durch die internationalen und regionalen Rechtsvorschriften. Bei Gefahr für seine Küsten besteht ein Eingriffsrecht des Küstenstaates nach internationalen Bedingungen, während im Falle einer Havarie innerhalb der Küstenmeere ein solches Inter-

ventionsrecht nicht geschaffen werden muss, sondern originär besteht. Die größte Rolle spielen die internationalen Abkommen im Bereich der Hohen See. Auf den Schiffen gilt daneben das Recht des Flaggenstaates. Bei akuten Ölverschmutzungen kommt es wesentlich auf die internationale Zusammenarbeit an. Bei den Interventionsabkommen für unfallbedingte Meeresverschmutzungen zeigt sich allerdings, dass im Falle eines Unfalls auf Hoher See die einzelnen Staaten nur dann ein Interesse und Recht haben einzugreifen, wenn sich die Verschmutzung schwerwiegend auf ihre eigenen Küsten auswirken kann. Die Schiffshoheit des Flaggenstaates ist in diesem Fall eingeschränkt – abgesehen davon, dass sein Interesse aufgrund seiner allgemeinen Verpflichtung, Meeresverschmutzungen zu verhüten (Art. 209, Art. 217 SRÜ), dem des Küstenstaates eigentlich entsprechen müsste. Die Verpflichtung zur Verhütung illegaler Meeresverschmutzungen ist an Bord der Schiffe in der Praxis schwer durchsetzbar (vgl. Cron, 1995, S. 116ff.), so dass der Schutz der Umwelt in der Hohen See oft zu kurz kommt. Dabei ist die Beseitigung des ausgeflossenen Öls ohne auf das Unglücksschiff zielende Maßnahmen grundsätzlich auch außerhalb der eigenen Küstengewässer und damit auf Hoher See möglich, da das auf dem Meer treibende Öl keiner Hoheit untersteht (Böhme, 1970, S. 64f.). Die Verantwortung liegt bei der Staatengemeinschaft und wird von dem jeweiligen Nationalstaat auch so empfunden: Die Beseitigung verursacht Kosten, die ein Küstenstaat nur übernehmen wird, wenn er selbst an der Beseitigung ein nationales Interesse hat. Der Schutz der Hohen See ist damit unzureichend. Weitere Anreizsysteme zum altruistischen Eingreifen sind dringend erforderlich. Bisher werden die gemeinsamen Ressourcen zwar weitestgehend ausgebeutet, für ihren Schutz fühlt sich aber der einzelne Staat nicht zuständig. Immerhin sollen sich nach Art. 204 SRÜ die Staaten „bemühen“, „soweit möglich“ unmittelbar oder im Rahmen der zuständigen internationalen Organisationen die Gefahren und Auswirkungen der Meeresverschmutzung zu beobachten, zu messen und zu analysieren. Ein Ausweg aus der Misere des mangelnden Verantwortungsgefühls für die gemeinsamen Umweltgüter bieten die internationalen Organisationen und NGOs, die für eine Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit sorgen.

3.5 Zusammenfassung

Als Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse zur Rolle des internationalen Umweltrechts im Meeresschutz bietet sich folgende Übersicht an.

	Küstenmeer	AWZ	Hohe See
Geltendes internationales und regionales (die *Nordsee betreffendes) Recht zum Meeresschutz, zum Beispiel Havarien (Auswahl)	MARPOL	MARPOL; Brüsseler Übereinkommen von 1969; Bonn-Übereinkommen von 1983*; Salvage Convention 1989; OPRC Convention 1990	MARPOL; Brüsseler Übereinkommen von 1969; Bonn-Übereinkommen von 1983*; Salvage Convention 1989; OPRC Convention 1990
Foren internationaler und regionaler(*) Zusammenarbeit zum Meeresschutz (Auswahl)	IMO; trilaterale Wattenmeerschutzz-Konferenzen*; INK*; OSPARCOM*	IMO; INK*; OSPARCOM*	IMO; Internationale Meeresbodenbehörde nach SRÜ; OSPARCOM*
Hintergrund für die internationale Zusammenarbeit	Hoheitsgebiet des Küstenstaates; vorwiegend nationale Interessen	Überwiegen der souveränen Rechte des Küstenstaates; eingeschränkte Meeresfreiheit	Meeresfreiheit; keine staatliche Souveränität; größtmögliche Ausbeutung steht vor Schutz der Ressourcen
Umweltschutzstandard	hängt maßgeblich vom Recht des Küstenstaates ab; internationale und regionale Abkommen wirken aber auf das nationale Recht ein; im Nordseeraum gilt weitgehend EG-Recht	Recht des Küstenstaates hat noch Geltung, soweit nicht Einschränkung der Meeresfreiheit; zusätzlich gelten Standards internationaler und regionaler Abkommen	internationale und regionale Standards; bei internationalen Standards: Meeresschutz oft auf kleinstem gemeinsamen Nenner

Für die internationale Kooperation ist die Frage wesentlich, wie Streitigkeiten in Bezug auf die Meeresverschmutzung zwischen den Staaten gelöst werden. Im Fall der PALLAS oder der TORREY CANYON war dies bereits ein Problempunkt, der jedoch nicht gerichtlich gelöst wurde. Anhand eines aktuellen Falles aus einem anderen Bereich der Meeresverschmutzung, der gerade vor dem Internationalen Seegerichtshof entschieden wurde, soll im Folgenden ein möglicher Gerichtsweg skizziert werden.

3.6 Das SRÜ und der Internationale Seegerichtshof: Klage Irland/Großbritannien wegen einer Mox-Anlage in Sellafield

Zur Beilegung von Streitigkeiten kann ein Staat grundsätzlich wählen zwischen einem Verfahren vor dem Internationalen Seegerichtshof, dem Internationalen Gerichtshof oder einem entsprechend der Anlagen des SRÜ gebildeten Schiedsgericht oder besonderen Schiedsgericht (Art. 287 Abs. 1 SRÜ). Der Internationale Seegerichtshof wurde 1996 in Übereinstimmung mit dem SRÜ und dem Statut des Internationalen Seegerichtshofs (Anlage VI des SRÜ) errichtet und hat seinen Sitz in Hamburg (Art. 1 Abs. 2 des Statuts). Aus Art. 285, 287, 290 Abs. 5 und Abs. 1 SRÜ sowie Art. 21 und 25 des Statuts kann sich bei entsprechender Wahl der Streitparteien die Zuständigkeit des Internationalen Seegerichtshof für vorläufige Maßnahmen im Bereich von Meeresverschmutzungen ergeben. Insgesamt hat er sich bisher mit zehn internationalen Seestreitigkeiten befasst.

Ein für das Meeresschutzrecht bedeutsamer, gerade entschiedener Fall betraf die Klage Irlands gegen Großbritannien wegen der Genehmigung einer neuen Atomanlage in Sellafield, in der Mischbrennstäbe (Mox) aus waffenfähigem Plutoniumoxid und Uranoxid hergestellt werden sollen (vgl. „Weg frei für Atom-Fabrik in Sellafield“, *Süddeutsche Zeitung* vom 4. Dezember 2001, S. 9). Der Internationale Seegerichtshof lehnte den Antrag Irlands ab, die Inbetriebnahme der Anlage per einstweiliger Verfügung zu stoppen. Nach Art. 290 Abs. 1 SRÜ kann der Gerichtshof die vorläufigen Maßnahmen anordnen, die er für erforderlich hält, um bis zu einer endgültigen Entscheidung

„die Rechte jeder Streitpartei zu sichern“ oder „schwere Schäden für die Meeresumwelt zu verhindern“. Irland forderte als Nachbar ein Mitentscheidungsrecht, da es befürchtete, die Mox-Anlage und die dabei anfallenden internationalen Schiffstransporte von radioaktivem Material könnten zu Verschmutzungen der irischen See führen. Das Gebiet zwischen Irland und Großbritannien gehöre bereits zu den am stärksten verstrahlten Gewässern der Erde, und durch die neue Anlage werde die See noch mehr belastet. Es wirft Großbritannien aufgrund der drohenden Meeresverschmutzung eine Verletzung von Art. 192, 193, 194, 207, 211 und 213 SRÜ vor und eine mangelnde Folgenabschätzung im Sinne von Art. 206 SRÜ. Bereits seit den 1980er Jahren sind das Problem und die Folgen der Einleitung radioaktiver Abwässer mit den langlebigen Isotopen Caesium-137, Americium-241 und Strontium-90 in die Nordsee bekannt. Die Wiederaufbereitungsanlage Windscale, später in „Sellafield“ umbenannt, leitete bis Mitte/Ende der 1980er Jahre allein 250 bis 500 Kilogramm Plutonium in die Irische See ein, was zur Erhöhung der Zahl von Knochenkrebsfällen sowie zur radioaktiven Verseuchung der Schollen und der Krustentiere in der Irischen See führte (Gröh, 1988, S. 109f.) Für eine einstweilige Verfügung wurde die erforderliche Dringlichkeit durch den Internationalen Seegerichtshof nicht anerkannt, da nach Ansicht der Seerichter allenfalls von einer sehr geringen radioaktiven Verschmutzung der Irischen See auszugehen sei und der Betrieb jederzeit wieder gestoppt werden könne (ITLOS, Beschluss vom 3. Dezember 2001, Case No.10, Anm. 72ff., 81). Diese Einschätzung ist aufgrund der bereits sehr hohen Belastung der irischen See und der für eine vorläufige Maßnahme nach Art. 290 Abs. 1 SRÜ daher erfüllten Tatbestandsvoraussetzung „schwere Schäden für die Meeresumwelt“ kaum nachvollziehbar. Ein zwischenstaatliches Schiedsgericht soll jetzt (gemäß Art. 287 Abs. 5, Anhang VII SRÜ) gebildet werden, das abschließend über den Fall entscheidet. Bis dahin wurde Großbritannien vom Internationalen Seegerichtshof die Verpflichtung auferlegt, seinen irischen Nachbarn umfassend über mögliche radioaktive Belastungen zu informieren und gemeinsame Beratungen über Maßnahmen gegen eine Verseuchung des Meeres zu führen. Abgesehen

von dem Ergebnis der Verhandlung, das kritisiert werden mag, zeigt dieses Beispiel die Möglichkeit der Staatengemeinschaft, durch die Einrichtung von Schiedsgerichten wie dem Internationalen Seegerichtshof, verbindliche Beschlüsse und Urteile oder auch vorläufige Maßnahmen zur Sicherung bestimmter Rechtsansprüche zu fällen, denen sich die betroffenen Parteien zu unterwerfen haben. Diese Achtung unabhängiger internationaler Streitinstanzen ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg der Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit.

4 Die Rolle des Völkerrechts für den Schutz der Meere. Eine Zusammenfassung

- (1) Der Zustand der Nordsee hat sich in den letzten Jahren zwar verbessert, die Meere erfahren aber noch immer eine viel zu starke Verschmutzung durch wirtschaftliche Tätigkeiten der Menschen.
- (2) Die dem Prinzip des gemeinsamen Erbes der Menschheit innewohnende Dimension der Schonung gemeinsamer Ressourcen wird bisher nicht ernst genug genommen und ist zu wenig von Worten in Taten umgesetzt worden.
- (3) Der Grundsatz der Freiheit der Meere hat zur übermäßigen Ausbeutung der gemeinsamen und global bedeutsamen Ressourcen geführt.
- (4) Die Aufteilung der Meere in Hohe See, AWZ und Küstenmeere hat dazu geführt, dass die nationalen Einflussräume sich immer weiter ausgeweitet haben zu Lasten der Größe eines internationalen Meeresgebietes, das keiner Souveränität unterliegt. Für den Meeresschutz bedeutet dies, dass das Schutzprinzip des gemeinsamen Erbes der Menschheit zunächst nur für diesen kleineren Bereich gilt und es ansonsten weitgehend auf die nationalen Umweltmaßnahmen ankommt.
- (5) Im Bereich der Hohen See steht nicht der Schutz der natürlichen Ressourcen im Vordergrund, sondern ihre Ausbeutung. Das zeigt sich am Beispiel der Fischereipolitik.

- (6) Das internationale Seerecht nützt bisher noch vorrangig der Durchsetzung wirtschaftlicher, nationaler Interessen.
- (7) Die Aufteilung der Meere in verschiedene Hoheitszonen hat zur Folge, dass
- der Grad der internationalen Zusammenarbeit wesentlich durch das Gewicht der nationalen Interessen in ihren Hoheitsgebieten bestimmt wird;
 - zum Teil unterschiedliche Niveaus von Umweltstandards gelten;
 - bestimmte internationale Regelungen nur für die Hohe See beziehungsweise die AZW gelten, im Küstenmeer aber vorwiegend nationales Recht gilt (Beispiel „umweltgefährdende Havarien“);
 - unterschiedliche Eingriffsbefugnisse des Küstenstaates bestehen.

Eingangs wurde die These vertreten, dass das Völkerrecht zum Schutz der Meere zwar ein Weg, bisher aber zu schwach ausgebildet sei aufgrund der von ökonomischen Interessen beherrschten Zurückhaltungspolitik der nationalen Vertragspartner in Sachen Umweltschutz. Es hat sich gezeigt, dass die Terraaneisierung der Meere, die Aufteilung also in Staatsgebiete und Nichtstaatsgebiete, die sich wiederum in küstenstaatliche Funktionshoheitsgebiete und globale Staatengemeinschaftsräume gliedern (Vitzthum, 1997, 5. Abschnitt, Rn. 126f.), sowie die von nationalen Interessen geprägte Ausbeutung der Ressourcen die Realisierung des Prinzips der gemeinsamen Verantwortung für die Meere erschweren. Chancen für einen gemeinsamen Meeresschutz ergeben sich aus der Pflicht zur Zusammenarbeit, wie sie an den verschiedenen Stellen des SRÜ (Art. 197ff. SRÜ) oder auch im Rahmen der OSPAR-Konvention (vgl. Art. 2 Abs. 1 lit. b OSPAR) festgelegt wird. Damit wird die nationale Souveränität begrenzt (Mann Borgese, 1999, S. 176) und Raum frei für eine fortschreitende Internationalisierung im Sinne einer gemeinsamen Sache des Meeresschutzes.

Das Fazit, das daraus gezogen werden muss, ist, dass die internationale Zusammenarbeit in den verschiedenen Gremien und Organisationen verstärkt werden und nationale Interessen in den Hintergrund treten müssen, um dem Abbau und der Zerstörung der gemeinsamen

Umweltressourcen Einhalt zu gebieten und die Bewahrung der Meeresumwelt zu gewährleisten. Dies ist nicht nur für unsere heutige, sondern auch für das Leben der nachfolgenden Menschengenerationen von elementarer Bedeutung. Dazu bedarf es bindender nachhaltiger Bewirtschaftungsweisen, die entwickelt und durchgesetzt werden müssen. Mit den Worten Elisabeth Mann Borgese darf man die Meere nicht länger als Verlängerung des Landes sehen, sondern muss ihrer Bedeutung für das Leben auf der Erde gerecht werden und sie als eigenständige Sphäre auffassen, um nicht gegen, sondern „mit den Meeren [zu] leben“ (Mann Borgese, 1999).

Literatur

- Biermann, Frank (1994), *Internationale Meeresumweltpolitik. Auf dem Weg zu einem Umweltregime für die Ozeane?*, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien.
- Böhme, Eckart (1970), *Tankerunfälle auf dem Hohen Meer – Die Zulässigkeit staatlicher Maßnahmen zur Gefahrenabwehr*, Hamburg.
- BUND/Misereor (Hrsg.) (1996), Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH: *Zukunftsfähiges Deutschland, ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung*, Basel, Boston, Berlin.
- Burhenne, W.E. (1974), *Internationales Umweltrecht – Multilaterale Verträge*, mit Ergänzungslieferungen, Berlin.
- Cron, Thomas O. (1995), *Das Umweltregime der Nordsee – völker- und europarechtliche Aspekte*, Baden-Baden, zugleich Dissertation, Universität Tübingen 1994.
- Czybulka, Detlef (1999), „Naturschutzrecht im Küstenmeer und in der Ausschließlichen Wirtschaftszone“, in: *Natur und Recht*, S. 562–570.
- Ehmer, Jochen (1974), *Der Grundsatz der Freiheit der Meere und das Verbot der Meeresverschmutzung*, Berlin.
- Gröh, Walter (1988), *Freiheit der Meere: die Ausbeutung des „Gemeinsamen Erbes der Menschheit“*, Bremen.
- Lagoni, Rainer (1992), „Die Abwehr von Gefahren für die marine Umwelt“, in: *Beiträge DGVR*, 32, S. 87ff.
- Mann Borgese, Elisabeth (1999), *Mit den Meeren leben – Über den Umgang mit den Ozeanen als globaler Ressource*, Hamburg.

- Manolis, Mikis (1996), *Functional Sovereignty and the Political Organization of Ocean Space: Creeping Jurisdiction or Multilateral Cooperation?*, Halifax, zugleich Masters thesis.
- Meadows, Dennis (1972), *Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, Stuttgart.
- Meadows, Dennis (1994), *Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, 16. Auflage, Stuttgart.
- Meadows, Donella H., Meadows, Dennis, und Randers, Jørgen (1995), *Die neuen Grenzen des Wachstums*, Hamburg.
- Nordquist, Myron H., Nandan, Satya N., Rosenne, Shabtai, und Grandy, Neal R. (1993), *United Nations Convention on the Law of the Sea 1982, A Commentary*, II. Band, Dordrecht, Boston, London.
- Nordquist, Myron H., Nandan, Satya N., Rosenne, Shabtai, und Grandy, Neal R. (1995), *United Nations Convention on the Law of the Sea 1982, A Commentary*, III. Band, The Hague, London, Boston.
- OSPAR-Commission (2000), *Quality Status Report 2000, Region II – Greater North Sea*, London.
- Sands, Philippe, Tarasofsky, Richard, und Weiss, Mary (1994), *Documents in international environmental law, Principles of international environmental law*, Band II A, Manchester, New York.
- Vitzthum, Wolfgang Graf (1997), *Völkerrecht*, Berlin, New York.
- WCED, World Commission on Environment and Development (1987), *Our common future*, Oxford.
- Winter, Gerd (1988), „Der Schutz der Nordsee als Problem internationaler Übereinkommen und EG-Richtlinien“, in: *Natur und Recht*, S. 265–272.

Marcus Ladineo

Umweltprobleme als Verhaltensprobleme. Was kann die Psychologie beitragen?

1 Einleitung

Umweltpsychologie ist ein breit gefasster und zugleich mehrdeutiger Begriff. Grob gesagt ist der Erklärungsanspruch der Umweltpsychologie ein doppelter: Erstens geht es um den Einfluss der „Umwelt“ auf Erleben und Verhalten des Menschen. In diesem Bereich finden sich zum Beispiel Berührungspunkte mit architektonischen Fragen. Wie wirken bauliche Gegebenheiten auf menschliches Erleben und Verhalten ein? Des weiteren ergeben sich Verbindungen zur Human-geographie, die sich unter anderem mit dem Einfluss von Klima-bedingungen auf psychologische Eigenschaften beschäftigt. Wie an dieser Stelle bereits deutlich wird, findet der Begriff der Umwelt höchst verschiedenartige Verwendungen und ist keineswegs auf die biologische Umwelt und ihre Lebensräume begrenzt.

Zweitens geht um die Hintergründe für umweltrelevantes Verhalten. Einkaufsverhalten, Mobilitätsverhalten und ähnliches sind dabei die entscheidenden Zielgrößen, deren Zustandekommen erklärt werden soll, oft mit dem Ziel, weniger ressourcenintensive Verhaltensmuster zu fördern. Umweltpsychologie in diesen Sinne befasst sich mit den Voraussetzungen des Umweltschutzes und mit der Begründung psychologischer Ansätze hierzu. Hier ist der Begriff Umwelt auf die natürliche Umwelt bezogen, also unter Ausschluss baulicher oder gar sozialer Umwelten. Dieser Beitrag widmet sich diesem Zweig der Umweltpsychologie.

2 Psychologie und Umweltprobleme – Macht diese Kombination Sinn?

Sind die Themen Psychologie und Umwelt überhaupt zusammenzubringen? Ist die Beziehung zwischen Mensch und Umwelt mittlerweile so pathologisch, dass sie einer Therapie bedarf? Und sind nicht außerdem Staaten, Konzerne oder andere Interessengruppen mindestens ebenso an der Entstehung wie auch Lösung von Umweltproblemen beteiligt wie psychologisch behandelbare Individuen? Die Psychologie befasst sich mit menschlichem Erleben und Verhalten in allgemeiner Form, also nicht nur mit den pathologischen Auswüchsen. Selbst das Verhalten von Gruppen – also nicht nur das von Individuen – kann Gegenstand der Sozialpsychologie sein.

Für eine genauere Betrachtung bietet sich eine Dreiteilung der psychologischen Arbeitsfelder an (unter Vernachlässigung des Bereichs der psychologischen Diagnostik, der in diesem Themenfeld keine nennenswerte Rolle zukommt):

- (1) Menschliches Erleben und Verhalten sollen erklärt werden. Es müssen hierzu geeignete Theorien entwickelt und geprüft werden. Dieser Bereich lässt sich als *Grundlagenforschung* beschreiben.
- (2) Gegebenenfalls sollen Erleben und Verhalten beeinflusst werden, beispielsweise innerhalb therapeutischer oder auch pädagogischer Maßnahmen. Solche Maßnahmen werden allgemein als *Intervention* bezeichnet.
- (3) Schließlich bleibt noch die Frage, ob der Versuch der Beeinflussung erfolgreich war. Die Durchführung empirischer Studien, die diese Frage beantworten sollen, wird als *Evaluation* bezeichnet.

Intervention und Evaluation gemeinsam lassen sich dabei auch als angewandte Umweltpsychologie beschreiben.

Nachdem nun die wesentlichen Arbeitsfelder Grundlagenforschung, Intervention und Evaluation beschrieben sind, sollen sie auf den Gegenstand Umwelt bezogen werden. Der Anspruch dieses „Querfeldeinlaufs“ ist es, einen Überblick über die Teildisziplin der

Umweltpsychologie zu geben. Der Gegenstand des vorliegenden Beitrages lässt sich damit wie folgt eingrenzen:

- Umweltpsychologie lässt sich als dasjenige Gebiet auffassen, das versucht, die Grundlagen umweltrelevanten Erlebens und Verhaltens zu erklären. Mittels Interventionen versucht die Umweltpsychologie, dieses Erleben und Verhalten zu beeinflussen. Die Maßnahmen werden in bestimmten Fällen mit den Methoden der Evaluation begleitet, was erlaubt, den Erfolg oder Misserfolg der Intervention zu bewerten.

Im folgenden werden Beispiele sowohl für die Grundlagenforschung wie auch für die angewandte Umweltpsychologie dargestellt. Die Auswahl dieser Beispiele ist im Prinzip willkürlich und orientiert sich an der Relevanz für die Umweltthematik oder der Prominenz des Gegenstandes in der wissenschaftlichen Szene.

