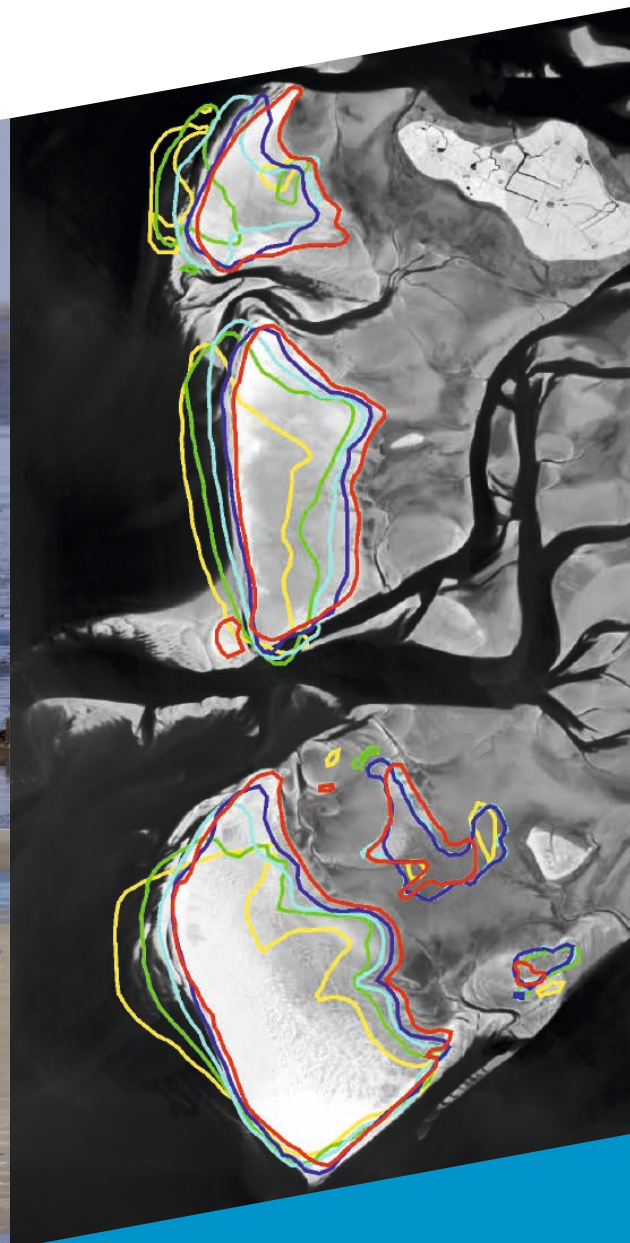


Strategie für das Wattenmeer 2100



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	- 5
Zusammenfassung für Entscheidungsträger	- 6
1. Einführung und Veranlassung	- 9
2. Funktion und Bedeutung des Wattenmeeres	- 10
3. Leitbild und Ziele	- 12
3.1 Leitbild und Entwicklungsziele für das Wattenmeer	- 12
3.2 Handlungsgrundsätze für die Strategie	- 13
4. Betrachtungsraum	- 15
5. Grundlagen	- 18
5.1 Abiotische Grundlagen	- 18
5.1.1 Hydrologie	- 18
5.1.2 Geomorphologische Entwicklung und Sedimentologie	- 20
5.1.3 Morphodynamik	- 22
5.1.4 Temperatur (Luft/Wasser)	- 24
5.1.5 Sonstige abiotische Faktoren (Niederschlag, Nährstoffe, Schadstoffe)	- 28
5.2 Biotische Grundlagen	- 31
5.2.1 Die Lebensräume des Wattenmeeres	- 32
5.2.2 Biologische Merkmale	- 35
5.3 Der Mensch in der Wattenmeerregion	- 44
5.3.1 Die Besiedlungsgeschichte	- 44
5.3.2 Wirtschaftliche Aspekte	- 46
6. Szenarien zur Klimaentwicklung und deren Auswirkungen	- 48
6.1 Die wissenschaftliche Basis	- 48
6.1.1 Klimaprojektionen	- 49
6.1.2 Hydrologische und morphologische Projektionen	- 49
6.1.3 Biologische Szenarien	- 51
6.2 Das gemäßigte Wattenmeer-Szenario (M50 und M100)	- 57
6.3 Das gesteigerte Wattenmeer-Szenario (G50 und G100)	- 59
6.4 Synthese	- 61
7. Bewertung der Szenarien und Anpassungsoptionen	- 62
7.1 Bewertung der Szenarien	- 62
7.2 Rahmen für die Beurteilung von Anpassungsoptionen und der daraus folgenden Maßnahmen	- 64
7.3 Anpassungsoptionen	- 66
7.3.1 Anpassungsoption: Wachsen mit dem Meer – alles dreht sich um das Sediment	- 66
7.3.2 Anpassungsoption: Sicherer Hochwasserschutz für die Menschen	- 68
8. Kenntnislücken, Forschungsbedarf und Datenbereitstellung	- 70
8.1 Morphologische Grundlagen	- 70
8.2 Hydrologische Grundlagen	- 72
8.3 Biologische Grundlagen	- 72
8.4 Begleitende Projekte	- 73
8.5 Übergreifende Ansätze	- 74
9. Schlussfolgerungen und Ausblick	- 75
Anlage 1: Verwendete Quellen	- 78
Anlage 2: Projektstruktur und Projektbeteiligte	- 85