3 Umweltpsychologische Grundlagenwissenschaft

3.1 Emotionen in der Umweltkommunikation

Im Sommer 1995 plante der Shell-Konzern die Versenkung der Öllager- und Verladeplattform Brent Spar an einer tiefen Stelle im Atlantik (und nicht etwa in der Nordsee, wie oft fälschlicherweise verbreitet wurde). Mit spektakulären Aktionen machte Greenpeace auf diese Situation aufmerksam, die später von PR-Experten als „Kommunikationskrise“ bezeichnet werden sollte (Arelmann, 1998). Erstaunlich war der Rückhalt, den Greenpeace damals in der Öffentlichkeit fand. Dabei blieb es keineswegs bei bloßen Lippenbekenntnissen. Im großem Umfang boykottierten deutsche Autofahrer und auch die anderer Nationalitäten die Shelltankstellen, sodass diese mit einem Umsatzrückgang in zweistelliger Millionenhöhe (Schubert, 2000) zu kämpfen hatten. Was war hier zu die treibende Kraft? Sicher spielten Emotionen eine wichtige Rolle. Auf welche Weise aber können Emotionen menschliches Handeln derart stark beeinflussen? Hierzu ist es nötig, eine kurze Einführung zu diesem Thema zu geben. Was macht das Phänomen Emotion überhaupt aus, das nach Meinung

mancher Psychologen als das „primäre Motivationssystem“ (Izard, 1994, S. 19) anzusehen ist?

An sich ist das Thema der Emotionen überaus komplex und facettenreich. Eine Begrenzung auf bestimmte Aspekte, die für den Gegenstand relevant sind, scheint hier angebracht. Welche Aspekte sind dies?

- Emotionen als Bewertungsphänomene: Zunächst sagt die Kognitionspsychologie, dass Emotionen Bewertungsschemen sind (Ortony, Clore & Collins, 1988). Das heißt, es handelt sich um „Schnelleinschätzungen“ von Situationen, die widerspiegeln, was man über die zu beurteilende Situation (wiederum mehr- oder minder bewusst) *denkt*.
- Emotionen als subjektive Zustände: Diese Bewertungen führen zu der eigentlichen Emotion. Dies ist derjenige Teil, der das menschliche Erleben ganz unmittelbar betrifft. Es handelt sich dabei um subjektive Zustände, die eine bestimmte qualitative Färbung haben (beispielsweise als positiv oder negativ empfunden werden).
- Emotionen als Auslöser von Handlungstendenzen: Ferner geht mit Emotionen auch die Bereitschaft einher, bestimmte Handlungen auszuführen oder andere zu unterlassen. Diese Handlungen, die durch die jeweiligen Emotionen nahegelegt werden, können dabei der Situation mehr oder weniger angemessen sein; doch selbst wenn sie den Anforderungen der Situation nicht gerecht werden, so besitzen sie doch eine eigene innere „Sinnhaftigkeit“ und üben eine Schutzfunktion aus.

3.2 Erstes Beispiel: Der „Brent-Spar-Effekt“

Im Beispiel Brent Spar war eine treibende Emotion die Empörung. Die soeben angesprochenen Aspekte von Emotionen sollen nun auf dieses Beispiel übertragen werden.

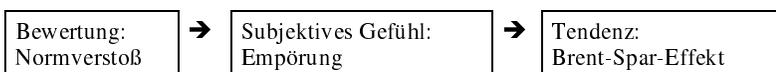


Abb. 1: Beispiel 1: Empörung

Aus der *Abbildung 1* geht die Einschätzung der Situation hervor. Im Falle der Empörung liegt die Bewertung vor, dass gegen eine geltende moralische Regel verstoßen wurde. Es handelt sich also um eine sogenannte subjektbasierte Emotion, bei der der Fokus der Bewertung auf einem Täter und seinen Verhalten liegt und nicht etwa auf den Konsequenzen der Tat (Ortony, Clore and Collins, 1988). Diese Einschätzung geht einher mit dem subjektiven Zustand des Empörtseins, der Teil des emotionalen Erlebens wird. Handlungsweisen, die durch die Emotion begünstigt werden, sind solche, die den Täter in irgendeiner Weise (schädigend) beeinflussen. Den Täter, sofern möglich, zu boykottieren ist eine mögliche Handlungsweise. Auch die Bereitschaft, an einer Demonstration teilzunehmen, steigt unter dem Eindruck der Empörung. Dass es zu einem solchen „Brent Spar-Effekt“ kam, ist auf viele Faktoren zurückzuführen. Eine zentrale Voraussetzung zur Empörung ist sicherlich, dass ein Täter klar identifizierbar war; zumindest musste es diesen Anschein haben. Jedoch ist die Verursachung von Umweltgefahren und Problemen zu oft anderer Art, was unserer „Umweltempörung“ gewissermaßen natürliche Grenzen setzt. Denken wir an das Thema Autofahren oder andere Arten des Konsumverhaltens, so stellen wir fest, dass es hier nicht den *einen* Verursacher gibt. Vielmehr handelt es sich um *kollektive Verhaltensweisen*, an denen wir zum Teil selbst beteiligt sind.

3.3 Zweites Beispiel: „Ich kann es nicht mehr hören“

„Ich kann es nicht mehr hören“; dieser Ausspruch kennzeichnet eine Befindlichkeit, die mit Nachrichten einhergehen kann, die über mögliche Bedrohungen berichten, die allzusehr den Eindruck vermitteln, unabwendbar zu sein. Damit steht dieser Ausdruck nicht notwendigerweise für eine politische Unaufgeklärtheit oder Gedankenlosigkeit. Er verdeutlicht aus psychologischer Sicht etwas, was aus der Emotions- beziehungsweise Stresspsychologie seit längerem bekannt ist: Man gelangt zur (mehr oder minder bewussten) Einschätzung, dass die eigenen Ressourcen nicht ausreichen, um der Situation erfolgreich entgetreten zu können. Hieraus resultiert das subjektive Gefühl

der Hilf- beziehungsweise Hoffnungslosigkeit. Dieses wiederum ruft die Neigung hervor, die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema zu vermeiden (Krohne, 1997).

Das über dem Pfeil in *Abbildung 2* angebrachte Pluszeichen weist darauf hin, dass es sich hierbei um einen positiven Zusammenhang handelt, beziehungsweise um einen „Je mehr, desto mehr Zusammenhang“. Doch Emotionen können nicht nur bestimmte Handlungstendenzen begünstigen. Ebenso ist anzunehmen, dass sie andere, alternative Handlungen tendenziell vereiteln. So ist es plausibel anzunehmen, dass Hilflosigkeit eine schlechte Voraussetzung ist, um Maßnahmen zu unterstützen, die versuchen, einem drohenden Problem entgegenzuwirken. Dieser negative Zusammenhang, der durch das Prinzip „Je mehr, desto weniger“ gekennzeichnet ist, wird durch das Minuszeichen in der Abbildung verdeutlicht. Umweltaktionen, in denen um konkrete Hilfe oder Spenden gebeten wird, würden hier ungehört verebben, da diese als zwecklos beurteilt werden. Je stärker das empfundene Maß an Hilflosigkeit ist, desto schwächer die Neigung, sich solchen Aktionen anzuschließen.



Abb. 2: Beispiel 2: Hilflosigkeit

Hilflosigkeit erscheint vor diesem Hintergrund als ein gescheitertes Besorgtsein, das nicht in gesellschaftlich produktive Handlungsweisen einmünden kann. Von außen betrachtet kann es dabei gar den Eindruck eines bloßen Egoismus vermitteln, da es gewissermaßen einen Rückzug auf sich selbst darstellt.

3.4 Relevanz emotionspsychologischer Erkenntnisse

Die Ergebnisse dieser Grundlagenforschungen sind für den Umweltbereich nicht unerheblich. Ökologische Zustände und Prozesse entziehen sich der direkten, persönlichen Beobachtung. Informationen hierzu werden über die Presse und die Wissenschaft bezogen. Solche Botschaften können zweifellos eine emotionsauslösende Wirkung haben. Die Erkenntnisse über die Wirkung von Emotionen und die Einschätzungen, die mit ihnen einhergehen, könnten hilfreiche Hinweise dafür liefern, auf welche Weise Umweltbotschaften „gestrickt“ sein sollten. Um Hilflosigkeit entgegenzuwirken, wäre es ratsam, Informationen bereitzustellen, aus denen hervorgeht, welche Chancen zur Behebung von drohenden Gefahren bestehen. Der Einschätzung, nichts ausrichten zu können, kann so entgegengewirkt werden.

4 Umweltbewusstseinsforschung

Als in den siebziger und achtziger Jahren Umweltkonflikte mehr und mehr aufbrachen und tiefe Gräben zwischen Öffentlichkeit, wirtschaftlichen Akteuren und Politik rissen, wurde von einem neu entstandenen Umweltbewusstsein gesprochen. Vermutlich war damit zunächst nichts anderes gemeint, als dass das Thema Umwelt nun nach dem allgemeiner Einschätzung auf die politische Agenda gehöre oder höher auf dieser einzuschätzen sei. So wurde Umweltschutz bereits Ende der siebziger Jahre von der deutschen Bevölkerung zu den wichtigsten politischen Aufgaben gezählt (Lange, 2000).

Auch die Umweltsozialwissenschaft nahm sich dieses Begriffs an. Damit begann die Arbeit an einer Definition dieses Begriffs. Oft wurden verschiedenartige Aspekte unter diesem Begriff subsummiert, wobei der Bedeutungsumfang des konzipierten Umweltbewusstsein teils breiter und teils enger gefasst wurde (Spada, 1996). Einige tradierte „Zutaten“ des Umweltbewusstsein sollen im folgenden genannt und knapp erläutert werden:

- ökologisches Wissen: Wissen über naturwissenschaftliche oder umweltpolitische Fakten;

- ökologische Moralvorstellungen: Welcher Stellenwert wird dem Lebensrecht zukünftiger Generationen zugewiesen? Besitzt die Natur einen Wert an sich, der unabhängig von menschlichen Bedürfnissen existiert?
- Einstellungen: Welche Meinungen man zu umweltrelevanten Themen vertritt, zum Beispiel zu Energie, Konsum, Mobilität und dergleichen.

Das allgemeine derartigen Untersuchungen zugrunde liegende Modell war es, das Umweltbewusstsein in Zusammenhang mit dem tatsächlichen Umweltverhalten der Studienteilnehmer zu bringen, um hieraus Erkenntnisse ableiten zu können, in welchem Maße das Umweltbewusstsein das Umweltverhalten bestimmt. Weiterhin galt es zu klären, welche sonstigen Variablen (zum Beispiel Alter oder Geschlecht) damit zusammenhängen. Die Studien dieser Forschungstradition brachen eine fast unübersehbare Menge von Ergebnissen hervor, denen, sofern überhaupt, verschiedene Theorien zugrunde liegen (zur Übersicht vergleiche beispielsweise Lehmann, 1999). Zumeist wurde sich der modernen multivariaten Methoden bedient, bestrebt, das Geflecht zahlreicher, auf das Umweltverhalten Einfluss nehmender Variablen in eine sinnvolle Ordnung zu bringen (Lehmann, 1999). Die Ergebnisse fielen zum großen Teil ernüchternd aus (de Haan und Kuckartz, 1996). Es zeigte sich, dass umweltrelevante Einstellungen, Werte und dergleichen zumeist nur im geringen Ausmaß mit dem tatsächlichen Verhalten korrelieren, sofern sich überhaupt eine Korrelation nachweisen lässt. Das heißt einfach ausgedrückt: Man kann zwar umweltbewusst sein, heißt aber nicht, dass dem ein entsprechendes Handeln folgt. Dennoch blieb das allgemeine Modell bestehen, wie in *Abbildung 3* dargestellt.

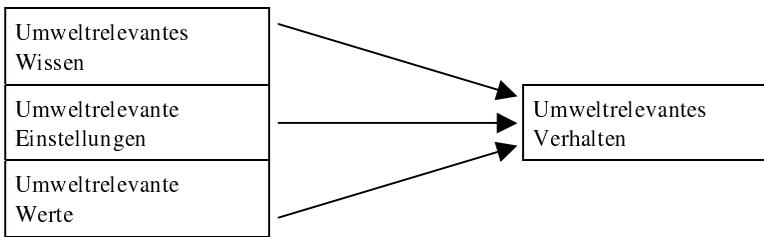


Abb. 3: Allgemeines Modell von Umweltwissen und -verhalten

Dieses postulierte Modell lässt sich als das Modell der Umweltbildung bezeichnen, ist doch die Vermittlung von Wissen und Werten ein Bildungsziel par excellence. Die Konzepte moderner Umweltbildung haben einiges Neues aufgenommen. Auf diese Änderungen beziehungsweise Erweiterungen werden an späterer Stelle eingegangen.

5 Relevanz der Umweltbewusstseinsforschung

Wie hängen Umweltbewusstsein und Umweltverhalten miteinander zusammen? Auf welche Weise lässt sich ein größtmöglicher Effekt auf das Umwelthandeln erzielen? Insbesondere aufgrund der letzten Frage kann die Umweltbewusstseinsforschung als die Grundlagenwissenschaft der Umweltbildung angesehen werden. Hier gewonnenes Wissen ermöglicht Erkenntnisse über eine geglückte Gestaltung von Maßnahmen zur Umweltbildung.

5.1 Angewandte Umweltpsychologie: „Social Marketing“ im Umweltbereich

Beim Gedanken an die Beeinflussung von Verhalten im großen Stil (teils mit dem unangenehmen Beigeschmack, mit subtilen, eventuell sogar unfairen Methoden manipuliert zu werden), liegt es nahe, Parallelen zur Werbung zu ziehen. Könnten die Mittel der Werbung nicht zur Lösung von Umweltproblemen genutzt werden, um schädigende Konsummuster zu korrigieren? Einem solchen Gedanken folgt das sogenannte Social Marketing, das wie folgt definiert werden kann:

Social Marketing ist die Planung, Organisation, Durchführung und Kontrolle von Marketingstrategien und -aktivitäten nicht-kommerzieller Organisationen, die direkt oder indirekt auf die Lösung sozialer Aufgaben gerichtet sind (Bruhn und Tilmes, 1989, S. 21).

Beispiele von Social-Marketing-Kampagnen sind allgegenwärtig. „Keine Macht den Drogen“ und „Gib Aids keine Chance“ sind vermutlich gegenwärtig die prominentesten Beispiele. Gemeinsam ist diesen Aktionen, dass nicht für ein Produkt oder eine Dienstleistung geworben wird. Vielmehr wird – mehr oder minder direkt – eine sozial wünschenswerte Verhaltensweise beziehungsweise die Unterlassung einer schädigenden Verhaltensweise propagiert. beim Social Marketing handelt es sich um einen Prozess, der sich, in Anlehnung an Kotler und Roberto (1991, S. 53ff.), in fünf Phasen untergliedern lässt, wie *Abbildung 4* zeigt.

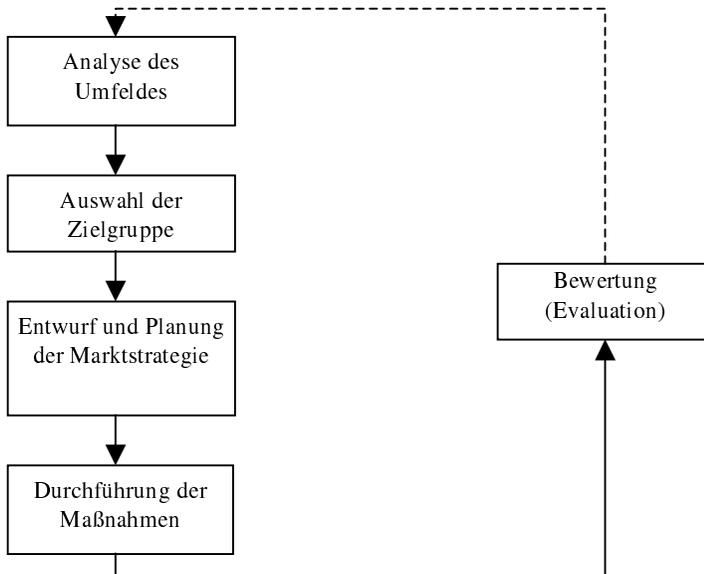


Abb. 4: Phasen des Social Marketing

Zu Beginn einer Kampagne steht die Analyse des Umfelds. Sofern es sich hierbei um eine Aktion zum Klimaschutz handelt, wie dies bei der „Aktion Nordlicht“ der Fall ist (siehe unten), geht es bei der Analyse zunächst darum festzustellen, ob überhaupt ein Einsparpotential vorliegt, und wenn ja, wodurch es zu erreichen ist. Sollte eher eine Reduzierung des Individualverkehrs angestrebt werden oder eher eine bessere Isolierung der Wohnräume, um CO₂ einzusparen? Die nächste Phase besteht dann in der Auswahl einer Zielgruppe. Bei wem besteht überhaupt ein Einsparpotential? Diese Frage hängt eng mit der dritten Phase zusammen, in der es darum geht, die geeigneten (Werbe-)Mittel der Kampagne zu finden. Auf welche Weise ist das Ziel der Einsparung zu kommunizieren? Diese Vermittlung kann zielgruppenspezifisch unterschiedlich ausfallen. Man muss sich hierbei in der Diskussion über sich zur Auswahl eignenden Zielgruppen an Lebensstilansätzen orientieren, ein Ansatz, dessen Nutzen bereits im Zusammenhang mit ökologischen Fragestellungen diskutiert wird (Reusswig, 1998).

Hiernach kann sich endlich die Durchführung der Aktion anschließen. Schließlich stellt sich die Frage: War die erfolgte Intervention erfolgreich? Dieser Überprüfungs-schritt wird als Evaluation bezeichnet, die ihrerseits die Voraussetzung für den optimierten Entwurf einer neuen Kampagne oder eines neuen Kampagnenzyklus sein kann.

Die Mittel, derer sich derartige Kampagnen bedienen, sind vielfältig und werden hier nur ausschnitthaft dargestellt (für einen ausführlicheren, auf die Umwelt bezogenen Überblick siehe zum Beispiel Mosler und Gutscher, 1998).

- Prompts: Sie machen den prominentesten Teil der Kampagnen aus. Hierbei handelt es sich um Aufkleber, Schilder oder Poster, die das „Logo“ der Aktion tragen. Diese Prompts sind auffällig in der Gestaltung und formulieren oft das Ziel der Kampagne in sehr knapper Form.
- Öffentliche oder private Selbstverpflichtung: Hierbei wird von Privatpersonen oder von Organisationen eine Zusage erbeten (beispielsweise einen bestimmten Betrag an Energie einzusparen).

Eventuell wird die Möglichkeit der Kontrolle des Einhaltens dieser Verpflichtung seitens des Initiators durch den angesprochenen Teilnehmer eingeräumt.

- Rückmeldung: Als positiver Anreiz kann eine Rückmeldung der bereits erfolgten Einsparleistung erfolgen, die als Geldbetrag umgerechnet sein kann. Dieses Mittel muss sich nicht notwendigerweise an Einzelpersonen richten. Auch Rückmeldungen an Betriebe oder Gemeinden sind denkbar.
- Vorbilder: Ein wiederum stärker an der Werbung orientierter Ansatz besteht darin, für das Thema geeignete Werbeträger einzubeziehen, die als nachahmenswert beurteilt werden, und die zumindest für die angesprochene Zielgruppe eine hohe soziale Attraktivität haben müssen.

Wie schon bei der Beschreibung der Mittel des Social Marketing angedeutet, kann unter den allgemeinen Begriff der sozialen Aufgabe auch das Thema Umwelt fallen. Tatsächlich gibt es Beispiele von Social Marketingkampagnen in diesem Bereich.

Hier ist die Aktion Nordlicht (Prose, 1996) zu erwähnen, deren Ziel es ist, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, indem mit unterschiedlichen Mitteln die Einsparung von CO₂ veranlasst werden soll. Die Aktion bedient sich dabei folgender Vorgehensweise: Multiplikatoren verteilen Handzettel, die über die Ziele der Aktion und auch über konkret durchführbare Maßnahmen informieren. Unternehmen, die sich bereit erklären mitzuwirken, können die Handzettel drucken und an einer dafür vorgesehenen Stelle ihr Firmenlogo anbringen lassen, sodass ein Effekt der Eigenwerbung erzielbar ist. Beigelegt ist ein Rückmeldebogen, auf dem die Teilnehmer ihr Einsparungsziel selbst wählen können. Über die Ergebnisse wird in regelmäßigen Abständen berichtet.

Abschließend kann festgestellt werden, dass sich die Methode des Social-Marketing überwiegend der Mittel der Werbung bedient. Hierzu werden der öffentliche Raum sowie lokale Medien und neuerdings auch das Internet genutzt. Oft treten Social Marketingkampagnen auch mit einem Bildungsanspruch verbunden, doch bedienen sie sich

nicht notwendigerweise der Wege der traditionellen Bildungssysteme. Dies unterscheidet das Social Marketing von der Umweltbildung.

6 Umweltbildung

Die Umweltbildung hat viele Ausrichtungen, zugrunde liegende pädagogische Ansätze und Zielsetzungen. Auch kann sie an verschiedenen Positionen des Bildungswegs ansetzen. Dies verdeutlichen die Attribute „schulische“, „berufliche“, oder „betriebliche“ vor dem Substantiv „Umweltbildung“.

Wie aus dem Modell in Abbildung 3 deutlich wird, besteht das grundlegende Prinzip in der Beeinflussung einer Reihe von Aspekten, bei denen eine Relevanz bezüglich des Umweltverhaltens unterstellt wird. Die Auswahl dieser Aspekte hängt dabei von dem zugrunde liegenden pädagogischen Ansatz ab. Der oft synonym verwendete Begriff der Umwelterziehung taucht schon in den siebziger Jahren auf. Dort wurde als Leitsatz formuliert:

Ein grundlegendes Ziel der Umwelterziehung ist es, den einzelnen und die gesellschaftlichen Gruppen das komplexe Wesen der natürlichen und künstlichen Umwelt [...] verstehen zu lehren und sie die erforderlichen Kenntnisse, Wertvorstellungen, Verhaltensweisen und praktischen Fertigkeiten erwerben zu lassen, die sie in die Lage versetzen, in verantwortungsbewußter und wirksamer Weise am Erkennen und Lösen von Umweltproblemen und an der Gestaltung der Umweltqualität teilzuhaben. (Deutsche UNESCO-Kommission, 1979, S. 73f.).

Wie im Grunde nicht anders zu erwarten ist, entsteht die Uneinigkeit bei dem Versuch der Umsetzung dieser Ziele: Wie sollte dies zu erreichen sein? Eine erschöpfende Übersicht über die verschiedenen Ansätze der Umweltbildung, Umwelterziehung oder Ökopädagogik kann hier nicht geleistet werden. Folgende Ansätze sind jedoch erkennbar (vgl. Eulefeld, 1996):

- Einmal gibt es die sachliche Vermittlung von „Wissen“, gewöhnlich mit einem Übergewicht auf naturwissenschaftlicher Umweltinformation.
- Dem entgegen steht die Vorstellung, dass in der Umwelterziehung auch umweltbezogene Wertvorstellungen vermittelt werden sollten. Hieran schließt sich das Problem an, dass viele verschiedene Naturethiken denkbar sind (Krebs, 1997). Somit wird die Frage aufgeworfen, an welche dieser Ethiken die Umweltbildung anknüpfen sollte.
- Vor diesem Hintergrund erscheint die – stark utopiegeladene – Ökopädagogik mit ihrem Anspruch, dass der Natur ein Eigenwert zugeschrieben werden sollte (Been und de Haan, 1984). Demnach laufen die vorherigen Ansätze angeblich auf das Prinzip der technischen Beherrschung hinaus, das die Umweltkrise erst hervorgebracht habe.

Für die aktuelle Diskussion scheint das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung von besonderer Bedeutung zu sein. So heißt es in der Agenda 21: „Bildung ist eine unerlässliche Voraussetzung für die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung“ (BMU, 1992, S. 261). Im Zuge dieser „Neuorientierung der Bildung auf nachhaltige Entwicklung“ (Gebhard, 1998, S. 34) entstand das Konzept der ökologischen Kompetenz. Wenn auch die einschlägigen Autoren zu verschiedenen Ergebnissen kommen, was genau unter diesem Begriff zu subsumieren sei, liefert doch Gebhard (1998) eine Zusammenfassung:

- Vernetztes Denken: Es wird als eine Kompetenz gesehen, die es ermöglicht, der Umweltthematik intellektuell gerecht zu werden. Diese Thematik zeichnet sich gerade dadurch aus, dass hier die Teilsysteme Natur, Wirtschaft und Soziales in vielfältigen Wechselwirkungen miteinander in Verbindung stehen. Das Gegenstück vom vernetzten Denken wäre ein Denken, in dem Wissensfragmente in unverbundener Weise nebeneinander stehen. Damit richtet sich diese Kompetenz auch gleichsam gegen ein „Trichtermodell“ Bildung, in dem lediglich die Menge von vermittelter

Information zählt und der oder die Lernende als zu füllender Wissensbehälter betrachtet wird.

- Reflexionsfähigkeit: Hiermit ist die Fähigkeit gemeint, sowohl das eigene Umwelthandeln als auch die strukturellen Bedingungen des kollektiven Umwelthandelns kritisch zu hinterfragen. Für die politische Willensbildung scheint diese Fähigkeit von großer Bedeutung zu sein.
- Antizipationsfähigkeit: Globale Umweltprobleme zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass ihre Ursachen und die Folgen räumlich und zeitlich entkoppelt sind. Da es als ein simples psychologisches Gesetz gilt, dass der Mensch aus den Folgen seiner Handlungen lernt, wirft diese Tatsache Probleme auf. Die schädlichen Folgen der persönlichen übernutzenden Verhaltensmuster werden nicht unmittelbar sichtbar, weshalb sie in der Einschätzung an subjektiver Wichtigkeit einbüßen. Gefordert wird also die Fähigkeit, mögliche langfristig-zukünftige Konsequenzen in den Entscheidungsprozess der Gegenwart einfließen zu lassen.
- Partizipationsfähigkeit: Um im Umweltbereich im mehrfachen Sinne des Wortes zu nachhaltigen Entscheidungen zu kommen, die auf Basis eines Konsens der beteiligten Akteure erzielt wurden, sind „kommunikative und soziale Kompetenzen der Verständigung, des Abwägens und Aushandelns von Kompromissen, ferner Durchhaltevermögen und persönliche Stabilität, um gesellschaftliche Ambivalenzen und Widersprüche auszuhalten und sich auf langwierige, von Rückschlägen begleitete Prozesse der Veränderung einlassen zu können“ unabdingbar (Gebhard, 1998, S. 39). Vor diesem Hintergrund erscheint der ökologisch kompetente Bürger gleichfalls als politisch kompetent.

Es handelt sich hier nicht um ein Konzept, welches ausschließlich am Individuum ansetzt. Vielmehr wird der Tatsache Rechnung getragen, dass auch ein Umwelthandeln, das auf dem ersten Blick als individuelle Entscheidung erscheint, vor dem Hintergrund struktureller Gegebenheiten begünstigt oder vereitelt wird, ein Umstand, dem die frühe Umweltbildung wenig Beachtung geschenkt hat.

7 Mediation im Umweltbereich

Mediation is a voluntary process in which those involved in a dispute jointly explore and resolve their differences. The mediator has no authority to impose a settlement. His or her strength lies in the ability to assist the parties in resolving their own differences. The mediated dispute is settled when the parties themselves reach what they consider to be a workable solution. Cormick (1980, S. 27; zitiert nach Zillißen, 1998, S. 17)

Das Verfahren der Mediation ist keineswegs neu. Konfliktvermittlung, ein für Mediation häufig synonym gebrauchter Begriff, gibt es schon seit Menschengedenken. Die Einsatzgebiete sind dabei vielfältig. Bekannt ist sie im psychologischen Umfeld im Rahmen von Schlichtungsmaßnahmen bei Scheidungs- und Sorgerechtsprozessen. Mit der Mediation ist auch die Möglichkeit verbunden, außergerichtliche Einigungen zu erzielen, in dem die verstrittenen Parteien versuchen, gemeinsam zu einer Lösung zu finden, die für alle Parteien akzeptabel ist. Auf diese Weise erzielte Lösungen sind oft nachhaltiger als Gerichtsbeschlüsse, da die Beteiligten selbst die zustande gekommenen Lösungen mitgestalteten. Längere Rechtsstreitigkeiten können auf diese Weise verhindert werden. Diese Vorteile gelten auch für die Umweltmediation. Hierbei treten die verschiedenen Akteure (zum Beispiel Umwelt- und Naturschutzgruppen, Bürgerinitiativen und Betreiber einer umstrittenen industriellen Anlage) miteinander in Verhandlung, um über die Bedingungen des Betriebs (zum Beispiel die technische Ausstattung der Anlage, oder kompensatorische Maßnahmen) zu entscheiden. Laut Fietkau (2000) bietet die Mediation dabei im Idealfall folgende Chancen:

- Sie bietet Chancen als Instrument der Bürgerbeteiligung: Dass die Möglichkeit zur Partizipation gegeben sein sollte, ist auch durch die Agenda 21 ausdrücklich gefordert.
- Chancen durch wachsende Kompetenz der beteiligten Akteure: Diese lernen die Problemsituation aus Sicht der übrigen Konfliktteilnehmer sehen und nehmen zudem an einem sicherlich oftmals schwierigen Prozess des Verhandeln teil.

- Mediation zum Interessenausgleich: Die Einbindung aller Gruppen begünstigt es, dass auch all deren Ziele mit berücksichtigt werden. Weiterhin ist der Prozess der Entscheidungsfindung für alle Beteiligten transparent, was eine günstige Voraussetzung für die Akzeptanz der Entscheidungen bietet (Zillißen, 1998).

Doch nicht nur in der Mediation kann die psychologische Kompetenz der Konfliktvermittlung dienstbar gemacht werden. Auch innerhalb von Agenda 21-Prozessen spielt sie eine gewichtige Rolle, wird doch dort für Partizipation als wichtige Voraussetzung einer nachhaltigen Entwicklung plädiert (RSU, 1992).

8 Abschießende Bemerkungen und Folgerungen für den Lebensraum Nordseeküste

Umweltprobleme haben im allgemeinsten Sinne einen Bezug zur Psychologie, da sie auch als Folgen menschlichen (dabei keineswegs nur individuellen) Verhaltens betrachtet werden können. Die Aufgabe der grundlagenbezogenen psychologischen Forschung ist es, zu erhellen, wie und ob dieses Verhalten erklär- und veränderbar ist. Die so gewonnenen Erkenntnisse können als angewandte Umweltsozialwissenschaft in die Maßnahmen des Social Marketing, der Umweltbildung und der Umweltmediation einfließen.

Die Implementierung der zuvor geschilderten Maßnahmen geschieht jedoch nicht im luftleeren Raum. Es müssen hierzu die Gegebenheiten des anvisierten Lebensraums berücksichtigt werden. Stets wird die Festlegung auf ein bestimmtes geographisch oder sonstwie definiertes Gebiet erforderlich sein, woraus sich Konsequenzen für die zu wählende Strategie ergeben. Wengleich im Rahmen dieses Beitrags keine systematische Analyse der Chancen und Grenzen der psychologischen Ansätze zum Umweltschutz für den Lebensraum Nordseeküste geleistet werden kann, erscheinen folgende Besonderheiten erwähnenswert:

- Es handelt sich beim Lebensraum Nordseeküste um ein System, das im hohen Maße offen ist. Schadstoffeinträge erfolgen zum Teil

aus geographisch entfernten Gebieten. Man denke an die Einträge, die durch Flüsse erfolgen (OSPAR Commission, 2000).

- Weiter ist die Nordsee ein Gebiet, an dem mehrere Staaten angrenzen, die im unterschiedlichen Ausmaß unterschiedliche Schadstoffe emittieren (OSPAR Commission, 2000).
- Es handelt sich meist um industriell erzeugte Einträge, die allenfalls auf indirekte Weise durch den privaten Konsum entstanden sind.

Hieraus sind folgende Schlussfolgerungen für mögliche Social-Marketing Kampagnen und die Umweltbildung für den Lebensraum Nordseeküste zu ziehen:

- Social-Marketing Kampagnen sollten *überregional*, idealiter über verschiedene Nationen hinweg, organisiert sein. „Was nutzt es denn, wenn wir etwas ändern, die anderen aber nichts tun?“ Dieses Argument kann auf diese Weise abgeschwächt werden. Weiterhin kann so das Bewusstsein dafür geschärft werden, dass es sich um einen gemeinsamen Lebensraum handelt.
- Die Kampagnen müssen eher auf *Nutzergruppen* zielen, die als Organisationen in Erscheinung treten. Möglicherweise sind hierbei mehrere Branchen einzubeziehen (zum Beispiel Ölkonzerne, Landwirtschaft und dergleichen). Weniger vielversprechend scheint ein Appell an das private Konsumverhalten zu sein.
- Die hierzu notwendigen Aktivitäten gehen stark in den politischen Bereich. Folglich wäre es für die Umweltbildung ratsam, die hierfür benötigten Wissensvoraussetzungen (beispielsweise Wissen über die rechtliche Situation der Nationalparke des Wattenmeers) und Fähigkeiten zu fördern. Vor diesem Hintergrund scheint eine Konzentrierung auf die auf die oben beschriebenen *ökologischen Kompetenzen* ratsam. Weiterhin erscheint es vor diesem Hintergrund angebracht, auf eine Umweltbildung zu setzen, die sich im hohem Maße auf *interdisziplinäre Wissensgrundlagen* berufen kann (vgl. hierzu auch RSU, 1994).

Literatur

- Arelmann, E.-R. (1998): „Die Krise als Event wider Willen“, in: *PR-Forum*, 2/98, S. 91f.
- Beer, W., und de Haan, G. (1984): *Ökopädagogik: Aufstehen gegen den Untergang der Natur*, Weinheim: Beltz.
- Bruhn, M., und Tilmes, J. (1989). *Social Marketing*, Stuttgart: Kohlhammer.
- Cormick, G. W. (1980): „The ‚theory‘ and practice of environmental mediation“, in: *The Environmental Professional*, 2.
- Deutsche UNESCO-Kommission (1979): *Zwischenstaatliche Konferenz über Umwelterziehung*, Tiflis 1977, München: UNESCO-Konferenzberichte 4.
- Eulenfeld, G. (1996): „Umwelterziehung“, in: Kruse, L., Graumann, C.-F., und Lantermann, E.-D. (Hg.): *Ökologische Psychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*, Weinheim: PVU, S. 654–659.
- Fietkau, H.-J. (2000): *Psychologie der Mediation*, Berlin: Edition Sigma.
- Graumann, C.-F. (1976): „Die ökologische Fragestellung – 50 Jahre nach Hellpachs ‚Psychologie der Umwelt‘“, in: Kaminski, G. (Hg.): *Umweltpsychologie. Perspektiven – Probleme – Praxis*, Stuttgart: Klett, S. 21–39.
- Izard, C.E. (1994): *Die Emotion des Menschen. Eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie*, Weinheim: PVU.
- Kotler, P., und Roberto, E. (1991): *Social Marketing*, Düsseldorf: ECON.
- Krebs, A. (1997): „Naturethik im Überblick“, in: dies. (Hg.): *Naturethik. Grundtexte der gegenwärtigen tier- und ökoethischen Diskussion*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 337-379.
- Krohne, H.W. (1997): „Stress und Stressbewältigung“, in: Schwarzer, R. (Hg.): *Gesundheitspsychologie. Ein Lehrbuch*, Göttingen: Hogrefe, S. 267–283.
- Lange, H. (2000): „Eine Zwischenbilanz der Umweltbewusstseinsforschung“, in: ders. (Hg.): *Ökologisches Handeln als sozialer Konflikt. Umwelt im Alltag*, Opladen: Leske + Budrich, S. 13–35.
- Lehmann, J. (1999): *Befunde empirischer Forschung zu Umweltbildung und Umweltbewusstsein*, Opladen: Leske + Budrich.
- Mosler, H., und Gutscher (1998): „Umweltpsychologische Interventionsformen für die Praxis“, in: *Umweltpsychologie*, 2, S. 64–79.
- Ortony, A., Clore, G. L., und Collins, A. (1988): *The cognitive structure of emotions*, Cambridge: Cambridge University Press.

- OSPAR Commission (2000): *Quality Status Report 2000. Region II – Greater North Sea*, London: OSPAR Commission.
- Prose, F. (1996): „Zur Organisation der Nordlicht- Kampagne in Kommunen“, in: *Klimabiündnis Rundbrief Nr. 7*, S. 20f. Auch nachzulesen unter: <http://www.nordlicht.uni-kiel.de/psm.htm> (Stand vom 24. Januar 2002).
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hg.) (1994): *Umweltgutachten 1994. Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung*, Stuttgart: BMU.
- Reusswig, F. (1998): „Die ökologische Bedeutung der Lebensstilforschung“, in: de Haan, G., und Kuckartz, U. (Hg.): *Umweltbildung und Umweltbewusstsein. Forschungsperspektiven im Kontext nachhaltiger Entwicklung*, Opladen: Leske + Budrich, S. 91–102.
- Schubert, B. (2000): *Shell in der Krise. Zum Verhältnis von Journalismus und PR in Deutschland, dargestellt am Beispiel der „Brent Spar“*, Münster: Lit Verlag.
- Spada, H. (1996): „Umweltbewusstsein: Einstellung und Verhalten“, in: Kruse, L., Graumann, C.-F., und Lantermann, E.-D. (Hg.): *Ökologische Psychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*, Weinheim: PVU, S. 623–631.
- Zilliben, H. (1998): „Mediation als kooperatives Konfliktmanagement“, in: ders. (Hg.): *Mediation. Kooperatives Konfliktmanagement in der Umweltpolitik*, Opladen: Westdeutscher Verlag, S. 17–38.

Olaf Mosbach-Schulz

Variabilität in der Expositionsabschätzung– eine Herausforderung für Administration und Wissenschaft

1 Wissenschaftliche Fragestellungen der Administration

Meldungen von schädlichen Chemikalien in unserer Lebensumwelt oder in unseren Nahrungsmitteln sind in steter Regelmäßigkeit in der Presse zu finden: „Der Meeresboden und die Fische sind durch menschliche Aktivitäten kontaminiert – Die Gesundheit ist in Gefahr!“ Stehen die Stoffe zusätzlich in Verdacht, die menschliche Gesundheit zu schädigen, Krankheiten oder Vergiftungen auszulösen, so folgt häufig die Forderung nach Kontrolle und Verbot. Doch ebenso schnell verschwinden diese Meldungen wieder aus dem Blickwinkel der Öffentlichkeit.

Ist diese Umgehensweise mit Gesundheitsgefahren ein Zeichen für eine übertriebene Berichterstattung in den Medien oder Ausdruck für ein Defizit in der Forschung? Welche Anforderungen stellen die Regulationsbehörden an die Wissenschaften, und sind diese bereit sich den Aufgaben zu stellen?

Traditionelle naturwissenschaftlich-forschende Ansätze sind stark von einer einzelnen Situationsanalyse geprägt:

- Wie gefährlich ist eine Aktivität oder Situation?
- Ist diese nicht zu gefährlich?
- Und falls ja, wie kann die Gefährlichkeit reduziert werden?

Die Probleme einer gesellschaftlichen Risikobewertung werden dabei auf eindimensionale Ursache-Wirkungszusammenhänge reduziert, die experimentell oder durch Eingrenzung der zu betrachteten Population, zum Beispiel auf Versuchspersonen, untersucht werden können.

Regulative Prozesse unterscheiden sich von dieser einfachen Herangehensweise in mehreren Punkten. Im Sinne der Vorsorge müssen Behörden frühzeitig reagieren, lange bevor ein wissenschaftlich tragfähiger Nachweis bestehender oder zukünftiger Gesundheitsgefahren erbracht ist. Damit erfordert regulatives Bewerten den Umgang mit ungesicherten Informationen, ohne dass in der Ergebnisdarstellung diese Vagheit verheimlicht werden darf. Dabei kann frühzeitiges Eingreifen unter Umständen sogar verhindern, dass weitere Informationen zur Evaluation und Kalibrierung der Zusammenhänge zwischen Exposition und Schädigung gesammelt werden können.

Auch die Reduktion von Komplexität ist in regulativen Modellen selten möglich, da sie inhomogene Populationen, wie zum Beispiel die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, mit verstrickten Beziehungsgeflechten abbilden sollen. Dies erfordert aber die Zusammenführung von Daten verschiedener Quellen zur Beurteilung unterschiedlicher Verhaltensweisen und Ausgangssituationen, ohne dass dabei die Transparenz der Modellierung, ihrer Annahmen und inneren Logik verloren gehen darf. Auf diesem Gebiet fehlen zudem noch weitgehend feste Konventionen der Modellierung und der Dokumentation, so dass noch nicht auf Expositionsstandards zurückgegriffen werden kann.

Schließlich müssen regulative Prozesse handlungsorientiert sein und zu einer Entscheidung führen. Gleichzeitig darf die Modellierung aber nicht starr sein, so dass sie eine verbesserte Datenlage und sich verändernde Zielstellungen kontinuierlich aufnehmen und eventuell frühere Ergebnisse auch revidieren kann. Am besten wird ein solcher Prozess durch das zyklische Durchlaufen verschiedener Stadien: „Erkennen“, „Bewerten“, „Entscheiden“ und „Evaluieren“ beschrieben.

Die regulativen Fragestellungen orientieren sich also mehr an der Bevölkerung als an der Situation:

- Welche Situationen stellen ein unakzeptables Risiko für die Bevölkerung dar?
- Welches Risikomanagement wird erfolgreich mit dem Problem fertig?

- Wie können Konflikte gelöst werden, wenn eine Partei das Management nicht akzeptiert?

Diese Kernfragen zeigen sich ebenso im elfstufigen Verfahren zur Festlegung von Umweltstandards (Tabelle 1), das der Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Gutachten (SRU, 1996) vorgestellt hat.

Tab. 1: Mehrstufenverfahren zur Festlegung von Umweltstandards (nach SRU, 1996)

<i>I. Welche Situationen stellen ein unakzeptables Risiko für die Bevölkerung dar?</i>	
	1. Definition von Schutzobjekten 2. Definition von Schutzzielen
<i>II. Welches Risikomanagement wird erfolgreich mit dem Problem fertig?</i>	
	3. Situationsanalyse: Problembeschreibung, naturwissenschaftliche Datensammlung 4. Naturwissenschaftliche Evaluation der Daten 5. Standardvorschlag aus naturwissenschaftlicher Sicht 6. Ermittlung technischer Reduktionsmöglichkeiten 7. Kosten-Nutzen-Analyse
<i>III. Wie können die Konflikte gelöst werden, wenn eine Partei das Management nicht akzeptiert?</i>	
	8. Diskussionsphase 9. Entscheidungsphase 10. Kontrollen 11. Fortschreibungspflicht

Wissenschaftliche Politikberatung hat also die Aufgabe, ungesichertes Wissen zu überprüfen, zu strukturieren und zusammenzuführen, so dass Entscheidungen der Gesellschaft möglich werden, bei denen das derzeitige Wissen vollständig genutzt und die Auswirkungen der Begrenztheit des Wissens bedacht wird.

Die Ergebnisse wissenschaftlicher Politikberatung sind also keine „Wahrheiten“, sondern nur die derzeit *besten* Approximationen an die reale Welt. Die Qualität eines regulativen Modells misst sich nun

daran, dass es alle notwendigen Informationen nutzt, so einfach wie möglich ist, klar die Annahmen und Entscheidungskriterien benennt und alle Ungewissheit mit einbezieht.

Zur wissenschaftlichen Grundlegung einer solchen Politikberatung gehört die Entwicklung von neuen Werkzeugen, Methoden und Modellen, bestimmt zur Lösung dieser speziellen Aufgabe.

2 Variabilität in der Expositionsabschätzung

Obwohl die Abschätzung von Gesundheitsrisiken im Grunde die Ungewissheit – das Risiko – des Schadenseintritts in sich führt, bauen die Bewertungsmodelle weitgehend auf deterministischen Annahmen auf. Bei der Beurteilung der Exposition eines Menschen mit schädigenden Chemikalien werden häufig mittlere Kontaminationen, durchschnittliche Aufenthaltszeiten/Aufnahmemengen und Resorptionsraten von gesunden Menschen angenommen. Diese werden im Expositionsmodell mit Hilfe mathematischer Formeln

$$\text{EXPO} = f(x_{01}, \dots, x_{0M})$$

zur inneren Belastung des Menschen umgerechnet, die schließlich zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung (Risikomodell) dient.

Dabei führen schon einfache (nicht-lineare) Verknüpfungen der Eingangsgrößen dazu, dass im Ergebnis nicht das mittlere Risiko in einer Bevölkerung berechnet wird. Die fehlende Berücksichtigung der Variabilität im Modell führt also zumindest zu schwer interpretierbaren Ergebnissen.

Dabei sind für die meisten Regulationen auch mehr die Extremfälle, sogenannte „worst-case“-Szenarien, interessant, in denen besonders ungünstige Randbedingungen miteinander verknüpft werden. Doch auch hier kann nur ein Ansatz, der die Variabilität der Eingangsgrößen mit in die Modellierung aufnimmt, beschreiben, in welchem Umfang diese Extremfälle in einer Population auch tatsächlich auftreten.

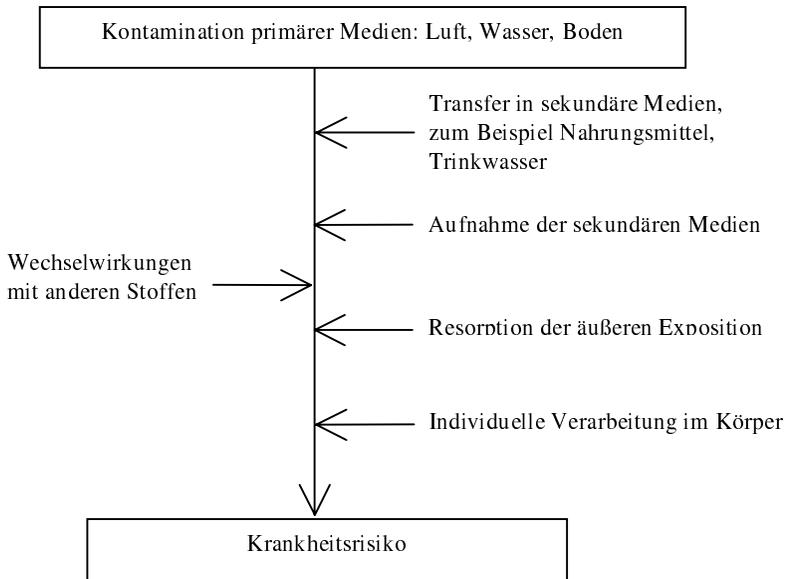


Abb. 1: Felder probabilistischer Modellierung

Die Aufnahme von Variabilität, Zufälligkeit, Variation, Ungewissheit oder „Probabilistik“ als Kernbestandteil der regulativen Modelle ermöglicht aber noch weitere Interpretationen. Zuvor soll dazu der Begriff der Variabilität weiter untersucht werden.