Liebe Leserin, lieber Leser,

Klimawandel und Meeresspiegelanstieg! Diese Begriffe haben sich als große Herausforderungen für die Zukunft der Küsten Schleswig-Holsteins in unseren Köpfen eingepägt. Wenn wir keine nachhaltigen Gegenmaßnahmen treffen, müssen wir spätestens ab der Mitte dieses Jahrhunderts damit rechnen, dass das Wattenmeer sich in eine für uns und für die Natur ungünstige Richtung entwickeln wird. Grund ist in erster Linie der beschleunigte Meeresspiegelanstieg, der letztendlich zu einer immer stärkeren Abnahme von Wattflächen und Salzwiesen im Wattenmeer führen wird.

Unmittelbar an und im schleswig-holsteinischen Wattenmeer leben etwa 150.000 Menschen. Für sie ist das Wattenmeer untrennbarer Teil ihrer Heimat, für viele auch die direkte Lebensgrundlage. Darüber hinaus erfüllt das Wattenmeer mit seinen ausgedehnten Wattflächen und Salzwiesen eine wichtige Schutzfunktion für die bewohnten Küstenniederungen. Während Sturmfluten wird im Wattenmeer ein Großteil der in den Sturmwellen enthaltenen Energie vor Erreichen der Küsten unschädlich gemacht. Ohne diese Wirkung würden die Küstenschutzanlagen erheblich stärkerer Belastungen während Sturmfluten ausgesetzt sein.

Auch zum Schutz seiner außergewöhnlichen Biodiversität – über 10.000 Arten von Einzellern, Pflanzen, Pilzen und Tieren leben hier – wurde das schleswig-holsteinische Wattenmeer bereits 1985 zum Nationalpark erklärt. Wesentliche Gründe für die Auszeichnung zum Weltenerbe waren darüber hinaus die weltweit größten zusammenhängenden Wattflächen und die weitgehend erhaltenen ökologischen und geologischen Prozesse.

Diese Funktionen und Bedeutungen werden infolge des menschengemachten Klimawandels und ohne Gegenmaßnahmen für spätere Generationen verloren gehen. In Anerkennung unserer Verantwortung für Klimawandel und den damit zusammenhängenden Meeresspiegelanstieg sind wir es unseren Kindern schuldig, dass wir uns Gedanken über die Zukunft und Erhaltung unseres Wattenmeeres machen. Deshalb hat die Landesregierung die vorliegende Strategie für das Wattenmeer 2100 beschlossen.

Ziel der Strategie ist die langfristige Erhaltung des Wattenmeeres in seinen Funktionen für Küstenschutz und Naturschutz. Dazu wird es erforderlich, das durch den Meeresspiegelanstieg entstehende Sedimentdefizit auszugleichen. Das fehlende Sediment ist Ursache dafür, dass die Wattflächen und Salzwiesen langfristig schwinden. Wenn genügend Sediment vorhanden wäre, könnten diese Gebiete quasi mit dem Meeresspiegelanstieg mitwachsen. Um dem künftigen Sedimentdefizit nachhaltig zu begegnen ist nach heutigen Erkenntnissen der Import von natürlichen Sedimenten, zum Beispiel von Sand aus der vorgelagerten Nordsee, in das Wattenmeer in Form eines Sedimentmanagements die wichtigste Anpassungsoption. Darüber hinaus wird es jedoch erforderlich bleiben, Anpassungen und Verbesserungen im Küstenhochwasserschutz, insbesondere der Deiche, vorzunehmen.

Die Strategie ist im Rahmen eines zweijährigen Projektes von Fachleuten sowohl aus der Küstenschutz- und Nationalparkverwaltung des Landes Schleswig-Holstein als auch aus nichtstaatlichen Organisationen – Insel- und Halligkonferenz, Schutzstation Wattenmeer und WWF-Deutschland – erstellt worden. Dabei kam es ganz besonders darauf an, dass Naturschutz und Küstenschutz ein gemeinsames Verständnis für das Wattenmeer und die Herausforderungen durch den Klimawandel entwickeln. Dies ist nach meiner Überzeugung gelungen, wofür ich allen Beteiligten ausdrücklich meinen Dank und meine Anerkennung ausspreche. Nun kommt es darauf an, dass gemeinsam die Weichen für spätere Maßnahmen sowohl des Küstenschutzes als auch des Naturschutzes gestellt werden, damit unser Wattenmeer auch noch in 100 Jahren als Kleinod vor unserer Westküste existiert.

Dr. Robert Habeck
Minister für Energiewende,
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume des
Landes Schleswig-Holstein



Zusammenfassung für Entscheidungsträger

Das Wattenmeer ist ein weltweit einmaliger Küstenraum mit vielfältiger Funktion und Bedeutung für Menschen, Tiere und Pflanzen. Die besondere Schönheit und Ästhetik dieser Landschaft prägen das Heimatgefühl der hier lebenden Menschen.

Für die etwa 150.000 Menschen der Region bietet das Wattenmeer einmalige Lebensbedingungen, für viele auch die Lebensgrundlage. Darüber hinaus erfüllt das Wattenmeer eine wichtige Schutzfunktion, weil hier bei Sturmfluten ein Großteil der Seegangsenergie vor Erreichen der Küsten unschädlich gemacht wird. Bereits 1985 wurde das schleswig-holsteinische Wattenmeer zum Nationalpark erklärt. Die weitgehend erhaltenen ökologischen und geologischen Prozesse und die Bedeutung dieses Lebensraumes für die weltweite Biodiversität waren wesentliche Gründe für die Auszeichnung als Weltnaturerbe.

Wissenschaftler rechnen infolge des menschenverursachten Klimawandels noch in diesem Jahrhundert mit einer deutlichen Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs. Für das Wattenmeer stellt ein verstärkter Meeresspiegelanstieg eine besondere Herausforderung dar. Es kann zwar durch Ablagerung von Sedimenten in begrenztem Maße mit dem Meeresspiegel in die Höhe mitwachsen, doch wo sind die Grenzen für diese natürliche Anpassungsfähigkeit? Was passiert, wenn diese Grenzen überschritten werden? Welche Folgen hätte dies für die Ziele des Naturschutzes und für die des Küstenschutzes? Diese Fragen machen deutlich, dass ein Bedarf für Strategien zur langfristigen Erhaltung des charakteristischen Wattenmeeres vor dem Hintergrund des Klimawandels besteht.

In dieser Strategie werden Überlegungen zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume im Wattenmeer und zur Gewährleistung der Sicherheit der Küstenbewohner bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg angestellt. Die Strategie ist im Rahmen eines zweijährigen Projektes von Fachleuten sowohl aus der Küstenschutz- und Nationalparkverwaltung des Landes Schleswig-Holstein als auch aus nichtstaatlichen Organisationen – Insel- und Halligkonferenz, Schutzstation Wattenmeer und WWF – erstellt worden. Begleitet wurden die Arbeiten durch einen Beirat, um auch Erfahrungen und Kenntnisse eines erweiterten Kreises von regionalen Institutionen und Wissenschaftlern in die Projektarbeit einfließen zu lassen.