Zu unterscheiden sind im wesentlichen drei Arten von Variabilität in der Modellierung: die Verschiedenheit, die Variation und die Unsicherheit (*Tabelle 2*), deren Unterscheidung im Grad der Erkenntnis über die Variabilität liegt.

Tab. 2: Arten von Variabilität

Art	Form	Methode
Verschiedenheit	Unterschiedliche Schutzgruppen	Abschichtung
Variation	Reale zeitliche, örtliche und individuelle Unterschiede	Probabilistische Modellierung
Ungewissheit	Begrenzttes Wissen, Ungenauigkeiten in Datenlage und Kenntnisstand	Probabilistische Sensitivitätsrechnung

Unter dem Begriff der Verschiedenheit soll der Teil der Variabilität zusammengefasst werden, der auf der Unterscheidung vorab definierter, schützenswerter Subpopulationen beruht, die zu getrennter Modellierung führen. Hierunter fallen besondere Schutzgruppen, wie Kinder oder Kranke, für welche die Gesellschaft im Wissen über die unterschiedliche Gefährdung separate Schutzziele gefasst hat. Ohne abgeschichtete Modellierung würden diese Schutzgruppen unter Umständen überproportional von den Risiken betroffen sein und damit benachteiligt werden.

Aber nicht alle Unterschiede in einer Population führen notwendigerweise zu einer Abschichtung der Schutzgruppen. Unter der Annahme, dass Risiken nicht vollständig vermieden werden können, wird ein Teil der Bevölkerung auch erhöhte Risiken tolerieren müssen. Reale Unterschiede in der Belastung der Bevölkerung sollen unter dem Begriff der Variation zusammengefasst und beschrieben werden. Hierunter fallen

- zeitliche Schwankungen in der Exposition, zum Beispiel hervorgerufen durch unterschiedliche Wetterlagen, saisonale Einflüsse oder unterschiedliche Aktivitätsmuster;
- regionale Unterschiede, zum Beispiel hervorgerufen durch örtliche Belastungssituationen oder regionale Verzehrsgewohnheiten;
- Unterschiede zwischen den Individuen, zum Beispiel persönliche Merkmale oder Verhaltensweisen; und
- individuelle Schwankungen, zum Beispiel hervorgerufen durch die wechselnde körperliche Verfassung.

Eine ausführliche Beschreibung der Variation erlaubt im Bezug auf die Risikoabschätzung einerseits die Berechnung der Bevölkerungsanteile oberhalb einer festen Risikogröße und andererseits die Identifikation von besonders ungünstigen Situationen und Verhaltensweisen, die real in der Bevölkerung vorkommen.

Allerdings benötigt die Betrachtung der Variation die Erhebung zusätzlicher Eingabedaten zur Verteilung der Größen in der Population. Da hier prinzipiell die Möglichkeit besteht, die vorhandenen Ausprägungen durch Messprogramme oder Fragebogenerhebungen zu erfassen, ist dies das originäre Feld der probabilistischen Modellierung. Vielfach liegen solche Befragungs- und Messdaten schon vor, wie zum Beispiel im Umweltsurvey, im Gesundheitssurvey, in der nationalen Verzehrsstudie und vielen Untersuchungen mehr, die auf eine spezielle Auswertung warten.

Jede konkrete Erhebung wird ihr Ziel allerdings aus vielfältigen Gründen verfehlen und nur zu einem begrenzten Wissen aus der vorliegenden Datenmenge und dem vorliegenden Kenntnisstand gelangen. Unsicherheiten

- im Szenario, wie zum Beispiel Aggregationsfehler oder unvollständige Analysen,
- in den Parametern, zum Beispiel durch Messfehler, Stichprobenfehler oder Surrogatdaten, und
- im Modell, zum Beispiel durch fehlerhafte Beziehungen und fehlende Eingangsgrößen,

führen ebenso zu einer Variabilität, diesmal im Sinne von Ungewissheit, in der Modellierung. Diese kann zwar im Gegensatz zur realen Variation durch erhöhten Untersuchungsaufwand vermindert werden, doch ist sie für eine bestehende Untersuchung zu beschreiben. Das Instrument der probabilistischen Sensitivitätsrechnung untersucht hierbei den Einfluss verschiedener möglicher Szenarien auf das zu beurteilende Endergebnis. Allerdings wird die Trennung von Variation und Ungewissheit teilweise schwierig sein, da Standardanalysemethoden meist unter der Annahme korrekter Modellierung abgeleitet sind und deshalb den Einfluss der Ungewissheit im allgemeinen eher

unterschätzen, während der Einfluss der Variation eher überschätzt wird. Die Trennung von Variation und Ungewissheit ist deshalb in weiten Teilen noch Feld aktueller Forschungen. Die Beschreibung des Einflusses ungesicherter Informationen auf die Schlussfolgerungen bleibt aber eine wesentliche Motivation für die Entwicklung neuer Methoden in der regulativen Modellierung.

Tab. 3: Abfolge einer Probabilistischen Modellierung

<p><i>1. Schritt: Abschichtung</i> Definition von Schutzgruppe, Schutzziel, Datenquellen und Modell Abschätzung mittels mittlerer und „worst-case“-Annahmen Identifizierung der wesentlichen Einflußgrößen</p>
<p><i>2. Schritt: Probabilistische Modellierung</i> Anpassung der Eingangsverteilungen und Korrelationen Implementation des Monte-Carlo-Algorithmus Durchführung und Testung der Simulation Darstellung der Ergebnisverteilung</p>
<p><i>3. Schritt: Probabilistische Sensitivitätsanalyse</i> Diskussion möglicher Quellen von Ungewissheit Durchführung der Sensitivitätsanalyse Dokumentation der wesentlichen Quellen für Ungewissheit Diskussion von Grenzen der Analyse und Forschungsbedarf</p>

4 Quantifizierung und Formalisierung

Die Wissenschaft, die sich mit der Beschreibung von Variabilität befasst, ist die „Probabilistik“ – ein Teilgebiet der Mathematik. Ihre Objekte sind Verteilungen, die eine Gewichtung der möglichen Ausprägungen der variablen Größe beschreiben.

Historisch ist die Probabilistik aus der Beschäftigung mit dem Zufall entstanden, woher viele Bezeichnungen, wie zum Beispiel der Begriff Wahrscheinlichkeit, herrühren. Tatsächlich benötigt die Theorie aber keine Voraussetzungen über den Mechanismus der Variabilität und kann deshalb auch zur Beschreibung von Merkmalen einer Popula-

tion, zum Auftreten bestimmter Rahmenbedingungen oder zur Beschreibung der Evidenz von Parametern benutzt werden.

- Subjektive Wahrscheinlichkeiten, wie sie durch Expertenbefragungen erhoben werden,
- Bayes-Schätzungen, als empirische Korrektur von Vorwissen über Parameter, und
- relative Häufigkeiten, als Schätzung von Wahrscheinlichkeiten aus repräsentativen Stichproben,

haben alle ihre formale Grundlegung in der Probabilistik.

Es ist deshalb naheliegend, alle variablen Größen in regulativen Modellen auch durch mathematische Verteilungen zu beschreiben. Hierfür stehen verschiedene gleichwertige funktionale Darstellungsformen, wie die Verteilungs-, Überlebensfunktion, Dichte oder Ausfallrate, zur Verfügung. Die Anpassung einer konkreten Verteilung an den vorhandenen Informationsstand kann dabei durch theoretische Ableitungen (Verteilungsfamilien mit bekannten Eigenschaften und geschätzten Parametern), empirische Anpassungen (empirische Verteilungen, Histogrammdichten oder geglättete Kernschätzer) oder auch durch Expertenbefragung (Bayes-Schätzungen) erfolgen. Im Falle der Modellierung von Ungewissheit, also Nicht-Wissen, sind diskrete Verteilungen über ungünstige Szenarien (verschiedene Expertenurteile), aber auch Fehlerverteilungen geschätzter Parameter möglich. Die Betrachtung von Variation und Ungewissheit bildet zusammen die Zweidimensionalität der Simulation.

Obwohl die theoretischen Grundlagen zur Beschreibung von Variabilität lange vorliegen, gelangen probabilistische Modellierungen erst durch die erhöhte Verfügbarkeit von Rechenkapazität und bedienungsfreundliche Software-Lösungen (zum Beispiel @RISK (vgl. Vose 1996), ANALYTICA) in die administrativen Anwendungen. Der Grund liegt darin, dass auch einfache Modellierungen nicht mehr analytisch lösbar sind, sondern durch sogenannte Monte-Carlo-Simulationen im Computer berechnet werden müssen.

Tab. 4: Expositionsmodell zur Dioxin-Aufnahme durch gekaufte Nahrungsmittel bei Erwachsenen (20 bis 75 Jahre) in Deutschland nach Mekel, Fehr (2000)

Expositionsmodell: $EXPO_F = (RO_F \cdot IR_F \cdot C_F) / BW$			
Bezeichnung		Verteilung	Einheit
Tägliche, innere Dioxin-Aufnahme	$EXPO_F$	(modellierte Zielvariable)	[ng/(d·kg)]
Orale Resorptionsrate	RO_F	Uniform(0.5, 0.6)	[-]
Tägl. Nahrungsaufnahme	IR_F	Lognormal($\mu=2.32558$, $\sigma=0.68723$)	[kg/d]
Dioxin-Konzentration	C_F	Triangular(0.5*0.02881, 0.02881, 2*0.02881)	[ng/kg]
Körpergewicht	BW	TNormal($\mu=70.76$, $\sigma=12$, min=47, max=150)	[kg]

5 Modelloptimierung

Expositionsmodelle zeichnen sich aber auch ohne die Schwierigkeit bei der Berechnung dadurch aus, dass die zu betrachtende Exposition aus vielen Pfaden (zum Beispiel verschiedene Medien, Nahrungsmittel) und teilweise über lange Zeiträume (zum Beispiel lebenslang) oder ähnlich wirkende Chemikalien (zum Beispiel Pestizide) akkumuliert berechnet werden soll. Die Anzahl der zu betrachtenden Variablen wächst dabei an und führt zu erhöhten Mengen an Eingangsinformationen und notwendigem Bedarf an Rechenleistung. Gleichzeitig verlieren die Modellierungen an Transparenz, die aber eine wichtige Bedingung für gute Modellierung ist.

Eine Aufgabe der Optimierung der Modellierung liegt darin, die Einflussgrößen am Beginn des Verfahrens zu bestimmen, die einen wesentlichen Anteil an der Variabilität der Zielgröße bewirken und damit großen Einfluss auf das Endergebnis nehmen. Man spricht von der Sensitivität des Modells bezüglich dieser Variablen. Im Umkehrschluss können die nicht sensitiven Variablen nur grob beziehungsweise im Grenzfall als Konstante, das heißt deterministisch, modelliert werden.

Aber auch nach der Modellierung ergibt eine Sensitivitätsanalyse wichtige Aufschlüsse über das Modell. Durch die Identifikation der bedeutendsten Variablen kann nun die Auswirkung unsicherer Informationen auf die Entscheidung beurteilt werden.

Zu unterscheiden sind:

- der absolute Zusammenhang von Ziel- und Einflussgröße, der die Veränderung der Zielgröße bei Veränderung der Einflussgröße um eine Einheit beschreibt,
- der relative Zusammenhang, der die Veränderung der Zielgröße bei relativer Veränderung der Einflussgröße beschreibt, und
- der standardisierte Zusammenhang, der den Anteil der Variation der Zielgröße beschreibt, der auf die Variation der Einflussgröße zurückgeführt werden kann.

Diese Kenngrößen differieren im Grad ihrer Standardisierung. Dabei ist der absolute Zusammenhang zwischen verschiedenen Einflussgrößen nicht vergleichbar. Der relative Zusammenhang beschreibt den Anteil einer Variablen am Gesamtwert der Zielgröße, während der standardisierte Zusammenhang diese Betrachtung für die Variation ausdrückt.

Verfahren der Sensitivitätsanalyse nutzen dabei mathematische Methoden der Komplexitätsreduktion um die Modellierung zu analysieren (Mosbach-Schulz, 2001; Saltelli et al., 2000). Diese Verfahren sind zum Beispiel die lineare Approximation des funktionalen Zusammenhangs, die Dimensionsreduktion durch bedingte beziehungsweise Randverteilungen und die sukzessive Dimensionserhöhung. Lokal in Referenzpunkten angewandt führen diese Strategien zur Gaußschen Fehlerrechnung und zu gemittelten oder schrittweisen Varianzbetrachtungen. Global, auf die gesamte Simulation angewandt, ergeben sich die multiple Regression, Korrelationsbetrachtungen von Ziel- und Einflussvariablen und die Vorwärtsstrategie in der Regressionsanalyse, das heißt etablierte Verfahren der Statistik.

Tab. 5: Übersicht über Sensitivitätsmaße

Reduktion der Komplexität	Lokale Sensitivitätsmaße	Globale Sensitivitätsmaße
Lineare Approximation	<i>Gaußsche Fehlerrechnung, Gemittelte Varianz-Formel</i>	<i>Multiple Regression</i>
Eindimensionale Zusammenhänge durch Dimensionsreduktion	Spezielle Varianzbetrachtungen	Korrelation
Sukzessive Dimensionserhöhung	Schrittweise Varianzberechnung	Vorwärts-Strategie

Die Kenngrößen der Gaußschen Fehlerrechnung werten das Modell ähnlich der deterministischen Abschätzung nur in einem Referenzpunkt, häufig an der Stelle der Mittelwerte, aus und benötigen deshalb nur wenig Informationen über die Verteilung der Einflussgrößen. Dies sind nur Einschätzungen über Mittelwert und Standardabweichung der Verteilungen der Eingangsvariablen. Deshalb eignet sich diese Methode besonders gut zum Screening vor der eigentlichen Modellierung.

Tab. 6a: Ausgewählte Sensitivitätsmaße

<i>Gaußsche Fehlerrechnung: Lokale Linearisierung am Referenzpunkt x_0</i> $EXPO \approx EXPO(x_{01}, \dots, x_{0M}) + \sum_{m=1}^M \left. \frac{\partial EXPO}{\partial X_m} \right _{x_0} (X_m - x_{0m}) = \sum_{m=1}^M \left. \frac{\partial EXPO}{\partial X_m} \right _{x_0} X_m + b_0$		
Absoluter Zusammenhang	Relativer Zusammenhang	Standardisierter Zusammenhang
$\left. \frac{\partial EXPO}{\partial X_m} \right _{x_0}$	$\left. \frac{\partial EXPO}{\partial X_m} \right _{x_0} \frac{E(X_m)}{E(EXPO)}$	$\left[\left. \frac{\partial EXPO}{\partial X_m} \right _{x_0} \frac{Std(X_m)}{Std(EXPO)} \right]^2$

Zu Erhöhung der Genauigkeit kann die Gaußsche Fehlerrechnung auch für mehrere Referenzpunkte durchgeführt und gemittelt werden. Beim Screening wird man eine grobe Abschätzung der Verteilung der

Einflussvariablen benutzen, während für eine nachträgliche Sensitivitätsanalyse die volle Verteilungsspezifikation angebracht ist und zu einer weiteren Monte-Carlo-Simulation führt.

Tab. 6b: Ausgewählte Sensitivitätsmaße

<i>Gemittelte Varianz-Formel:</i> Gemittelte Linearisierung an verteilten Referenzpunkten Y		
Absoluter Zusammenhang	Relativer Zusammenhang	Standardisierter Zusammenhang
$E_Y \left(\frac{\partial \text{EXPO}}{\partial X_m} \Big _Y \right)$	$E_Y \left(\frac{\partial \text{EXPO}}{\partial X_m} \Big _Y \right) \frac{E(X_m)}{E(\text{EXPO})}$	$E_Y \left(\frac{\partial \text{EXPO}}{\partial X_m} \Big _Y \right)^2 \frac{\text{Var}(X_m)}{\text{Var}(\text{EXPO})}$

Die globale lineare Approximation mit Hilfe eines multiplen, linearen Modells wertet die simulierten Daten wie einen erhobenen Datensatz aus, bei dem der Modellzusammenhang unbekannt ist und durch das lineare Modell geschätzt werden muss. Das Bestimmtheitsmaß gibt dabei einen Eindruck der Güte der linearen Anpassung. Ist diese hoch, kann das komplexe Expositionsmodell auch durch die globale lineare Approximation ersetzt und damit vereinfacht werden.

Tab. 6c: Ausgewählte Sensitivitätsmaße

<i>Multipl. lineares Modell:</i> Globale Linearisierung der Replikationen s		
$\sum_{\text{Repl.:s}} (\text{exp } o_s - [a_1 x_{s1} + a_2 x_{s2} + \dots + a_M x_{sM} + b])^2 \xrightarrow{a_1, \dots, a_M, b} \text{Min}(\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_M, \hat{b})$		
Absoluter Zusammenhang	Relativer Zusammenhang	Standardisierter Zusammenhang
\hat{a}_m	$\hat{a}_m \frac{E(X_m)}{E(\text{EXPO})}$	$\hat{a}_m^2 \frac{\text{Var}(X_m)}{\sum_m \hat{a}_m^2 \text{Var}(X_m)}$

6 Kommunikation der Ergebnisse

Die Beschreibung von umweltbedingten Gesundheitsrisiken ist keine Aufgabe, die sich mit Hilfe von wenigen Zahlen lösen lässt. Ein wesentlicher Grund liegt im mehrfachen Auftreten von Variabilität in den Ergebnissen:

- Zum einen gibt ein Risiko nur einen potentiellen, individuellen Schaden unter den Bedingungen der gegebenen Exposition wieder (1. Stufe: Risikomodell);
- zum anderen variiert die Exposition in der betrachteten Population (2. Stufe: Expositionsmodell); und
- schließlich führt die Ungewissheit bei unsicheren Informationen ebenfalls zu variablen Aussagen (3. Stufe: Unsicherheitsszenarien)

Jede Informationsvermittlung an die Öffentlichkeit benötigt deshalb passende Werkzeuge, die diese Variabilitäten erfassen und voneinander trennen können. Die probabilistische Modellierung gibt hierzu die Möglichkeit und einen übergeordneten formalen Rahmen.

Die quantitative Modellbeschreibung erzeugt dabei die geforderte Transparenz der Entscheidungskriterien, indem die wesentlichen Modellannahmen benannt und in einheitlicher Weise dargestellt werden. Durch die Entwicklung von abgestimmten Standards der Expositionsabschätzung, wie von Sagunski et al. (1995) begonnen, könnte eine problemunabhängige Datensammlung zur Beschreibung der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland geschaffen werden.

Die abschließende statistische Auswertung der Ergebnisverteilung der Zielgröße ergibt dabei interpretierbare Kenngrößen, die auf die modellierte Population zugeschnitten sind, wie zum Beispiel das durchschnittliche Risiko beziehungsweise die durchschnittliche Exposition. Die Modellierung erlaubt die Berechnung der Anteile in der Population, deren Belastung einen festen Wert überschreitet und die damit unter Umständen einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind. Die Sensitivität zeigt einerseits die Genauigkeit der Ergebnisse, andererseits aber auch die wesentlichen Einflussgrößen zur Reduktion der Belastung.

Damit eröffnet die Modellierung den direkten Weg zur Beschreibung von konkreten Handlungsoptionen.

Allerdings wird es nur in wenigen Fällen möglich sein, dass der Anteil der Population mit erhöhtem Risiko tatsächlich Null beträgt. Eine Strategie der vollständigen Risikovermeidung wird durch die genauere probabilistische Modellierung widerlegt und muss in eine Debatte um gesellschaftlich tolerierbare Risiken gewandelt werden. Die Erfahrungen im Umgang mit dieser Art der Modellierung zeigen jedoch, dass durch das Aufnehmen auch „extremer“ Verhaltensweisen und Situationen in die Modellierung die Glaubwürdigkeit und damit die Akzeptanz der Resultate steigt.

Trotzdem ist auch eine kritische Betrachtung der in der Modellierung vorhandenen Ungewissheit angeraten, um im Prozess der Risikoabschätzung, die Notwendigkeit und den Erfolg weiterer Informationssammlung aufzuzeigen. Dieses leistet dasselbe methodische Instrument, die probabilistische Modellierung.

Literatur

- Burmester, D.E., und Anderson, P.D. (1994): „Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments“, in: *Risk Analysis*, 14, S. 477-481.
- Mekel, O., und Fehr, R. (2000): „Expositionsmodellierung versus Biomonitoring am Beispiel von Dioxin und Furanen“, in: *Quantitative Risikoabschätzung Bericht VII*, Düsseldorf: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW.
- Morgan, M.G., und Henrion, M (1990): *Uncertainty: Aa Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Mosbach-Schulz, O. (1998): „Probabilistische Modellierung in der Prioritäten- und Standardsetzung“, in: Neus, H., et. al (Hg.): *Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit, Teilvorhaben: Zur Harmonisierung gesundheitsbezogener Umweltstandards – Probleme und Lösungsansätze*, in: *Berichte des Umweltbundesamtes 1/98*, Berlin: E. Schmidt Verlag, S. 557–570.
- Mosbach-Schulz, O. (1999): „Methodische Aspekte Probabilistischer Modellierung“, in: *UWSF-Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 11, S. 292–298.

- Mosbach-Schulz, O. (2001): *Darstellung von Sensitivitätsmaßen in Probabilistischen Modellen*, Gutachten im Auftrag der Universität Bielefeld.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU, 1996): *Umweltgutachten 1996 – Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung*, Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- Sagunski, H, et al. (1995): *Standards zur Expositionsabschätzung – Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene*, Hamburg: Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales.
- Saltelli, A., Chan, K., und Scott, E.M. (Hg.) (2000): *Sensitivity Analysis*, Chichester: Wiley.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 1997): *Risk assessment Forum: Guiding Principles for Monte Carlo Analysis*, Washington: EPA/630/R-97/001.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 1999): *Risk assessment Guidance for Superfund: Volume 3 – Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*, Draft, Washington.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2000): *Options for Development of Parametric Probability Distributions for Exposure Factors*, Washington: EPA/600/R-00/058.
- Vose, D. (1996): *Quantitative Risk Analysis – A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling*, Chichester: Wiley.

Oliver Höpfner

Der Jade-Weser-Port – Perspektiven einer Region

1 Einleitung

Gegenstand dieses Aufsatzes ist eine Betrachtung des Projekts „Jade-Weser-Port“ in Wilhelmshaven unter dem Aspekt, auf welchen Grundlagen die politischen Entscheidungsprozesse für oder wider ein Großprojekt getroffen werden. Daher werden zunächst die politischen und ökonomischen Grundlagen des Projekts vorgestellt. Erst danach wird auf die Position der Hafengegner eingegangen. Abschließend wird der Versuch unternommen, anhand der öffentlichen Diskussion (bis Anfang Juni 2002) über das Projekt die Konfliktlinien solch eines Vorhabens zu analysieren.

2 Grundsätzliche Überlegungen zu einem deutschen Tiefwasserhafen

2.1 Ökonomische Eckdaten der Weltnachfrage

Eine entscheidende Determinante der Entwicklung der Weltwirtschaft ist die Weltnachfrage. Allgemein gesprochen ist die „Nachfrage“ ein Begriff aus der Volkswirtschaftslehre, der als Bezeichnung steht „für diejenige Menge eines bestimmten Gutes (Sachgut oder Dienstleistung), die bei einem bekannten oder erwarteten Geldpreis von einem oder vielen Wirtschaftssubjekten nachgefragt und gekauft wird“ (Bastian et al., 1968, S. 340). Die „Weltnachfrage“ ist somit die weltweite Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen. Bestimmt wird die Weltnachfrage hauptsächlich durch den Welt-Output, das heißt „das in Geldeinheiten ausgedrückte mengen- und preismäßig erfasste Produktionsergebnis“ (Bastian et al., 1968, S. 365) und den Welt-handel.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*	2002*	1995/ 2000	2000/ 2005*	2005/ 2010*
Welt-Output (Wert)	3,6	4,1	4,1	2,6	3,5	4,8	3,2	3,9	3,8	4,2	3,5
Industrieländer	2,7	3,2	3,4	2,4	3,4	4,1	1,9	2,7	3,3	3,0	2,4
Entwicklungsländer	6,1	6,5	5,7	3,5	3,8	5,8	5,0	5,6	5,1	5,8	5,0
Welthandel (Güter; Wert)	10,0	6,2	10,4	4,6	5,6	13,4	6,7	6,5	8,0	8,0	5,6
Industrieländer	9,2	5,3	10,0	5,0	6,6	12,5	6,5	6,3	7,8	7,6	5,0
Entwicklungsländer	11,0	8,7	11,3	2,3	3,6	17,3	8,0	7,8	8,5	9,9	8,0
Fertigwarenhandel (in to)	6,2	6,9	8,0	6,5	6,5	9,0	8,0	7,5	7,4	7,7	5,5
Containerumschlag	11,0	8,9	10,8	9,4	9,9	12,0	8,0	8,0	10,2	8,8	6,5
* 2000 vorläufig, 2001 und später: Schätzungen/Projektionen											
Quelle: IMF/Weltbank (Mai 2001) - ISL-Schätzungen 2001											

Abb. 1: Entwicklung und Prognose wichtiger weltwirtschaftlicher Eckdaten (Wachstumsraten in Prozent)

Gemäß den Schätzungen des Internationalen Währungsfonds kann von 2003 bis 2006 mit einem stabilen Wachstum des realen Weltsozialprodukts – das heißt „des Gesamtergebnisses der volkswirtschaftlichen Tätigkeit während einer Periode in Geldwerten ausgedrückt“ (Bastian et al., 1968, S. 442) – um vier Prozent pro Jahr gerechnet werden, während der reale Welthandel um acht Prozent pro Jahr wachsen wird (Zachcial, 2002, S. 45).

2.2 Entwicklung des Welthandelsverkehrs

Das starke Wachstum des Welthandels in den letzten 20 Jahren ist mit folgenden Faktoren zu begründen:

- zunehmende Liberalisierung des grenzüberschreitenden Wirtschaftsverkehrs;
- dynamische Entwicklungen im Transportsektor und in der Informationstechnik (BT-Drucksache 14/6910, 2001, S. 48).

Wichtig zur Beurteilung des Welthandels sind die Handelspartner und -güter. So findet der Welthandel überwiegend innerhalb der entwickelten Industrieländer (der inter-industrielle Handel) statt. So wickelte zum Beispiel die Europäische Union 1998 etwa 36 Prozent der intra- und extraregionalen Exporte der Welt ab. Gehandelt wurden zwischen den Industrienationen vornehmlich Industriegüter wie

Maschinen, Fahrzeuge, chemische und pharmazeutische Produkte, elektrotechnisches und elektronisches Gerät (BT-Drucksache 14/6910, 2001, S. 48).

Dieser zunehmende Warenaustausch höherwertiger Güter im Zuge zunehmender Verflechtungen der Volkswirtschaften und immer stärkerer internationaler Arbeitsteilung befördert unmittelbar den wachsenden Containerverkehr (Zachcial, 2002, S. 44).

2.3 Containerisierung

In den fünfziger Jahren begann in den USA die Entwicklung der ersten Standard-Container heutigen Typs durch den amerikanischen Fuhrunternehmer Malcom McLean. Diese Container waren zunächst für den Landtransport gedacht (sogenannte McLean-Trucks). 1956 wurde mit der Indienststellung der MAXTON, des ersten Vollcontainerschiffs der Welt, der Grundstein für den weltweiten Durchbruch der Containerschifffahrt gelegt. In Deutschland begann das Containerzeitalter im Jahre 1966. Am 6. Mai dieses Jahres wurde in Bremen mit der FAIRLAND das erste Containerschiff gelöscht.

Was waren die großen Vorteile des Containers? Kurz gesagt liegen sie in den folgenden Punkten:

- Schutz vor Witterungseinflüssen sowie dem Verlust von Ladungsteilen beziehungsweise Diebstahl;
- mehrfache Verwendbarkeit;
- Eignung zum Transport durch verschiedene Verkehrsträger ohne Umladung der Güter;
- Ausrüstung mit umschlagserleichternden Vorrichtungen;
- Einfachheit der Be- und Entladung und dadurch Reduktion der Liegezeiten (Klippel, 1985, S. 11, zitiert nach Pfeifferling, 1986, S. 17, und Beth/Hader/Kappel, 1983, S. 104f., zitiert nach Pfeifferling, 1986, S. 19).

Zusammenfassend bedeutete dies, dass durch das erheblich beschleunigte Be- und Entladen von Containerschiffen sowohl die Hafenkos-

ten reduziert als auch die Zahl der Reisen eines Schiffes erhöht werden konnten (Aschenbeck und Schwerdtfeger, 2002, S. 127).

Zum weiteren Verständnis der kommenden Ausführungen muss an dieser Stelle der Begriff *TEU* eingeführt werden. *TEU* steht als Abkürzung für „twenty feet equivalent unit“ (Zwanzig Fuß Container Einheit). Ein *TEU* weist etwa 37 Kubikmeter Rauminhalt auf. Die *TEU* ist ein Container-Standardmaß, das eine allgemein gebräuchliche Maßeinheit sowohl für die Kapazität von Containerschiffen als auch für die Containermengenangabe darstellt.

Die große volkswirtschaftliche Bedeutung der Containereinführung beschreibt ein Autor wie folgt:

Neben der rasanten Entwicklung der Kommunikations- und Informationstechnologien war es die Containerisierung, durch die Globalisierung im heutigen Wortsinn erst möglich wurde. Sie erst hat Kostensenkungen im Gütertransport über lange Distanzen in einem Ausmaß ermöglicht, dass die ökonomischen Entfernungen in der Weltwirtschaft in einem bisher nicht gekanntem Ausmaß geschrumpft sind, geographische Entfernungen sind dabei kaum noch relevant (Kröger, 1999, S. 13, zitiert nach Belina, 2001, S. 15).

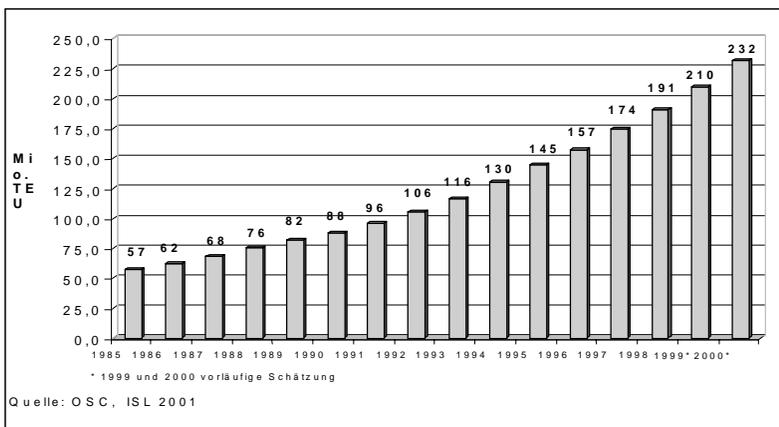


Abb. 2: Weltweiter Containerumschlag in den Häfen 1985 bis 2000 (in Millionen TEU).

Weltregion	Millionen TEU			Wachstums- rate/Jahr [%]
	2000	2005	2010	2010/2000
Nordamerika	30,2	40,5	52,6	5,7
Europa	50,5	67,0	87,7	5,7
Fernost	102,9	158,9	220,4	7,9
Mittelost	10,3	16,6	23,0	8,4
Lateinamerika	17,6	27,2	38,7	8,2
Ozeanien	4,7	6,4	9,1	6,8
Südasien	5,2	10,1	13,5	10,0
Afrika	7,2	10,3	17,0	9,0
Insgesamt	229,5	337,0	462,0	7,2

Quelle: ISL (2001), auf Basis regionaler Angaben von Drewry bis 2005 und OSC bis 2010, zitiert nach Zachcial, 2002, S. 47

Abb. 3: Vorausschätzung des Containerhafenumschlags nach Weltregionen 2000 bis 2010

Diese Wachstumsraten führten dazu, dass die Containerschiffe kontinuierlich vergrößert werden mussten.

	Jahr	Kapazität	Tiefgang (max.)
1. Generation	Mitte 60er	1000 TEU	ca. 10,0 Meter
2. Generation	Ab 1970	2000 TEU	ca. 11,5 Meter
3. Generation	Ab 1980	3000–4000 TEU	ca. 12,5 Meter
4. Generation (Panmax); Breite maximal 32,32 Meter	Ab 1990	4000–5000 TEU	ca. 13,5 Meter
5. Generation (Post- Panmax); Breite größer als 32,32 Meter	Ab 1992	5000–8000 TEU	ca. 14,6 Meter
Suez-Max	Geplant	12 000 TEU	ca. 18,0 Meter
Malacca-Max	Geplant	18 154 TEU	ca. 21,0 Meter

Alle Tiefgangsangaben beziehen sich auf Seewasser

Abb. 4: Größenentwicklung der Weltcontainerflotte. Quellen: Deecke, 1998; Fahrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe, 1997; Berger und PLANCO-Gutachten (Anlagen), 2000, S. 3

Reederei	Hapag Lloyd	Maersk	KWW	P&O Nedloyd
<i>Name</i>	Panamax	S-Klasse		IHI
Länge (in Meter)	294,00	347,00	277,00	299,00
Breite (in Meter)	32,25	42,80	40,00	42,80
Tiefgang (in Meter)	13,52	14,60	14,00	14,00
TEU Kapazität (in TEU)	4639	>7000	5000	6690

Abb. 5: Kennziffern der größten Containerschiffe ausgewählter Reedereien (2000).
Quelle: „Innovations for boxships“, in: HANSA, Hamburg, 137 (2000), S. 40–42

Zurzeit größtes Containerschiff der Welt ist die SOVEREIGN MAERSK mit einer Länge von 347 Metern, 42,8 Metern Breite, einem Tiefgang von 14,50 Metern und einer Stellkapazität von über 8 000 TEU.

Gemäß einer Untersuchung von P&O Nedloyd und Maersk Sealand sind in Zukunft Containerschiffe mit einer Tragfähigkeit von über 10 000 TEU zu erwarten. 54 Prozent der in einer Studie befragten Reeder rechnen bis 2020 mit Schiffen von Kapazitäten von 8 000 bis 10 000 TEU und mit einem Tiefgang von etwa 15 Metern. Fünfzehn Prozent aller Reeder halten sogar Schiffe mit über 14 000 TEU Ladungskapazität und einem Tiefgang bis knapp 16 Meter für wahrscheinlich (Berger/PLANCO-Gutachten, 2000, S. 31 und 52).

3 Die Stellung der deutschen Seehäfen im internationalen Vergleich

Um die grundsätzliche Frage zu klären, ob ein deutscher Tiefwasserhafen erforderlich ist, gilt es zunächst die Position der deutschen Containerhäfen sowohl im regionalen Vergleich in der sogenannten Hamburg-Antwerpen-Range (Nordrange) als auch im internationalen Kontext zu betrachten.

Hafen	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Antwerpen	2.654	2.969	3.266	3.614	4.082	4.218
Bremen/ Bremerhaven	1.543	1.705	1.811	2.201	2.752	2.915
Cuxhaven	18	21	20	21	24	0
Emden	0,2	15	36	74	4	58
Hamburg	3.054	3.337	3.547	3.738	4.248	4.689
Rotterdam	4.971	5.495	6.011	6.343	6.275	6.096
Wilhelmshaven	6	7	10	25	29	35

Angaben jeweils in 1.000 TEU, gerundet

Abb. 6: Containerumschlag der Region Hamburg – Antwerpen – Range (Containerumschlag in TEU). Quelle: <http://www.hafen-hamburg.de> (Seiten der Hafen Hamburg Marketing e.V. (HHM), Zugriff am 5. Mai 2002).

Hafen	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Antwerpen	21,7 %	21,9 %	22,2 %	22,6 %	23,4 %	23,4 %
Bremen/ Bremerhaven	12,6 %	12,6 %	12,3 %	13,7 %	15,8 %	16,2 %
Cuxhaven	0,1 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0 %
Emden	0,0 %	0,1 %	0,2 %	0,5 %	0,0 %	0,3 %
Hamburg	24,9 %	24,6 %	24,1 %	23,3 %	24,4 %	26,0 %
Rotterdam	40,6 %	40,6 %	40,9 %	39,6 %	36,0 %	33,8 %
Wilhelms- haven	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %

Abb. 7: Containerumschlag der Region Hamburg – Antwerpen – Range (Marktanteile der Häfen untereinander). Quelle: <http://www.hafen-hamburg.de> (Seiten der Hafen Hamburg Marketing e.V. (HHM), Zugriff am 5. Mai 2002).

Im Rahmen der Nordrange ist Rotterdam der dominierende Hafen. Hamburg und Bremerhaven konnten in den letzten Jahren ihre Marktanteile ausbauen. Die anderen deutschen Seehäfen spielen in der Nordrange nur eine marginale Rolle.

Hafen	1997	1998	1999	2000	2001
01. Hongkong	18.4 %	17.1 %	17.0 %	16.8 %	16.2 %
02. Singapur	18.1 %	17.7 %	16.7 %	15.8 %	14.1 %
03. Pusan	6.7 %	6.7 %	6.8 %	7.0 %	7.2 %
04. Kaohsiung	7.3 %	7.4 %	7.3 %	6.9 %	6.9 %
05. Shanghai	3.2 %	3.6 %	4.4 %	5.2 %	5.8 %
06. Rotterdam	7.0 %	7.0 %	6.7 %	5.8 %	5.5 %
07. Los Angeles	3.8 %	4.0 %	4.0 %	4.5 %	4.7 %
08. Hamburg	4.3 %	4.2 %	3.9 %	3.9 %	4.3 %
09. Long Beach	4.5 %	4.8 %	4.6 %	4.3 %	4.1 %
10. Antwerpen	3.8 %	3.8 %	3.8 %	3.8 %	3.8 %
11. Port Kelang	2.2 %	2.1 %	2.7 %	3.0 %	3.4 %
12. Dubai	3.3 %	3.3 %	3.0 %	2.8 %	3.2 %
13. Jakarta	2.1 %	2.2 %	2.4 %	3.1 %	3.2 %
14. New York	3.1 %	2.9 %	3.0 %	2.8 %	3.0 %
15. Bremen/Bremerhaven	2.2 %	2.1 %	2.3 %	2.6 %	2.7 %
16. Tokyo	3.1 %	2.9 %	2.8 %	2.7 %	2.5 %
17. Yantian	0.8 %	1.2 %	1.7 %	2.0 %	2.5 %
18. Felixtowe	2.9 %	3.0 %	2.8 %	2.6 %	2.4 %
19. Qingdao	1.3 %	1.4 %	1.6 %	2.0 %	2.4 %
20. Gioia Tauro	1.9 %	2.5 %	2.4 %	2.5 %	2.3 %

Abb. 8: Top 20 der Containerhäfen (Marktanteile der Häfen untereinander) (Quelle: <http://www.hafen-hamburg.de> (Seiten der Hafen Hamburg Marketing e.V. (HHM)), Zugriff am 5. Mai 2002).

Auf der globalen Betrachtungsebene gilt, dass die europäischen Häfen nicht in der Spitzengruppe der weltweit größten Häfen zu finden sind. Es dominieren die asiatischen Hafenstädte. Erst auf Platz sechs folgt mit Rotterdam ein europäischer Hafen. 2001 besaßen die vier großen Häfen der Nordrange mit einem Gesamtmarktanteil von zusammen 16,3 Prozent gerade einmal 0,1 Prozent mehr Marktanteil als Hongkong, der größte Hafen der Welt, für sich genommen. Von den Befürwortern des Jade-Weser-Port wird konstatiert, das Wachstum der

deutschen Seehäfen werde durch drei gravierende Standortfaktoren behindert:

- (1) Die Beschränkung der deutschen Seehäfen Hamburg und Bremerhaven in der seewärtigen Zufahrt durch den Tiefgang (*Abbildung 9*). Dies bedeutet, dass große Containerschiffe derzeit nur mit einer Stellplatzauslastung von maximal 70 Prozent die Häfen von Hamburg beziehungsweise Bremerhaven anlaufen können. Mögliche geplante Vertiefungen der seewärtigen Zufahrten um 1,20 Meter würden tideunabhängige Tiefgänge bis 13,70 Meter erlauben. Stellplatzauslastungen von bis zu 80 Prozent würden realistisch.

	Tiefgang Außenweser	Tiefgang Elbe
tideunabhängig	12,80 Meter	12,50 Meter
tideabhängig	14,50 Meter	14,50 Meter (Wert aus Berger und PLANCO; seit 1999: 15,30 Meter)
Tidefenster	5,75 Stunden	4,3 Stunden

Abb. 9: Derzeit mögliche Tiefgänge auf der Außenweser und Elbe

- (2) Gegenwärtig ist Rotterdam mit einem tideunabhängigen Tiefgang von 16,60 Metern der einzige Nordrangehafen, der seewärtig ohne Probleme erreichbar ist. Alle anderen Häfen können mit größeren Tiefgängen lediglich tideabhängig angelaufen werden.
- (3) Aufgrund der skizzierten Wachstumsprognosen wird sich (gemäß Berger/PLANCO-Gutachten) schon im Jahr 2010 für die Nordrange ein zusätzlicher Bedarf an Containerumschlagskapazitäten von 5,5 Millionen TEU ergeben, der bis 2015 auf 11,5 Millionen TEU (davon 5,0 Millionen TEU für Deutschland) ansteigen wird. Dieses zu erwartende Mehraufkommen könnte gemäß dem momentanen Planungsstand nicht in deutschen Seehäfen gelöscht werden (Berger/PLANCO-Gutachten, 2000, S. 9 und 23).

Aus diesen einzelnen Standortfaktoren und Standortnachteilen wird von Berger/PLANCO der Bedarf für einen deutschen Tiefwasserhafen abgeleitet.

4 Wilhelmshaven – Kurzporträt einer Region

Warum wurde Wilhelmshaven als Standort für des Hafenprojekt ausgewählt? Um diese Frage beantworten zu können, sei näher auf die Geschichte und Geographie dieser Region eingegangen. Die Geschichte der Stadt Wilhelmshaven beginnt mit ihrer Gründung im Jahre 1853. Durch die Unterzeichnung des „Jadevertrags“ am 20. Juli 1853 erwarb das Königreich Preußen vom Großherzogtum Oldenburg ein Gelände von 313 Hektar Größe zum Bau eines Marinehafens. 1869 erhielt dieses Gebiet anlässlich des Besuchs von König Wilhelm I. von Preußen den Namen „Wilhelmshaven“. Bei diesem Besuch wurde auch der Hafen eingeweiht. Damit begann die Geschichte von Wilhelmshaven als – wie Spötter behaupten – „Kriegsmarinehafen mit Stadt“ (Grunewald, 1964, S. 66, zitiert nach Belina, 2001, S. 4). Nach dem Zweiten Weltkrieg mit Anfang der fünfziger Jahre setzte der Hafenumschlag in Wilhelmshaven erneut ein. Der Schwerpunkt lag im Bereich des Mineralölimports. Ab 1958 wurde das Öl durch eine Mineralölpipeline bis nach Köln gepumpt. Später wurde eine Öltraffinerie in Betrieb genommen. Durch diese Konzentration auf den Ölimport wurde die Stadt nahezu vollständig von den Entwicklungen auf den Weltölmärkten abhängig. Es kam gegen Ende der achtziger Jahre zu konjunkturbedingten Nachfrageeinbrüchen. Dies sowie die Stilllegung einer großen Öltraffinerie führten in nur drei Jahren (1979 bis 1982) zu einem Rückgang des Seegüterumschlags um rund 40 Prozent (Seedorf, Meyer, 1996, S. 647, zitiert nach Belina, 2001, S. 4). Heute ist Wilhelmshaven trotzdem noch vornehmlich ein Ölhafen und Deutschlands größter Rohölimporthafen, auch wenn laut Eigenwerbung die Stadt ebenso größter Umschlagplatz für Kartoffeln aus dem arabischen und afrikanischen Raum in Deutschland ist (<http://www.wilhelmshaven-port.de>, Zugriff am 15. Februar 2002).

Die Stadt Wilhelmshaven hat gegenwärtig auf einer Fläche von 103,37 Quadratkilometern eine Einwohnerzahl von 85 948 (Stand 30. Juni 2000) (<http://www.wilhelmshaven.de>, Zugriff 15. Februar 2002). Insgesamt gilt die Region von Wilhelmshaven als struktur-

schwach. So heißt es zum Beispiel in einem Kommentar zur Lage der Kommunen in Deutschland wie folgt:

Leerstehende Wohnungen, Immobilienpreise auf Niedrigstand, geschlossene Schulen, reihenweise Pleiten von Geschäften und Kinos, und die Stadtverwaltung hat kein Geld mehr, Straßen zu reparieren – wer glaubt, dieses Schreckensszenario drohe ausschließlich den vom Leerstandsdrاما betroffenen ostdeutschen Kommunen, der irrt. Wilhelmshaven beispielsweise sieht auch schon so aus (Waldmann, 2001).

Ökonomische Basisdaten untermauern diese These. Im April 2002 wies der Arbeitsamtsbezirk Wilhelmshaven eine Arbeitslosenquote von 10,9 Prozent auf (Bundesdurchschnitt 9,7 Prozent) (<http://www.arbeitsamt.de>; Zugriff am 11. Mai 2002), und das Jahresbruttoeinkommen betrug 1995 in Wilhelmshaven DM 51 652 (Bundesdurchschnitt DM 64 524) (Berger/PLANCO-Gutachten, 2000, S. 26).