Zentrale Elemente der Strategie sind das gemeinsam formulierte Leitbild und die zugehörigen Entwicklungsziele für das Wattenmeer, wie sie in **Kapitel 3** beschrieben sind.

Das Wattenmeer ist in seiner Einzigartigkeit mit seiner charakteristischen Dynamik entsprechend der Nationalpark-Zielsetzung, der Weltnaturerbe-Anerkennung und in seiner Funktion für den Schutz der Küste und für den Menschen zu erhalten.

Zur Erfüllung dieser Verantwortung verwirklichen Naturschutz und Küstenschutz gemeinsam folgende langfristige Entwicklungsziele:

- Die Schutzfunktion des Wattenmeeres als Energie-Umwandlungszone zur Gewährleistung der Sicherheit der Insel-, Hallig- und Festlandsküsten bleibt erhalten.
- Die Inseln und Halligen werden als wesentliche Strukturen des Wattenmeeres sowie als Kulturraum der Menschen erhalten.
- Die dynamischen Entwicklungsmöglichkeiten der charakteristischen Wattenmeer-Strukturen und Lebensräume mit ihren charakteristischen Arten werden zur Wiederherstellung oder Wahrung eines günstigen Erhaltungszustands gewährleistet.
- Die ökologischen Funktionen des Wattenmeeres werden erhalten.
- In der gesamten Wattenmeer-Region, die auch die an das Wattenmeer angrenzenden Festlands-, Meeres- und Ästuargebiete einschließt, wird eine nachhaltige Entwicklung erreicht, die im Einklang mit den Schutzzielen des eigentlichen Wattenmeeres über das Jahr 2100 hinaus den Schutz, die Lebensqualität und die Gestaltungsmöglichkeiten der Menschen sichert.

Nach einer Beschreibung und Festlegung des Betrachtungsraumes für die Strategie in **Kapitel 4** werden im darauffolgenden **Kapitel 5** die hydrologischen, geologischen und biologischen Verhältnisse im Wattenmeer ausführlich dargestellt. Ebenfalls wird hier der Einfluss des Menschen als prägender und integraler Bestandteil dieser Landschaft beschrieben. Aus diesem Kapitel geht zum einen hervor, welche komplexe Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten zwischen den abiotischen und biotischen Komponenten des Wattenmeeres existieren. Weiterhin wird deutlich, dass Sedimente und ihre Verfügbarkeit die zentrale Herausforderung – aber auch die Chance – für die langfristige Erhaltung des Wattenmeeres bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg bilden.

Wie das Wattenmeer sich infolge des Klimawandels künftig entwickeln könnte, wird in **Kapitel 6** für zwei Klimaszenarien auf der Basis des fünften Weltklimaberichtes der UNO sowie für zwei Zeithorizonte 2050 und 2100 dargestellt. Beide Szenarien, ein gemäßigt und ein gesteigertes, beschreiben künftige Entwicklungen, in denen sich das

Wattenmeer – ohne entsprechende Anpassungsmaßnahmen – im hydromorphologischen und biologischen Sinne stark wandeln wird. Das gemäßigte Szenario setzt eine weltweite Reduzierung der Treibhausgasemissionen voraus. Dann wird projiziert, dass die Temperatur von Luft und Wasser bis zur Mitte des Jahrhunderts um 1,4 °C, bis zum Ende um 1,8 °C steigt. Der Wasserspiegel erhöhte sich um 0,2 bzw. 0,5 Meter. Das gesteigerte Szenario geht von unverändert hohen Treibhausgasemissionen aus. Das hätte eine Erwärmung von Luft- und Wasser um 1,8 °C bis 2050 bzw. um 3,7 °C bis 2100 zur Folge. Der Meeresspiegel stiege nach diesem Szenario noch in diesem Jahrhundert um 0,8 Meter. Der Unterschied zwischen beiden Szenarien ist im Wesentlichen der Zeitfaktor. Während im gemäßigten Szenario erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts mit stärkeren Änderungen zu rechnen ist, finden im gesteigerten Szenario schon zur Mitte des Jahrhunderts wesentliche Änderungen statt. Die Szenarien zeigen sowohl für den Küstenschutz infolge erhöhter hydrologischer Belastungen der Küsten und Küstenschutzanlagen wie auch für den Naturschutz durch Abnahme und Veränderungen der das Wattenmeer prägenden Strukturen, Funktionen und Biodiversität die Herausforderungen auf, die auf Gesellschaft und Land zukommen, um das Wattenmeer zu erhalten.