Von der wirtschaftlichen Struktur her ist Wilhelmshaven weitgehend von den Bundeswehreinrichtungen sowie dem Ölimport abhängig. So ist Wilhelmshaven bis zum heutigen Tag größter Marinestützpunkt Deutschlands. 25 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sind hier und in weiteren Behörden (wie der Stadtverwaltung oder der Bundesausführungsbehörde für Unfallversicherung) beschäftigt. Bedeutende private Arbeitgeber sind vornehmlich im Ölbereich zu finden (<http://www.wilhelmshaven.de>, Zugriff am 15. Februar 2002). Daher ist es nur allzu verständlich, dass sich vor allem die niedersächsische Landesregierung von einem möglichen Jade-Weser-Port ökonomische Befruchtungseffekte für die Region Wilhelmshaven erhofft (Hanauer, 2000).

Dies allein würde jedoch nicht reichen, um Wilhelmshaven als Standort für einen deutschen Tiefwasserhafen zu prädestinieren. Entscheidender Trumpf für einen möglichen Standort Wilhelmshaven ist nach Ansicht von Projektbefürwortern die geographische Lage am seetiefen Fahrwasser (bis zu 20 Meter unter Seekartennull), die Ausbaggerungen und aufwendige Revierfahrten überflüssig macht. Auch wäre

für die größten der im Moment für realistisch gehaltenen Containerschiffe der Jade-Weser-Port ohne größere Probleme anlaufbar (Belina, 2001, S. 40). Deshalb kommt zum Beispiel Sichelschmidt zu der Erkenntnis, dass „bezüglich des Standorts [...] Wilhelmshaven in der Tat leichte Vorteile gegenüber dem konkurrierenden Platz Cuxhaven (dem alternativen Standort eines möglichen Tiefwasserhafens; Anmerkung des Verfassers) zu haben scheint.“ Weiter heißt es dort, Wilhelmshaven habe die besseren Zukunftsperspektiven, „da die Wahl des Platzes an der Jade wegen der größeren Kapazitätsreserven das vorerst nur theoretische, aber immerhin vorhandene Risiko minimiert, später noch einmal einen weiteren Hafen an der deutschen Nordseeküste anlegen zu müssen. Hinzu kommen die – wie auch immer zu gewichtenden – wirtschaftlichen Befruchtungseffekte für eine vom Strukturwandel bei der Bundeswehr betroffene Region“ (Sichelschmidt, 2001, S. 28).

5 Das Projekt Jade-Weser-Port

5.1 Planungsentwicklung

Die Geschichte des Projekts Jade-Weser-Port begann im Jahre 1993. In diesem Jahr gab es in der Wilhelmshavener Hafenwirtschaftsvereinigung Überlegungen zu dem Thema, die Baggerkosten für das Jadefahrwasser zu reduzieren und den anfallenden Sand sinnvoll und ortsnah zu verklappen. Das tiefe Fahrwasser einerseits und die wirtschaftlichen Probleme der Region andererseits führten dabei zu dem Gedanken, einen Hafen „als Zünder für primäre Arbeitsplätze“ zu bauen, berichtete Hans-Peter Kramer, Vorsitzender des Allgemeinen Wirtschaftsverbands in der Rückschau (Jeversches Wochenblatt vom 15. März 2002).

Konkretisiert wurden diese ersten „Gedankenspiele“ ab 1997. Die „Wilhelmshavener Hafenwirtschafts-Vereinigung e.V.“ (WHV) gab eine Studie zur „Analyse der Umschlagpotentiale für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven“ in Auftrag.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren positiv im Sinne des Hafenausbaus. Auf Basis dieses Gutachtens gab 1998 die „Hafendienst Wilhelmshaven GmbH“ eine „Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven“ in Auftrag, um die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des zu dem Zeitpunkt noch „Jade-Port“ heißen Projekts zu prüfen. Am 17. August 1999 wurde in Wilhelmshaven die Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port“ gegründet. Am 18. Februar 2000 wurde in Hannover die „Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven“ vorgestellt, die das Projekt ebenfalls befürwortete. Am 20. Oktober des selben Jahres wurde – wiederum in Hannover – die „Standortanalyse Tiefwasserhafen Deutsche Bucht“ (Berger/PLANCO-Gutachten, 2000) den verantwortlichen Politikern aus Bremen, Hamburg und Niedersachsen übergeben. Diese Analyse sprach sich für Wilhelmshaven und gegen Cuxhaven als Standort eines möglichen deutschen Tiefwasserhafens aus. Entscheidendes politisches Startsignal für den Jade-Weser-Port war der 30. März 2001. In einer gemeinsamen Erklärung des Bremer Bürgermeisters Scherf, des niedersächsischen Ministerpräsidenten Gabriel sowie des Hamburger Bürgermeisters Runde sprachen sich die drei Regierungschefs für einen Tiefwasserhafen an der deutschen Bucht aus. Die Regierungschefs legten sich in dieser grundsätzlichen politischen Willenserklärung auf Wilhelmshaven als Standort für diesen Hafen fest. Der genaue Wortlaut der Erklärung ist folgender:

30. März 2001

Erklärung von Ministerpräsident Gabriel, Bürgermeister Runde und Bürgermeister Scherf zur norddeutschen Hafenspolitik

1. Die Bürgermeister von Bremen und Hamburg und der Niedersächsische Ministerpräsident sind sich einig über die grundsätzliche Notwendigkeit eines Tiefwasserhafens in der Deutschen Bucht für Containerschiffe, die aufgrund ihrer Größe Bremerhaven und Hamburg auch unter zukünftigen Tiefgangsbedingungen nicht mit einer ökonomisch sinnvollen Auslastung anlaufen können. Dieser Tiefwasserhafen soll als norddeutsches Projekt gemeinsam

realisiert werden und stellt eine Ergänzung des bereits bestehenden norddeutschen Hafenangebotes dar.

Angesichts der historischen Bedeutung für Norddeutschland und getragen von dem Willen zu einer neuen gemeinsamen Hafenpolitik an der Deutschen Bucht haben sich die drei Regierungschefs für den Standort Wilhelmshaven entschieden. Der Tiefwasserhafen soll für eine Betriebsaufnahme zum Ende des Jahrzehnts realisiert werden.

2. Eine ökologisch vertretbare und ökonomisch erforderliche weitere Vertiefung von Elbe und Weser werden geprüft. Die Regierungschefs der Länder sind sich darüber einig, dass die Ergebnisse dieser Prüfung dann zügig umgesetzt werden. Dabei müssen die Belange der Deichsicherheit gewährleistet bleiben. Die Länder streben hierzu den Abschluss eines Abkommens an, das neben der Elb- und Weservertiefung außerdem die Prüfung der Bereitstellung von erforderlichen Ausgleichs- und Ersatzflächen auf niedersächsischem Gebiet umfasst und auch Regelungen für ein gemeinsames Baggergutentsorgungskonzept beinhaltet.
3. Die Regierungschefs der drei Länder sind sich darin einig, dass Entwicklung und Betrieb des Tiefwasserhafens nur mit maßgeblicher Beteiligung privater Investoren zur Reduzierung der öffentlichen Investitionen auf ein Minimum und nach betriebswirtschaftlichen Kriterien erfolgen kann. Dies betrifft sowohl die private Finanzierung der Infrastruktur für die 4 Liegeplätze in der ersten Ausbaustufe – mit mindestens 50 Prozent – als auch die Finanzierung der kompletten Suprastruktur und des Terminalbetriebes selbst. Dieser Tiefwasserhafen soll von der norddeutschen Hafenwirtschaft – niedersächsischen, bremischen und Hamburger Hafenunternehmen – gemeinsam betrieben werden.
4. Zur Entwicklung des Tiefwasserhafens wird Niedersachsen eine Projektentwicklungsgesellschaft gründen, an der sich andere (u.a. die Stadt Wilhelmshaven, Bremen und Hamburg) beteiligen können. Das Land Niedersachsen wird an dieser Projektentwicklungsgesellschaft einen Anteil von 51 Prozent halten. Die Projektentwicklungsgesell-

schaft erhält den Auftrag, das Planfeststellungsverfahren unverzüglich vorzubereiten und zu beantragen. Bis Ende 2001 hat sie ferner ein tragfähiges Konzept zur Umsetzung zu erarbeiten. Dies umfasst den Entwurf für einen Ideenwettbewerb zur Realisierung des Hafens, die gesellschaftsrechtlichen Rahmenbedingungen für Projektleitung, -trägerschaft und -umsetzung, die Vorlage eines Rahmenplans für das Projekt und seine Finanzierung.

5. Für den Fall, dass sich der Tiefwasserhafen in Wilhelmshaven nicht realisieren lässt, soll die Option Cuxhaven wieder aufleben. Eine privat wirtschaftlich zu finanzierende Errichtung weiterer Umschlagskapazitäten am Standort Cuxhaven durch Erweiterung bestehender oder Errichtung neuer Anlagen bleibt grundsätzlich möglich.

Quelle: <http://www.jadeweserport.info>, Zugriff am 26. Januar 2002.

Im April 2001 wurde schließlich die von der Stadt Wilhelmshaven, den Landkreisen Friesland, Wesermarsch und Wittmund sowie dem Land Bremen in Auftrag gegebene Studie „Entwicklungsperspektiven des Jade-Weser-Raums unter besonderer Berücksichtigung des geplanten Jade-Weser-Ports – Regionalwirtschaftliche Auswirkungen und Handlungsnotwendigkeiten für die Stadt Wilhelmshaven und die Landkreise Friesland, Wesermarsch und Wittmund“ in Bremen und Hannover den entsprechenden Regierungsvertretern überreicht. Die eigentliche „Jade-Weser-Port-Entwicklungsgesellschaft“ wurde am 30. August 2001 gegründet. Geschäftsführer der Entwicklungsgesellschaft, die zu Beginn aus einem Team von sechs Mitarbeitern bestand, wurde der bisherige Hapag-Lloyd-Vorstand Claus Wülfers. Gesellschafter der Entwicklungsgesellschaft sind zu 51 Prozent das Land Niedersachsen, zu 20 Prozent das Land Bremen und zu neun Prozent die Stadt Wilhelmshaven; 20 Prozent der Gesellschaftsanteile wurden für Hamburg reserviert. Am 6. September 2001 übermittelte die Entwicklungsgesellschaft der Kommission der Europäischen Union ein Programm für Planungsaufträge zur europaweiten Ausschreibung. Der Gesamtwert der Aufträge sollte 22 Millionen Mark (11,25 Millionen Euro) betragen. Die Vorsitzende des Aufsichtsrates

der Gesellschaft, Dr. Birgit Grote, stellte zu diesem Vorgang fest: „Die Jade-Weser-Port Entwicklungsgesellschaft legt mit diesem Schritt ein hohes Tempo vor.“ (Die Welt vom 11. September 2001; Zugriff am 14. Mai 2002). Ein weiteres wichtiges Ereignis in der Geschichte des Jade-Weser-Port war der 23. September 2001. An diesem Tag fanden die Bürgerschaftswahlen in Hamburg statt. In dieser Wahl unterlag der amtierende sozialdemokratische Bürgermeister Hamburgs (und entschiedener Befürworter des Jade-Weser-Ports) Ortwin Runde seinem Herausforderer Ole von Beust von der CDU, der sich sehr skeptisch gegenüber dem Hafenprojekt äußerte.

Am 16. April 2002 fand der erste Scoping-Termin (Scoping, abgeleitet vom englischen *scope*, das für Umfang, Rahmen steht; hier ist damit gemeint, dass der Untersuchungsrahmen für die Umweltfolgenabschätzung festgelegt wird.) zum Thema Tiefwasserhafen Wilhelms-haven statt, bei dem sich Umweltverbände und Bürgerinitiativen gegen den Bau des Tiefwasserhafens aussprachen ([http:// www.anti-port.de](http://www.anti-port.de), Zugriff am 23. April 2002).

5.2 Eckdaten des Jade-Weser-Ports

Der geplante Jade-Weser-Port liegt – geographisch gesehen – auf 53°36' Nord und 8°8' Ost an der Jade, einer tief ins Festland eingeschnittenen Meeresbucht des Jade-Weser-Ästuars.

Der Hafen befindet sich – bezogen auf Seekartennull (SKN = mittleres Springtideniedrigwasser) – am bis zu 18,50 Meter tiefen und 300 Meter breiten Fahrwasser der Jade und ist somit im Moment in Deutschland der einzige Hafen mit einem natürlichen Zugang zum tiefen Fahrwasser. Plandaten des Hafens sind:

- (1) Die Planfeststellung läuft von 2002 bis 2004.
- (2) Die Bauzeit der ersten Stufe ist von 2004 bis Ende 2008 (spätestens Anfang 2009) geplant.
- (3) Im ersten Bauabschnitt ist der Bau einer Stromkaje von rund 1 700 Metern Länge mit vier Liegeplätzen für Containerschiffe der neuen Generation mit bis zu 12 000 TEU und 420 Metern

Länge vorgesehen. Dahinter liegt eine rund 460 Hektar große Stell- und Lagerfläche, die neu vor der bisherigen Deichlinie entsteht und auf 7,5 Meter über Normal Null angelegt ist. Die ganze Konstruktion wird zunächst rund 1 500 Meter vor die Küstenlinie gerammt und später stufenweise mit rund 60 Millionen Kubikmetern Boden aufgespült. In dieser ersten Stufe soll eine Vertiefung der Zufahrt auf 16,0 Meter unter Seekartennull realisiert werden (Wassertiefe bis maximal 18,5 Meter unter Seekartennull möglich).

- (4) Die Be- und Entladung soll mit Ship-to-Shore-Kränen erfolgen, die eine Auslegerlänge für 27 Containerreihen besitzen.
- (5) Die Größe der Wendebecken beträgt 750 Meter.
- (6) Der Ausbau der Kaje ist bei Bedarf in nördlicher Richtung des Fahrwassers möglich.

<i>Prognosejahr</i>	Günstigstes Szenario	Mittleres Szenario	Ungünstigstes Szenario
2006	0,2	0,1	0,1
2010	1,2	1,1	1,0
2015	2,3	2,1	1,8

Abb. 10: Prognose des Containerumschlags in Wilhelmshaven bis 2015 (in Millionen TEU pro Jahr). Quelle: Projektkonsortium Jade Port, Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven, 1999.

- (7) Das günstigste Szenario erwartet sogar einen Umschlag von 4,1 Millionen TEU pro Jahr im Jahre 2020 (Machbarkeitsstudie 1999; Berger/Planco-Gutachten, 2000; Der Neue Lotse 2002).

5.3 Kosten und Finanzierung

Die Gesamtkosten des ganzen Projekts sollen gemäß Schätzungen rund 700 Millionen Euro betragen. Eine Presseerklärung der Jade-Weser-Port-Entwicklungsgesellschaft vom 18. April 2002 sprach sogar von Gesamtkosten von etwa 780 Millionen Euro (<http://www.jadeweserport.info>, Zugriff am 11. Mai 2002). Diese Summe –

wobei hier noch von einem Betrag von 700 Millionen Euro ausgegangen wird – gliedert sich wie folgt auf:

- Etwa 305 Millionen Euro für die Suprastruktur (Flächenbefestigung für Terminals, Kräne, Geräte, Gebäude, Informationstechnologie usw.). Diese Summe soll gemäß der Erklärung der Regierungschefs vom 30. März 2001 komplett privat finanziert werden.
- Etwa 178 Millionen Euro für die terminalbezogene Infrastruktur, das Kajenbauwerk.
- Mindestens 50 Prozent der terminalnahen Infrastruktur für die ersten vier Liegeplätze der ersten Ausbaustufe sollen privat finanziert werden.
- Etwa 211 Millionen Euro sind für die Flächenaufspülung (460 Hektar = 60 Millionen Kubikmeter Sand) vorgesehen und etwa 34 Millionen Euro für die landseitige Infrastruktur (Straßen- und Schienenanschlüsse). Diese Kosten trägt allein die öffentliche Hand.

Die Bremer „EUROGATE GmbH“ hat ihre grundsätzliche Absicht zur Beteiligung an der Finanzierung der Suprastruktur erklärt (Der Neue Lotse, 2/2002). Das Berger/PLANCO-Gutachten (2000, S. 8) schätzt die Aussicht auf Gewinnung weiterer privater Investoren grundsätzlich positiv ein: „Zahlreiche andere Länder haben gezeigt, dass die Kosten für den Bau von Häfen am Markt zu für private Investoren lukrativen Bedingungen durchsetzbar sind.“ Als Beispiele hierfür werden britische (zum Beispiel Southampton) oder asiatische Häfen (zum Beispiel Singapur) genannt.

5.4 Ökonomische Auswirkungen

Die möglichen ökonomischen Auswirkungen werden von den verschiedenen Studien zum Jade-Weser-Port recht unterschiedlich beurteilt. Gemäß der „Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven“ aus dem Jahr 2000 ist von einem Beschäftigungseffekt von bis zu 3 600 Arbeitsplätzen nach Erreichen der Auslastung der vorgeschlagenen ersten Phase zu rechnen. Dies

würde für das Land Niedersachsen einen jährlichen fiskalischen Nutzen von bis zu 48 Millionen DM bedeuten. Außerdem werden sonstige Einnahmen (Gebühren, Pachten usw.) in Höhe von gut 20 Millionen DM pro Jahr erwartet. Diese Arbeitsmarktzahlen erwartet auch der niedersächsische Ministerpräsident Sigmar Gabriel (Die Welt, 8. Februar 2002).

Zu etwas anderen Ergebnissen gelangt die Studie „Entwicklungsperspektiven des Jade-Weser-Raums“ aus dem Jahr 2001. Die Beschäftigungseffekte sehen gemäß dieser Analyse wie folgt aus:

Terminalbetrieb:	900–1100
Verkehrswirtschaft, Logistik:	700–1000
Großhandel:	300– 900
Sonstige Dienstleistungen:	0– 800
Chemische Industrie:	0–1000
Zwischensumme:	1900–4800
Einkommensmultiplikator (1,20):	380–960
Gesamtsumme:	2280–5760

Abb. 11: Beschäftigungseffekte in der Region Wilhelmshaven. Quelle: Entwicklungsperspektiven des Jade-Weser-Raums, 2001

Das abschließende Fazit dieser Untersuchung lautet: „Die Gesamtsumme der möglichen Beschäftigungseffekte des Jade-Weser-Ports bewegt sich also in einer Spanne zwischen rund 2300 und 5800 Beschäftigten. Die letztgenannte Größenordnung wird voraussichtlich eher mit der Realisierung weiterer Baustufen erreicht werden.“

Claus Wülfers der Geschäftsführer der Jade-Weser-Port-Entwicklungsgesellschaft wird im Februar 2002 mit der folgenden Aussage in der Presse zitiert: „Ich gehe davon aus, dass in der ersten Ausbaustufe 800 bis 1 000 Mitarbeiter beschäftigt werden können. Alles Weitere hängt dann von der zukünftigen Entwicklung des Hafens ab“ (Der Neue Lotse, 2/2002).

5.5 Ökologische Fragen

Es ist leicht nachvollziehbar, dass ein Bauprojekt, das gemäß Eigeneinschätzung der Entwicklungsgesellschaft ein „Jahrhundert-Bauwerk“ (<http://www.jadeweserport.info>, Zugriff am 11. Mai 2002) darstellt, große ökologische Folgen hat. Im folgenden werden anhand der „Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven“ aus dem Jahre 2000 die ökologischen Probleme aus Sicht der Befürworter des Projekts vorgestellt. Im einzelnen stellt die Analyse folgendes fest:

Erstens. Baubedingte Wirkungen

- (a) Überbauung und Versiegelung von Flächen: Durch die Abgrenzung des Terminalgeländes werden der Innenjade circa 460 Hektar Fläche entzogen; alle Gewässerfunktionen gehen verloren. Durch die Herstellung der seeseitigen Terminalzufahrt wird die Gewässersohle auf etwa 500 Hektar vollständig entfernt und um mehrere Meter abgesenkt. Dabei werden vorhandene benthische Lebensgemeinschaften zerstört.
- (b) Umlagerung von Sediment: Durch die umfangreiche Umlagerung von Sediment (Gewinnung von 42 Millionen Kubikmetern und Verklappung von 5,8 Millionen Kubikmetern auf der Klappstelle 0/01; Baggerung von 23 Millionen Kubikmetern in der seeseitigen Terminalzufahrt; Aufspülung von 60 Millionen Kubikmetern für das Terminal; Austreiben von 0,26 Millionen Kubikmetern Schlick im Bereich der Terminal-Spundwand) wird es zu einer temporären Erhöhung der Schwebstoffkonzentration besonders in der Innenjade kommen. Mögliche Beeinträchtigungen sind temporäre Reduktionen der planktischen Primärproduktion, Beeinträchtigungen der benthischen Fauna durch erhöhte Sedimentation und verstärkte Sauerstoffzehrung.
- (c) Durch die verschiedenen Bauaktivitäten ausgelöste Lärm- und Schadstoffemissionen sowie visuelle Beeinträchtigungen.

Zweitens. Anlagebedingte Wirkungen

- (a) Vernichtung aquatischer Lebensräume: Durch die Aufspülung des Terminals und die Überbauung gehen circa 400 Hektar sublitoraler und annähernd 65 Hektar eulitoral Weichböden als Lebensraum für benthische Gemeinschaften dauerhaft und großräumig verloren.
- (b) Veränderung des Tidehubs: großräumiger Anstieg des mittleren Tideniedrigwassers (MTnw) um 0,5 Zentimeter, der auch bis in Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer hineinwirkt.
- (c) Veränderung der Morphodynamik: Sehr deutliche Veränderungen der Morphodynamik, also der Prozesse von Erosion und Sedimentation, wird es in den beiden Strömungsschatten des Terminals geben, wo die Strömungsgeschwindigkeit stark herabgesetzt wird. Hier wird es zu einer Akkumulation von feinkörnigen Sedimenten und einem Aufwachsen des Gewässerbodens kommen. Ausgegangen werden muss, dass hiervon eine Fläche von circa 340 Hektar betroffen sein wird. Die veränderte Sedimentzusammensetzung und Höhenlage wird zu einer Veränderung der dort derzeit etablierten benthischen Gemeinschaften führen.
- (d) Verlust terrestrischer Lebensräume: Durch die Überbauung und Versiegelung im Zuge von Infrastrukturmaßnahmen werden naturnahe Biotopkomplexe auf einer Fläche von etwa 30 Hektar zerstört.
- (e) Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes: Diese Beeinträchtigungen gelten vor allem für die Sichtbeziehungen von der Deichlinie zwischen Maadesiel und Hooksiel und von der Westküste Butjadingens aus. Das Bauvorhaben wird von dort gut sichtbar sein und das Landschaftsbild dominieren.

Drittens. Betriebsbedingte Wirkungen

- (a) Erhöhung des Havarierisikos: Durch die Zunahme der Verkehrsdichte ist eine signifikante Erhöhung des Risikos einer Havarie mit Umweltfolgen gegeben, die unter Umständen auch in den Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer“ hineinwirken würde.

- (b) Erhöhung des landseitigen Verkehrs: Erhöhung der Lärm- und Schadstoffbelastungen durch den landseitigen Ab- und Antransport der Container.
- (c) Akustische und visuelle Beeinträchtigungen durch den eigentlichen Containerumschlagsbetrieb.

Viertens. Auswirkungen auf Umweltnutzungen

- (a) Dauerhafter Verlust von Naherholungsflächen und damit Beeinträchtigung des Tourismus: Für die Erholungsnutzung geht durch die Aufspülung des Terminalgeländes mit dem „Geniusstrand“ ein für Tourismus und Naherholung in Wilhelmshaven bedeutender (bis zu 20 000 Tagesgäste) Freizeit- und Erholungsbereich dauerhaft verloren.
- (b) Beeinträchtigungen für den Wassersport: Durch den Bau und Betrieb des Hafens kommt es begrenzt zu Einschränkungen für Sportboote im Jaderevier.
- (c) Verlust von bisher von der Küstenfischerei genutzten Flächen: Mit dem Beginn der Bauarbeiten zur Errichtung des Terminalgeländes gehen für die Küstenfischerei bisher begrenzt von der Fischerei nutzbare Flächen verloren, beziehungsweise die Nutzbarkeit wird weiter eingeschränkt.
- (d) Verlust von bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen: Durch die Erschließungsmaßnahmen auf dem Voslapper Groden gehen dem dort ansässigen landwirtschaftlichen Betrieb seine Betriebsstätte und die landwirtschaftlich genutzten Flächen parallel zur Raffineriestraße und im Nahbereich des Betriebs verloren.

Insgesamt kommt die Studie trotz der skizzierten Probleme zu dem abschließenden Fazit: „Insgesamt liefert die Machbarkeitsstudie „Aspekt Umwelt“ keine Hinweise auf solche Umweltbeeinträchtigungen, aufgrund derer das Projekt nicht genehmigungsfähig sein könnte.“

6 Gegenpositionen zum Projekt Jade-Weser-Port

Bislang wurde versucht, die logische Gedankenkette darzustellen, aufgrund der die Befürworter des Jade-Weser-Port den Bau eines deutschen Tiefwasserhafens für notwendig halten. Diese Argumente können kurz in den folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- (1) Aufgrund der prognostizierten Entwicklungen des Wachstums der Weltwirtschaft und der Nachfrage ist mit einem deutlichen Anstieg des Welthandels zu rechnen.
- (2) Ein Großteil dieses Welthandels wird durch Containerschiffe abgewickelt. Um das zunehmende Ladungsvolumen zu bewältigen, bedarf es immer größerer Schiffe mit ständig wachsenden Tiefgängen.
- (3) Diese großen Schiffe mit ihren zum Teil hohen Tiefgängen können im Moment ohne Probleme nur den Hafen von Rotterdam anlaufen. Deswegen, und auch um der niederländischen und belgischen Konkurrenz (Antwerpen) den Wachstumsmarkt Container nicht ohne weiteres zu überlassen, bedarf es an der Deutschen Bucht eines Hafens, der sowohl die benötigten Tiefgänge anbietet als auch die entsprechenden Containerstellkapazitäten für die zu erwartenden Zuwächse zur Verfügung stellt, da die im Augenblick vorhanden Nordseehäfen keine ausreichenden Kapazitätsreserven für die Zukunft haben.
- (4) Idealer Standort für einen solchen Hafen ist Wilhelmshaven. Er erfüllt zum einen die Bedingung des Zugangs zum tiefen Fahrwasser, zum anderen bietet er ausreichende Kapazitäten für den Containerumschlag und für mögliche Erweiterungen an. Außerdem würde ein derartiger Hafen in der strukturschwachen Region Wilhelmshaven sowohl wirtschaftliches Wachstum auslösen als auch beschäftigungspolitische Impulse setzen. Und schließlich gebe es auch keine gravierenden ökologischen Probleme bei der Realisierung des Jade-Weser-Port.

Diese Argumentationskette basiert auf Annahmen, die nicht unumstritten sind. Die Gegner des Tiefwasserhafens sehen dagegen die folgenden Argumente auf ihrer Seite: Die Entscheidung für den Jade-

Weser-Port in Wilhelmshaven sei aufgrund falscher Annahmen getroffen worden. Das Gutachten von Berger/PLANCO aus dem Jahr 2000 vergleiche ausschließlich die bestehenden Machbarkeitsstudien für die Containerhäfen in Wilhelmshaven und Cuxhaven. Beide Machbarkeitsstudien seien von unterschiedlichen Auftraggebern mit unterschiedlicher Zielsetzung, unterschiedlicher Analysetiefe auf der Basis unterschiedlichen Datenmaterials beauftragt worden. Berger hat nach eigenen Angaben keine eigenen Analysen durchgeführt. Einige der Basisannahmen sind nach Ansicht der Jade-Weser-Port-Gegner bereits fragwürdig:

- (1) Die positiven Wachstumsprognosen des Welthandels und Containerverkehrs sind zu optimistisch. So heißt es in einem Papier der Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port“ zum Scoping-Termin am 16. April 2002, dass in den Marktanalysen „nur Untersuchungen älteren Datums herangezogen [wurden]. Weder der Einbruch des Containergeschäftes des Jahres 2000 noch die Veränderungen der Weltwirtschaftssituation nach dem 11. September 2001 wurden berücksichtigt.“
- (2) Die Annahme, dass die Containerschiffe ungebremst immer größer würden und der Tiefgang der Schiffe sich erhöhe, wird bestritten. So heißt es zum Beispiel in einer Analyse zum Wachstum von Containerschiffen:

Nach einer Studie der Rotterdamer MERC (Maritiem Economisch Research Instituut) flacht die Stückkostendegression bereits ab 9 000 TEU erheblich ab [...]. Absehbar ist daher in den kommenden Jahren ein eher evolutionärer Verlauf des Schiffsgrößenwachstums um 1 000, maximal um 2 000 TEU zusätzlicher Stellplatzkapazität pro Schiff. Alle anderen Entwicklungen zu noch größeren Schiffen sind gegenwärtig Spekulation aber nicht auszuschließen. [Und etwas weiter heißt es:] Es gibt ökonomisch attraktive, technische Alternativen zum derzeitig favorisierten Vollcontainerschiff, die auch unter fiskalischen und ökologischen Aspekten Vorteile ausweisen (Deecke, 1998).

Eine andere Studie kommt zu folgendem Ergebnis:

Die Schiffsdimensionen werden durch den Suezkanal und die geringe Anzahl der weltweit auf Mega-Carrier eingerichteten Häfen begrenzt. Auch wenn die Häfen – inkl. einem Jade-Weser-Port – weltweit auf von interessierter Seite angekündigten Schiffsgrößen zugeschnitten werden sollten, fehlen zur Zeit noch die wirtschaftlichen Voraussetzungen dafür, dass sich Containerschiffe mit einer Stellplatzkapazität von mehr als 10 000 bis 11 000 TEU auf dem Markt durchsetzen werden. Denn – und das bestätigen die Fachleute – bei 10 000 TEU ist die Kostendegression unter den gegebenen Bedingungen so gut wie ausgereizt (Gutachten Aktionskonferenz Nordsee, 2000).

- (3) Bei den ökonomischen Effekten erwartet die Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port“ nur relativ geringe Wirkungen des Jade-Weser-Ports. Ihren Recherchen zur Folge ist nur mit 63 tatsächlich auf dem Terminal Beschäftigten zu rechnen. Außerdem sind nach ihren Angaben auch nur geringe Steuereinnahmen für die Region Wilhelmshaven zu erhoffen (Gegenwind, 1. Februar 2002).
- (4) Die ökologischen Folgen des Jade-Weser-Ports werden von Umweltgruppen außerordentlich kritisch gesehen. So sagte zum Beispiel Martin Rohde vom Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschlands (BUND) zum Jade-Weser-Port im Oktober 2000: „Eine derart massive Veränderung der Küstenlandschaft hat es bislang nicht gegeben.“ Und weiter: Das erforderliche Volumen von rund 60 Millionen Kubikmetern Aufspülung stelle für deutsche Verhältnisse eine neue Dimension im Wasserbau dar. Nur für die Flughäfen in Hongkong und in Singapur seien größere Dimensionen an Aufspülungen realisiert worden (TAZ, 21. Oktober 2000).

Die BUND-Kreisgruppe Wilhelmshaven bewertet abschließend das Projekt wie folgt: „Für das Ökosystem Wattenmeer sind große Zerstörungen und Schäden zu erwarten. Unser Heimatraum wird mit zusätzlichem, massiven Schwerlastverkehr, Lärm, Unfallgefahren und landschaftsschädigenden Eingriffen belastet, Häuser und Grundstücke in den hiervon betroffenen Zonen verlieren an Wert, Erholungsräume schwinden, Konflikte mehren sich“ (aus

BUND, Blatt vom 1. Juli 2001, <http://www.antiport.de>, Zugriff am 04. Juni 2002).

- (5) Nicht berücksichtigt wurden zahlreiche Gesetze und Verordnungen im Planungsentwurf. So wird zum Beispiel (neben vielen anderen Versäumnissen) kritisiert, dass die Standortentscheidung zu Gunsten von Wilhelmshaven (gegen einen möglichen alternativen Standort Cuxhaven) lediglich das Ergebnis eines politisch motivierten Vergleichs ist, der eine gesetzlich vorgeschriebene Standortanalyse gemäß Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) nicht ersetzen kann (Einwendungen zum Scoping-Termin „Tiefwasserhafen Wilhelmshaven“, 16. April 2002).

7 Ergänzung oder Alternative – der politische Diskurs um den Jade-Weser-Port

Neben dem Diskurs zwischen den politischen Gremien sowie den verschiedenen Bürgerinitiativen und Umweltgruppen um die Realisierung des Jade-Weser-Ports gab und gibt es selbst innerhalb von Politik und Wirtschaft eine heftige Diskussion um die Sinnhaftigkeit eines Tiefwasserhafens in Wilhelmshaven. Anhand einiger ausgewählter Zitate aus Politik und Wirtschaft sollen die unterschiedlichen Interessenlagen der handelnden Akteure aufgezeigt werden.

Akteure in der Politik

Ole von Beust, Bürgermeister von Hamburg: „Dass wir nicht mit Steuergeldern einen Alternativhafen zu Hamburg bauen wollen, dürfte wohl klar sein“ (Weser Kurier, 30. Januar 2002).

„Nichts darf in Wilhelmshaven entstehen, was Bremerhaven und Hamburg das Wasser abgräbt“ (Nordwest Zeitung, 30. Januar 2002).

Dr. Henning Scherf, Bürgermeister von Bremen: „Wir wollen mit dabei sein, wenn an der Jade der Hafen gebaut wird.“ Und weiter: „Der Bau des Bremerhavener Container-Terminals IV (CT IV) wird kommen. Genau wie Wilhelmshaven. Dort entsteht der CT V als existenznotwendige Erweiterung und Fortsetzung zu Bremerhaven. Wir

werden uns daran selbstverständlich beteiligen“ (Nordwest Zeitung, 19. November 2001). „Der Tiefwasserhafen ist eine gigantische Entscheidung für die Region. Ich gehe davon aus, dass trotz des Regierungswechsels an der Elbe die bisherigen Abmachungen Bestand haben, weil sie ökonomisch und planerisch bestens fundiert sind. Sollte der Hamburger Senat dennoch aussteigen, haben die Hamburger ein Problem und nicht wir“ (Nordwest Zeitung, 24. Oktober 2001).

Susanne Knorre, niedersächsische Wirtschaftsministerin zu der Frage, ob Wilhelmshaven ein Konkurrenzhafen zu Hamburg sei: „Erklärtes Ziel der Vereinbarung der drei Regierungschefs von 2001 ist es, nicht die Konkurrenz untereinander zu schüren, sondern im Wettbewerb mit Amsterdam, Rotterdam und Antwerpen zu bestehen“ und zu der Frage, ob es eine Verknüpfung zwischen Tiefwasserhafen und Elbvertiefung gibt: „Die Vereinbarung ist da eindeutig: Es gibt kein Junktum zwischen den beiden Projekten, und ich sehe auch keinen unmittelbaren Zusammenhang. Wir werden das Projekt Tiefwasserhafen umgehend realisieren – mit oder ohne Hamburg. Dabei steht Hamburg stellvertretend für die Stadt und die HHLA“ (aus einem Interview mit dem Hamburger Abendblatt, 11. Februar 2002).

Eberhard Menzel, Oberbürgermeister von Wilhelmshaven: „in unserer Küstenregion gibt es strukturelle Unebenheiten, Entwicklungen am Arbeitsmarkt, die alle Verantwortlichen in Wirtschaft, Verwaltung und Politik nachhaltig verpflichtet, für wirtschaftliches Wachstum, für Beschäftigungszunahme zu sorgen, entsprechende Rahmenbedingungen für nachhaltige Investitionen zu schaffen. Oberste Priorität ist es, bestehende Arbeitsplätze zu stabilisieren, neue Arbeitsplätze zu schaffen, für die jungen Menschen, für die nachfolgenden Generationen. In diesem Sinne betrachtet die gesamte Region den Jade-Weser-Port als Chance“ (aus der Vorstellung „Machbarkeitsstudie zum Jade-Weser-Port“, 18. Februar 2000).

Akteure in der Wirtschaft

Emanuel Schiffer (Vorsitzender Eurogate): „Wenn der Container Terminal in Wilhelmshaven mit der ersten Ausbaustufe in der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts betriebsbereit ist, dann passt das ideal in unsere Planungen für die Entwicklung der EUROGATE Gruppe“ (aus der Vorstellung „Machbarkeitsstudie zum Jade-Weser-Port“, 18. Februar 2000).

Thomas Eckelmann, Geschäftsführer der Hamburger Eurokai-Hafen-gruppe: „Ja, wir brauchen einen deutschen Tiefwasserhafen. Denn die Großcontainerschiffe mit 12 000 bis 14 000 Behältern (TEU) kommen, wenn nicht 2010, dann eben einige Jahre später. Einen Hafen zu planen und zu bauen, ist ein Projekt, in dem man für Jahrzehnte vorausdenken muss.“ Und weiter: „Der ideale Standort für einen solchen Hafen ist und bleibt Wilhelmshaven“ (Weser Kurier, 12. Februar 2002).

Bremer Lagerhausgesellschaft (BLG): „In der Frage zum Standort eines deutschen Tiefwasserhafens begrüßen wir die Ende März dieses Jahres erfolgte Standortentscheidung für den Jade-Weser-Port. Die Vorteile Wilhelmshavens sind eindeutig. Wir haben diesen Standort aufgrund der vorhandenen nautischen Qualitäten mit einer Wassertiefe von 18,50 Metern und der künftigen Entwicklungsmöglichkeiten hinsichtlich der verfügbaren Flächen eindeutig präferiert. Zudem benötigen wir wegen des starken Wachstums an den Container-Terminals in Bremerhaven und in Hamburg spätestens ab 2010 zusätzliche Terminal-Kapazitäten. Bremerhaven wird dann – einschließlich der Ausbaustufen CT III a und CT IV – trotz aller Optimierungen voll ausgelastet sein. Wilhelmshaven ist die ideale Ergänzung zu unseren Terminals in Bremerhaven und Hamburg“ (Geschäftsbericht der BLG, 2000, S. 11).

Peter Dietrich, Vorstandsvorsitzender der Hamburger Hafen- und Lagerhaus-Aktiengesellschaft (HHLA) zu der Frage, wie lange Hamburg im Seeverkehr mit immer größeren Containerschiffen noch mithalten kann: „Noch sehr lange – weil in Hamburg die großen Schiffe über die Elbe in den Ballungsraum und den großen Verkehrsknoten

hineinfahren. Wir haben die geringsten Hinterlandtransportkosten, viel örtliche Ladung und noch mehr Ladung aus dem Ostseeraum und aus Ostmitteleuropa. Zur Zeit sind wir der am schnellsten wachsende große Containerhafen in Nordwesteuropa – prozentual und absolut“. Und zu der Frage, ob größere Tiefgänge und Kapazitätsengpässe Hamburg vor Probleme stellen: „Die Kapazitäten sind nicht das Problem – die können in Hamburg auf planfestgestelltem Hafengelände Zug um Zug mit dem Wachstum des Verkehrs auf eine Umschlagskapazität von 15 Millionen TEU ausgebaut werden. Und dann hätten wir noch das Hafenerweiterungsgebiet Moorburg. Wenn unsere bisherige Faustregel ‚Verdopplung alle zehn Jahre‘ weiterhin gilt – es gibt ja Leute, die an diese Art exponentiellen Wachstums glauben –, dann haben wir mindestens für die nächsten 20 Jahre keine Kapazitätssorgen. Ein großer Vorteil gegenüber den Wettbewerbern“ (Interview mit Die Welt, 8. Februar 2002).

Manfred Klöpper; DGB-Regionsvorsitzender Oldenburg/Willhelms- haven: „Wir erwarten weitere Schritte zur Verwirklichung des Jade- Weser-Ports in Wilhelmshaven im neuen Jahr. Es gehe um Signale für die wirtschaftliche Entwicklung in der Region. Die Gewerkschaften würden aber darauf achten, dass wichtige Prinzipien für die zukünftigen Arbeitsplätze und für die Ökologie eingehalten werden“ (Nordwest Zeitung, 28. Dezember 2001).

Akteure in Bürgerinitiativen

„Die Umweltverbände AKN, BUND und WWF sind gegen einen Tiefwasserhafen an der norddeutschen Küste. Bau und Betrieb eines solchen Hafens sind mit schwerwiegenden ökologischen Folgen verbunden, die bei der bisherigen Planung weitgehend ignoriert wurden. Der empfindliche Lebensraum Wattenmeer wird durch die massiven Baggerungen des Fahrwassers und das erhöhte Risiko einer Schiffshavarie stark geschädigt.“ Und weiter: „Für den Bau eines Tiefwasserhafens sind massive Ausbaggerungen in Flussmündungen sowohl an der Jade als auch an der Elbe nötig, die zu einer kanalartigen Flussmündung und damit zu einer drastischen Veränderung des Ökosystems führen.“ Der Hafenbau werde ernste ökologische Eingriffe an

den Wasserwegen nach sich ziehen, wie einen Kanal zwischen Jade und Weser oder die Vertiefung der Mittelelbe, prophezeien die Umweltverbände. Pläne hierfür lägen schon vor. Zunehmender Hinterlandverkehr, bis zu einem LKW pro Minute mehr, sind eine extreme Belastung für Mensch und Natur. Neu- und Ausbau von Straßen- und Autobahnen sehen AKN, BUND und WWF ebenfalls als unvermeidbare Folgen, sollte ein neuer Tiefwasserhafen gebaut werden: „Entscheiden sich die Landesregierungen für Wilhelmshaven, wird sicherlich die A 1 zwischen Bremen und Hamburg ausgebaut. Bei Cuxhaven befürchten wir einen Ausbau der B 73, und außerdem wird dadurch noch der Druck verstärkt, die umstrittenen A 26 fertig zu stellen“, so eine Sprecherin der Umweltorganisationen. Unabhängig vom Standort befürchten die Organisationen, dass ein neuer Tiefwasserhafen dem Bau der ökologisch abzulehnenden A 20 Vorschub leisten würde. Zunehmender Schiffsverkehr erhöhe außerdem das Risiko von Schiffsunglücken, die den Nationalpark Wattenmeer bedrohen würden. Die großen Containerschiffe bergen ein erhöhtes Unfallrisiko durch ihre verringerte Manövrierfähigkeit und ihren langen Bremsweg. „Die Landesregierung müssen genau untersuchen, ob ein solcher Hafen mit seinen Folgeprojekten sich volkswirtschaftlich rechnet“ so eine Sprecherin der Umweltverbände (aus einer Pressemitteilung der Umweltverbände AKN, BUND und WWF vom 21. März 2001, <http://www.wwf.de>, Zugriff am 4. Juni 2002).

Manfred Berger, Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port“: „Wir brauchen keinen neuen Containerhafen an der deutschen Nordseeküste“, Vortrag vom 28. November 2000 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).

Joachim Tjaden, Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port“: „Der Super-Hafen kommt sowieso nicht. Er bringt kaum Jobs und zerstört unsere Umwelt. Irgendwann werden das auch die Bremer und die Niedersachsen einsehen“ (Schöneberg, 2002).

Aus dieser Zitatensammlung wird deutlich, dass die bremische und die niedersächsische Politik den Jade-Weser-Port klar befürworten. Bremen ist für den Hafen, weil die Containerumschlagskapazitäten in

Bremerhaven (auch mit den geplanten Erweiterungen – CT IV!) gemäß den zugrunde liegenden Prognosen in Zukunft nicht ausreichen werden. Wilhelmshaven wird als wichtiger Ergänzungshafen gesehen, der aber von Bremer Unternehmen geführt wird. Ähnlich sind die Aussagen der Bremer Wirtschaftsvertreter. Die Hamburger Politik und Hafenwirtschaft sieht dagegen in einem Tiefwasserhafen in Wilhelmshaven eine Bedrohung der eigenen Hafeninteressen. Für sie ist der Jade-Weser-Port kein Ergänzungs-, sondern ein Konkurrenzhafen, der Hamburg das „Wasser abgraben“ soll. Für Niedersachsen steht im Vordergrund, dass das Projekt eine Belebung der Ökonomie der strukturschwachen Region Wilhelmshaven ist und damit direkt und indirekt neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Die Umweltverbände und Bürgerinitiativen bestreiten dagegen die Notwendigkeit eines Tiefwasserhafens und stellen ihn sowohl in ökonomischer wie ökologischer Hinsicht in Frage.

8 Der Versuch einer abschließenden Bewertung

Mit der definitiven Entscheidung Hamburgs am 21. Mai 2002 zum Ausscheiden aus dem Projekt Jade-Weser-Port aufgrund der schon skizzierten Interessenkonflikte mit der Bremer Wirtschaft (Bahnsen, 2001) wird das ganze Vorhaben sicherlich nicht einfacher. Gescheiterte Hafenprojekte in den sechziger und siebziger Jahren (Neuwerk, Helgoland) führen einem deutlich vor Augen, dass die reale Gefahr des Scheiterns des ganzen Jade-Weser-Port-Konzepts besteht. Allerdings zeigt die jüngste politische Entwicklung, dass sowohl Bremen als auch Niedersachsen fest entschlossen sind, das Projekt auf jeden Fall auch ohne Hamburg zu verwirklichen. In der Presseerklärung des Bremer Senats vom 4. Juni 2002 zum endgültigen Beschluss der Bundesländer Bremen und Niedersachsen zum gemeinsamen Bau des Jade-Weser-Ports spricht der Bremer Bürgermeister Henning Scherf von einer historischen Entscheidung zum Wohle der zusammenwachsenden Wirtschafts- und Hafenregion Jade/Weser: „Niedersachsen und Bremen werden ihren neuen Hafen gemeinsam bauen. Damit erreicht die länderübergreifende Zusammenarbeit im Norden eine neue

Qualität“ (Presseerklärung des Senats der Freien Hansestadt Bremen vom 4. Juni 2002, <http://www.bremen.de>, Zugriff am 5. Juni 2002). Und Niedersachsens Ministerpräsident Sigmar Gabriel sagt zu dem Thema: „Für uns in Niedersachsen ist das eine Jahrhundertentscheidung. Ich bin den Bremern außerordentlich dankbar, dass sie zu dem Projekt stehen“ (Hanauer, 2002).

Zwar bleibt noch die Frage offen, wer den für Hamburg reservierten Zwanzig-Prozent-Anteil in der Planungs- und Entwicklungsgesellschaft übernimmt, doch scheint dies nach Ansicht der Bremer Hafenvirtschaft kein großes Problem zu sein. Emanuel Schiffer, der Vorsitzende von Eurogate, meinte zum Verzicht Hamburgs am Bau des Jade-Weser-Ports: „Jetzt haben wir das, was wir von Anfang an wollten.“ Eine spätere Partnersuche sei zwar nicht ausgeschlossen, aber, so Schiffer: „Wenn man alleine ist, hat man größere Freiheiten.“ Und Claus Wülfers von der JadeWeserPort-Entwicklungsgesellschaft meint hierzu ergänzend: „Vielleicht wird jetzt alles einfacher, weil wir niemanden fürchten müssen, der möglicherweise nur verzögern oder verhindern will“ (Hinrichs, 2002). Außerdem scheint bei der Suche nach einem Partner, der die noch existierende Finanzierungslücke von 90 Millionen Euro bei dem 780-Millionen-Euro-Projekt schließt, keine große Eile zu herrschen. Dies meinte zumindest der Vorsitzende der Bremer Lagerhausgesellschaft, Detthold Aden (buten & binnen, Interview vom 22. Mai 2002). Durch den fehlenden Zeitdruck ist es Bremen als Betreiber des Hafens auch möglich, bei der Partnerwahl wählerisch und nicht unbedingt auf ausländische Investoren angewiesen zu sein. Deshalb kann der Bremer Wirtschaftssenator Josef Hattig auch ohne größere Probleme folgende Stellungnahme zu dem Thema ausländische Partner artikulieren: „Wir brauchen eine norddeutsche Lösung“ (Hinrichs, 2002).

Festzuhalten bleibt, dass bei einer endgültigen Realisierung des Jade-Weser-Ports Bremen und die Bremer Hafenvirtschaft sicherlich am meisten von dem geplanten Hafen profitieren werden. Wilhelmshaven stellt für Bremen als zusätzlicher „CT V“ die logische Erweiterung der bestehenden Hafeneinrichtungen dar und ist somit die „Rettung“

für Bremerhaven, wo ein Ende der Kapazitätsreserven absehbar scheint. Der Bremer Bürgermeister Henning Scherf drückt dies sehr deutlich aus: „Ohne Wilhelmshaven wäre die bremische Hafentwicklung bald am Ende“ (Loest, 2002). Er vergleicht das Vorhaben Jade-Weser-Port von den Dimensionen her sogar mit der Gründung Bremerhavens vor 175 Jahren (Loest, 2002). Ob Niedersachsen in dem erwünschten Maße ökonomisch aus dem Hafen Vorteil ziehen kann, muss sich erst noch erweisen.

Erstaunlich ist, dass bei dem ganzen politischen Gerangel um den Sinn oder Unsinn des Jade-Weser-Ports zwischen Hamburg und Bremen auf der einen sowie Niedersachsen auf der anderen Seite die ökologischen Probleme im Zusammenhang mit dem Projekt in der Öffentlichkeit weitgehend unbeachtet blieben. In einer Presseinformation vom 21. Mai 2002 äußert die Aktionskonferenz Nordsee die folgende Befürchtung:

Eine Katastrophe sind [...] die jeweiligen Planungen der drei norddeutschen Küstenländer Bremen, Hamburg und Niedersachsen. Zusätzlich zu der Planung des Tiefwasserhafens sind umfangreiche Vorhaben von Flussvertiefungen und Verkehrsverbindungen in Norddeutschland geplant. [...] Es wird deutlich, dass eine großräumige Verkehrsnetzplanung im Gange ist, die vor allem eine starke Belastung für Mensch und Natur mit sich bringen wird. [...] Politik und Hafenwirtschaft sind nicht willens, eine gemeinsame Hafenpolitik zu betreiben und führen diesen ruinösen Konkurrenzkampf auf Kosten der SteuerzahlerInnen und Umwelt munter weiter (Presseinformation vom 21. Mai 2002, <http://www.aknev.org>, Zugriff am 4. Juni 2002).

Erste Äußerungen von Scherf mit dem Tenor „Dieser Hafen wird am Ende den Unternehmen dienen, die ihn betreiben. Wir haben keinen ernsthaften Gesprächsbedarf mehr in der Frage, was 80 Kilometer elbaufwärts geschieht“ (Hanauer, 2002) lassen in der Tat die Befürchtung aufkommen, dass eine neue Phase der Haf konkurrenz beginnt, bei der als Verlierer die Natur feststeht.

Ob der Jade-Weser-Port letztendlich ein wirtschaftlicher Erfolg wird, hängt entscheidend davon ab, ob tatsächlich die großen Containerschiffe kommen werden. Zweifel hieran sind erlaubt, so dass meiner Meinung nach sich Chancen und Risiken des Tiefwasserhafens in etwa die Waage halten.

Der am Anfang angesprochene Interessenkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie scheint auch in diesem Fall mit der absoluten Vorfahrt für die wirtschaftlichen Belange zu enden.

Literatur

- Aktionskonferenz Nordsee e.V. (2000): Bedarfsanalyse für einen deutschen Tiefwasser-Containerterminal – Wachstumsgrenzen der Schiffsgrößenentwicklung, Bremen.
- Arndt, E. (2002): „Klares Ja zu Wilhelmshaven – Unternehmer Eckelmann sieht keine Standort-Alternative für Tiefwasserhafen“, in: Weser Kurier, 12. Februar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Aschenbeck, N., und Schwerdtfeger, H. (2002): Zeitsprung, Delmenhorst.
- Baak, G., Brünings, K., und Zachcial, M. (1999): Machbarkeitsstudie für einen Container- und Mehrzweckhafen in Wilhelmshaven, Wilhelmshaven (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 26. Januar 2002).
- Bahnson, U. (2001): „Hafen auf die lange Bank?“, 17. März 2001 (<http://www.welt.de>, Zugriff am 14. Mai 2002)
- Bastian, H., et al. (1968): Ullstein Lexikon des Kaufmanns – Handbuch für Geldfragen und Kaufmannswesen, Frankfurt am Main, Berlin.
- Belina, B. (2001): Die Bremischen Häfen im Jahr 2050 – Zur Zukunft der Häfen in der Stadt Bremen, Bremen.
- Berger, M. (2000): Öffentliche Info-Veranstaltung am 28. November 2000 im Pumpwerk, (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Berger, M. (2002): Bürgerinitiative „Bürger gegen den Jade-Weser-Port – Einwendungen zum Scoping-Termin „Tiefwasserhafen Wilhelmshaven“, 16. April 2002, Wilhelmshaven.
- Berger/PLANCO-Gutachten (2000): Bedarfsanalyse für einen Tiefwasserhafen in der Deutschen Bucht, Essen.
- Beth, H., Hader, A., und Kappel, R. (1983): 25 Jahre Weltschiffahrt, zitiert nach Pfeifferling, R. (1986): Zur Veränderung des Linien-Konferenzsystems durch

- „Rund-um-die-Welt-Dienste“ und schiffahrtspolitischen Reaktionen in der BRD, Bremen, S. 104f.
- Bremer Lagerhaus-Gesellschaft (2001): Geschäftsbericht der Bremer Lagerhaus-Gesellschaft 2000, Bremen.
- BT-Drucksache 14/6910 (2001): Zwischenbericht der Enquete-Kommission: Globalisierung der Weltwirtschaft – Herausforderungen und Antworten, Berlin.
- BUND Blatt (2001): BUND-Resolution zum „Jadeweserport, 1. Juli 2001 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 4. Juni 2002).
- Buten & Binnen (2002): Fernsehinterview vom 22. Mai 2002.
- Deecke, H. (1998): Container, Seehafen und Ökologie, Studie im Auftrag des BUND Niedersachsen und des WWF Deutschland, Hamburg (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 26. Januar 2002).
- Der Neue Lotse (2002): Jadeweserport. Jahrhundert-Bauwerk am Jadebusen – Jadeweserport setzt auf Wachstum im internationalen Container-Geschäft, 2/2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Die Welt (2001): „JadeWeserPort vergibt Planungsaufträge – Tiefwasserhafen soll 2007 den Betrieb aufnehmen“, in: Die Welt, 11. September 2001 (<http://www.welt.de>, Zugriff am 14. Mai 2002).
- Die Welt (2002): „HHLA setzt auf Elbvertiefung – Interview mit Peter Dietrich“, in: Die Welt, 8. Februar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Die Welt (2002): „Tiefwasserhafen – Chance oder Illusion? – Die Chefs der größten Hamburger Containerumschlagfirmen zur Bedeutung des Großprojekts für den Norden – Eine Bestandsaufnahme“, in: Die Welt, 8. Februar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Mai 2002).
- Gegenwind (2002): „Fass ohne Boden“, 1. Februar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Grunewald (1964): „Der Hafen Wilhelmshaven“, in: Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft und Verkehr (Hg.): Die Seehäfen in Niedersachsen, Berlin, Basel, S. 66, zitiert nach Belina, B. (2001): Die Bremischen Häfen im Jahr 2050 – Zur Zukunft der Häfen in der Stadt Bremen, Bremen.
- Hamburger Abendblatt (2002): „Wir bauen auch ohne Hamburg“, Interview mit Susanne Knorre, in: Hamburger Abendblatt, 11. Februar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Hanauer, F. (2000): „Neuer Hafen für Wilhelmshaven: Konkurrenz für Rotterdam – Cuxhaven geht leer aus“, in: Die Welt, 21. Oktober 2000 (<http://www.welt.de>, Zugriff am 11. Mai 2002).

- Hanauer, F. (2002): „Offizieller Startschuss für den Tiefwasserhafen: Gemeinsamer Bau durch Bremen und Niedersachsen beschlossen. Hamburg bei der Elbvertiefung die kalte Schulter gezeigt“, in: Die Welt, 5. Juni 2002 (<http://www.welt.de>, Zugriff am 05. Juni 2002).
- Hinrichs, J. (2002a): „Hamburg zeigt die kalte Schulter – Vorerst keine Teilnahme an Projektgesellschaft für Tiefwasserhafen“, in: Weser Kurier, 30. Januar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Februar 2002).
- Hinrichs, J. (2002b): „Bremen wirft Anker für neuen Superhafen – Ausländische Investoren unerwünscht“, in: Weser Kurier, 25. Mai 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 4. Juni 2002).
- <http://www.antiport.de>, Zugriff am 23. April 2002.
- <http://www.arbeitsamt.de>, Zugriff am 11. Mai 2002.
- <http://www.hafen-hamburg.de> (Seiten der Hafen Hamburg Marketing e.V. (HHM)), Zugriff am 5. Mai 2002.
- <http://www.jadeweserport.info>, Zugriff am 11. Mai 2002.
- <http://www.jadeweserport.info>, Zugriff am 26. Januar 2002.
- <http://www.wilhelmshaven.de>, Zugriff am 15. Februar 2002.
- <http://www.wilhelmshaven-port.de>, Zugriff am 15. Februar 2002.
- Jung, H., Pohl, M., und Weber, K. (2001): Entwicklungsperspektiven des Jade-Weser-Raums unter besonderer Berücksichtigung des geplanten Jade-Weser-Ports – Regionalwirtschaftliche Auswirkungen und Handlungsnotwendigkeiten für die Stadt Wilhelmshaven und die Landkreise Friesland, Wesermarsch und Wittmund, Hannover, Bremen (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 8. Februar 2002).
- Klippel, B. (1985): Rund-um-die-Welt-Linien. Die Effizienz neuer Konzepte weltumspannender Containerlinien, München, zitiert nach Pfeifferling, R. (1986): Zur Veränderung des Linien-Konferenzsystems durch „Rund-um-die-Welt-Dienste“ und schiffahrtspolitischen Reaktionen in der BRD, Bremen, S. 11.
- Kröger, B. (1999): „Deutsche Reedereien im globalen Wettbewerb“, in: Schiff und Hafen, 51, S. 13, zitiert nach Belina, B. (2001): Die Bremischen Häfen im Jahr 2050 – Zur Zukunft der Häfen in der Stadt Bremen, Bremen.
- Loest, W. (2001): „Jade-Port als Als-ob mit oder ohne Hamburg – Hafen als Flaggschiff der Nordwest-Region“, in: Nordwest Zeitung, 24. Oktober 2001 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Februar 2002).
- Loest, W. (2002): „Jade-Port: Länder treffen Jahrhundert-Entscheidung – Bremen und Niedersachsen bauen Tiefwasserhafen – 800 Millionen Kosten – Die Partnerländer messen dem Projekt nationale Bedeutung bei. Die Bundesregierung

- gibt eine neue Zusage“, in: Nordwest Zeitung, 5. Juni 2002 (<http://www.nwz-online.de>, Zugriff am 5. Juni 2002).
- Menzel, E. (2000): Beitrag von Oberbürgermeister Eberhard Menzel, Wilhelmshaven, am 18. Februar 2000 in Hannover aus Anlass der Präsentation der Projektstudie „Tiefwasserhafen Wilhelmshaven“ (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 12. Februar 2002).
- N.N. (2000): „Innovations for boxships“, in: HANSA (Hg.): Hamburg, 137, S. 40–42, zitiert nach Berger/PLANCO-Gutachten (2000): Bedarfsanalyse für einen Tiefwasserhafen in der Deutschen Bucht, Essen.
- Nordwest Zeitung (2001): „Gewerkschaft hofft auf Jade-Weser-Port – Kritik an der geplanten Schulreform“, in: Nordwest Zeitung, 28. Dezember 2001 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Mai 2002).
- Nordwest Zeitung (2002): „Hamburg hält an Tiefwasserhafen fest – Tiefwasserhafen in Wilhelmshaven soll kein Konkurrenz- oder Alternativhafen zu den bestehenden deutschen Nordseehäfen werden“, in: Nordwest Zeitung, 30. Januar 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Februar 2002).
- Oncken, H., und Salverius, D., 2002, „Das Ding ist unsere letzte Chance –Hooksieler Forum zum Jade-Weser-Port: Geballte Information – Diskussion ohne die erwünschte Dynamik“, in: Jeversches Wochenblatt, 15. März 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Mai 2002).
- Peters, J. (2001): „Regierungschef Scherf: ‚Wollen beim Hafen an der Jade dabei sein‘“, in: Nordwest Zeitung, 19. November 2001 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 17. Februar 2002).
- Presseerklärung des Senats der Freien Hansestadt Bremen (2002): „Tiefwasserhafen in der Deutschen Bucht wird gemeinsam realisiert / Gespräche mit Betreibern und Investoren sollen in den kommenden Wochen zum Abschluss gebracht werden“, 4. Juni 2002 (<http://www.bremen.de>, Zugriff am 5. Juni 2002).
- Presseinformation der Aktionskonferenz Nordsee (AKN) (2002): „Hafenkonkurrenz geht munter weiter“, 21. Mai 2002 (<http://www.aknev.org>, Zugriff am 4. Juni 2002).
- Pressemitteilung der Umweltverbände Aktionskonferenz Nordsee (AKN): BUND und WWF (2001): „Umweltverbände gegen Tiefwasserhafen“, 21. März 2001 (<http://www.wwf.de>, Zugriff am 4. Juni 2002).
- Schiffer, E. (2000): Beitrag von Emanuel Schiffer (Vorsitzender EUROGATE) am 18. Februar 2000 in Hannover aus Anlass der Präsentation der Projektstudie „Machbarkeitsstudie zum Jade-Weser-Port“, 18. Februar 2000. (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 12. Februar 2002).

- Schöneberg, K. (2002): „WHV muschelt im Trüben. Tiefwasserhafen: Einwände der umliegenden Gemeinden wurden nicht öffentlich behandelt, ‚weil man befürchtete, den Gegnern des Jadeweserports Argumente zu liefern“, in: TAZ Bremen, 27. Mai 2002 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 4. Juni 2002).
- Seedorf, H., und Meyer, H. (1996): Landeskunde Niedersachsen, Band II, Niedersachsen als Wirtschafts- und Kulturraum, Neumünster, S. 647, zitiert nach Belina, B. (2001): Die Bremischen Häfen im Jahr 2050 – Zur Zukunft der Häfen in der Stadt Bremen, Bremen.
- Sichelschmidt, H. (2001): Das Projekt eines deutschen Tiefwasser-Containerhafens und seine Rolle im Standortwettbewerb, Kieler Arbeitspapier Nr. 1025, Kiel.
- TAZ Bremen (2000): „Rechnet sich nicht – Der Eingriff in die norddeutsche Küstenlandschaft ist nicht nötig und nicht rentabel, sagen Naturschützer“, in: TAZ Bremen, 21. Oktober 2000 (<http://www.antiport.de>, Zugriff am 16. Februar 2002).
- Waldmann, M. (2001): „Die Dämme gegen die Stadtfucht sind noch löchrig – Abwanderung nagt am finanziellen Fundament der Städte – Experten verlangen nach geschärften Förderinstrumenten“, in: Die Welt, 8. Mai 2001 (<http://www.welt.de>, Zugriff am 11. Mai 2002).
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, Freie und Hansestadt Hamburg Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau (1997): „Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe“, Erläuterungsbericht Teil A, Bedarfsbegründung, Hamburg (<http://www.cux.wsd-nord.de>, Zugriff am 25. April 2002).
- Zachcial, M. (2002): „Neuere Entwicklungen in der Seeverkehrswirtschaft“, in: Gerstenberger, H., und Welke, U. (Hg.): Seefahrt im Zeichen der Globalisierung, Münster, S. 43–54.

Die Autoren

Ann-Katrin von der Heide (Jahrgang 1975): Studium der Rechtswissenschaften mit dem Schwerpunkt Wirtschaftsverwaltungsrecht mit umweltrechtlichen Bezügen an den Universitäten Göttingen und Bremen (erstes juristisches Staatsexamen 1999). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Zurechenbarkeit und Verteilungsinstrumente zur Erfassung und Verminderung von Fernwirkungen am Beispiel Nordsee“.

Jens Dannenberg (Jahrgang 1972): Studium der Physik an der Universität Bremen mit den Schwerpunkten Festkörperphysik und Biophysik. Diplom (1999) in der Arbeitsgruppe „Physikalische Satellitenbild-Analyse“ am Institut für Umweltphysik der Universität Bremen. Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Erstellung von topographischen Karten des Wattenmeers mit Hilfe von Satellitendaten“.

Tomas Feseker (Jahrgang 1974): Studium der Geologie an den Universitäten Göttingen und Bremen mit den Schwerpunkten Hydrogeologie, Geochemie und Meeresgeologie (Diplom im Jahr 2000). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Modellierung des Grundwasserhaushalts in Norddeutschland bei Klimaänderungen und bei unterschiedlicher Nutzung“.

Ingo Heidbrink (Jahrgang 1968): Studium der Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, mittleren und neueren Geschichte sowie Geographie an der Universität Hamburg (M.A. im Jahr 1994, Promotion 1999). 1995 bis 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter an verschiedenen Schifffahrtsmuseen, zuletzt als Leiter der Abteilung Fischerei am Deutschen Schifffahrtsmuseum in Bremerhaven. Seit 2000 Lehrbeauftragter an den Universitäten Hamburg und Bremen. 2000 bis 2002

Fellow am Hanse-Wissenschaftskolleg in Delmenhorst und Postdoktorand des Doktorandenkollegs mit dem Forschungsthema: „Der Strukturwandel der Fischereistandorte an der Nordsee infolge der Nationalisierung der ökonomischen Nutzungsmöglichkeiten der Nordsee und des Nord-Atlantiks im 20. Jahrhundert“. Seit 2002 Leiter der Abteilung Fischerei am Deutschen Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven.

Oliver Höpfner (Jahrgang 1970): Studium der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Bremen (Diplom im Jahr 1996). Ergänzungsstudium an der Universität Bremen im Fachbereich Politikwissenschaft mit dem Themenschwerpunkt „Öffentliche Verwaltung“. Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Die Geschichte der Nutzungskonflikte und der Nutzungsregulierungen im Küstengebiet Nordsee“.

Marcus Ladineo (Jahrgang 1969): Studium der Psychologie an der Universität Bremen mit den Schwerpunkten Umweltpsychologie und Methodik (Diplom im Jahr 2000). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Nutzenkonflikte an der Küste – Subjektive Theorien von Sustainable Development.“

Frank Lamy (Jahrgang 1967): Studium der Geologie, Paläontologie, Mineralogie und Geographie an der Universität Münster (Diplom im Jahr 1994, Promotion 1998). 1999 Postdoktorand im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Stoff-Flüsse in marinen Geosystemen“ an der Universität Bremen. 2000/2001 Fellow am Hanse-Wissenschaftskolleg in Delmenhorst und Postdoktorand des Doktorandenkollegs mit dem Forschungsthema: „Die Nordsee unter dem Einfluss natürlicher Klimaschwankungen im Verlauf des Spätholozän: Kalibrierung geologischer Paläoumweltdaten an instrumentelle klimatologische und ozeanographische Zeitreihen“. Seit 2002 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen.

Jürgen Meyerdirks (Jahrgang 1965): Studium der Biologie an der Universität Bremen mit dem Schwerpunkt aquatische Ökologie (Diplom im Jahr 1999). Seit 1999 Mitarbeit in den interdisziplinären Forschungsprojekten Klimaänderung und Unterweserregion (KLIMU)

sowie Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (KRIM). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Analyse der Klimasensitivität von Gebieten mit besonderer Bedeutung für Natur und Landschaft im Bereich der deutschen Nordseeküste“.

Olaf Mosbach-Schulz (Jahrgang 1962): Studium der Mathematik mit Schwerpunkt Statistik an den Universitäten Oldenburg und Bremen (Diplom im Jahr 1988, Promotion 2000). 1988 bis 1992 Mitglied im Arbeitskreis „Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz, 1995 bis 1999 Mitglied im Steuerkreis des interdisziplinären Forschungsschwerpunkts „Risikokommunikation – Interaktive Entscheidungen über Risiken“ der Universität Bremen, seit 1997 Mitglied im nationalen Arbeitskreis „Probabilistische Expositionsabschätzung“ und seit 2000 Wissenschaftlicher Assistent im Aufgabengebiet „Mathematische Modelle und Methoden im Bereich der Risikoforschung Umwelt und Gesundheit“ am Institut für Statistik des Fachbereichs Mathematik und Informatik der Universität Bremen.

Carolyn Scheurle: Studium der Geographie mit den Nebenfächern Kunstgeschichte und Volkskunde an der Universität Augsburg, Hauptstudium an der Universität Basel mit den Schwerpunkten Chemie und Meteorologie (Diplom im Jahre 1999). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Die Nordsee unter dem Einfluss natürlicher Klimaveränderungen im Spätholozän“.

Claudia Wienberg (Jahrgang 1974): Studium der Geologie mit den Schwerpunkten Meeresgeologie und Paläontologie an der Universität Bremen (Diplom 1999). Forschungsthema innerhalb des Doktorandenkollegs: „Untersuchung von natürlichen und anthropogen bedingten sedimentologischen Prozessen im Küstenraum mit Hilfe akustischer Meßverfahren“.