In **Kapitel 7** werden – nach einer Bewertung der Szenarien aus Sicht des Küsten- und Naturschutzes – Anpassungsoptionen beschrieben. Die Bewertungen zeigen auf, dass spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts Anpassungsmaßnahmen zur Erhaltung des Watten-

meeres im Sinne der Zielsetzung erforderlich werden. Um dabei die dynamische Anpassungsfähigkeit des Wattenmeeres im Klimawandel nicht einzuschränken, sind diese so zu wählen, dass sie sich in die natürlichen Prozesse und Entwicklungen einfügen. Als Rahmen für die Entwicklung von konkreten Maßnahmen wurden nachfolgende Anpassungsoptionen formuliert:

- **Sediment-Management:** Voraussetzung für den Erhalt des Wattenmeeres ist es, das durch den Meeresspiegelanstieg entstehende Sedimentdefizit im Wattenmeer auszugleichen. Das „Wachsen mit dem Meer“ spielt eine entscheidende Rolle für die hydro-morphodynamische Entwicklung des Wattenmeeres und damit für den Naturhaushalt und die Stabilität der Küsten. Daher ist das Einbringen von Sand aus der vorgelagerten Nordsee und ggf. aus weiteren geeigneten externen Quellen nach heutigen Erkenntnissen die wichtigste Anpassungsoption. Während dies die entscheidende großräumige Anpassungsoption ist, kann Sedimentmanagement auch helfen, bei lokalem Anpassungsbedarf die Maßnahmen so zu gestalten, dass sie den gemeinsamen Zielen gerecht werden.
- **Technischer Hochwasserschutz:** Darüber hinaus bleibt es erforderlich, Anpassungen und Verbesserungen im Küstenhochwasserschutz, insbesondere der Deiche, vorzunehmen. Hierfür ist auch auf Erfahrungen und Möglichkeiten aus anderen Bereichen des Wattenmeeres und vergleichbarer Küstenabschnitte zurückzugreifen.



Abb. 1: Salzwiesen vor Westerhever mit Leuchtturm (Foto: J. Hofstede / MELUR)

- Schließlich müssen **Kommunikation, Raumplanung, Denkmalschutz und Bewusstseinsbildung** die Strategie als Querschnittsaufgaben von Beginn an in der Umsetzung begleiten.

Nach einer Beschreibung von Kenntnislücken und Forschungsbedarf in **Kapitel 8** werden darauf aufbauend schließlich in **Kapitel 9** weitere Aktivitäten, die sich kurz- und mittelfristig aus der Strategie ergeben, beschrieben:

- **Kompodium.** Für die Umsetzung der Strategie relevantes Wissen über das schleswig-holsteinische Wattenmeer soll in einem Kompodium gesammelt, internetbasiert zur Verfügung gestellt und regelmäßig aktualisiert werden.
- **Überwachungsprogramm.** Die bereits bestehenden hydro-morphologischen und biologischen Messprogramme der Natur- und Küstenschutzverwaltungen sollen zur Früherkennung von Entwicklungen infolge des Klimawandels im Wattenmeer optimiert bzw. weiterentwickelt werden.
- **Wattenmeer-Modell.** Für die Ermittlung der morphologischen Entwicklung im Wattenmeer, unter anderem zur Erkennung von Sedimentdefiziten und zur Projektion künftiger Änderungen, soll ein Wattenmeer-Modell mit relevanten Komponenten aufgebaut und gepflegt werden.
- **Sediment-Managementkonzept.** Bereits heute nutzt der Küstenschutz für viele Maßnahmen im Wattenmeer Sediment, zum Beispiel für Deichverstärkungen und für die Küstensicherung auf Sylt. Auf Grundlage der Festlegung, dass Küstenschutzmaßnahmen einem Sedimentmangel im Wattenmeer keinen Vorschub leisten dürfen, sind zukunftsweisende und nachhaltige Lösungen zur Deckung dieses Sedimentbedarfes zu entwickeln und in einem Sedimentmanagementkonzept festzuschreiben.
- **Pilotprojekte.** Im schleswig-holsteinischen Wattenmeer sollen Pilotprojekte zum Sedimentmanagement initiiert werden, um Erfahrungen für zukünftige Maßnahmen zu gewinnen. Weitere Projekte ergeben sich aus Kapitel 8.

Der Prozess der Erarbeitung der Strategie für das Wattenmeer 2100 von den ersten Ideen bis zum Abschlussbericht hat gezeigt, dass ein gemeinsames Verständnis von Küsten- und Naturschutz für die Erhaltung und Entwicklung des Wattenmeeres zum Wohl der Natur und der Menschen vorhanden ist.

Aus der Strategie lassen sich die folgenden Kernbotschaften ableiten:

1. **Das Wattenmeer wird sich ohne Maßnahmen grundlegend ändern.**
2. **Das Wattenmeer soll langfristig erhalten bleiben.**
3. **Gemeinsames Handeln ist erforderlich.**

Das Wattenmeer wird sich – wenn keine wirksamen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen getroffen werden – spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts infolge des menschenverursachten beschleunigten Meeresspiegelanstiegs **grundlegend verändern**. Zunehmende Sedimentdefizite im Wattenmeer werden zu Beeinträchtigungen der Sicherheit der Küstenbevölkerung vor Sturmfluten führen und starke Änderungen der charakteristischen Eigenschaften, aufgrund derer das Wattenmeer zu Nationalpark und Weltnaturerbe wurde, bewirken.

Das Wattenmeer soll mit seinen Funktionen für Natur- und Küstenschutz sowie möglichst auch in seiner Größe **langfristig erhalten bleiben**. Dabei hat die Sicherheit der Küstenbevölkerung oberste Priorität. Ein wirksamer globaler Klimaschutz ist hierfür die wichtigste Voraussetzung. In der Region sind jedoch zusätzlich Klimaanpassungsmaßnahmen erforderlich. Nach heutigen Kenntnissen ist ein Sedimentmanagement dafür die wichtigste Option. Daraus folgt:

- Bei Küstenschutzmaßnahmen ist bereits heute darauf zu achten, dass sie einem Sedimentmangel im Wattenmeer keinen Vorschub leisten. Wünschenswert wäre es, wenn solche Maßnahmen im Gegenteil zu einer Zunahme des Sediments führten.
- Neben den notwendigen Anpassungen des Hochwasserschutzes sind weitere Anpassungsmaßnahmen unumgänglich, vor allem durch Sedimentmanagement. Alle Maßnahmen sind ökologisch verträglich und nachhaltig unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer und kultureller Aspekte zu gestalten.
- Obwohl noch genug Zeit für die Vorbereitung solcher Maßnahmen verbleibt, müssen die fachlichen Grundlagen durch Messprogramme, unter anderem als Frühwarnsystem, und durch Pilotprojekte verbessert werden.
- Aufwand und Kosten für die Erhaltung des Wattenmeeres werden sich unvermeidlich erhöhen.

Gemeinsames Handeln ist erforderlich, um das Wattenmeer zu erhalten. Die weiteren Schritte aus der Strategie sollen partnerschaftlich zwischen Küstenschutz und Naturschutz sowie mit aktiver Beteiligung der Region angegangen werden. Basierend auf der Strategie für das Wattenmeer 2100 sollen gemeinsam die Weichen für spätere Maßnahmen sowohl des Küstenschutzes als auch des Naturschutzes gestellt werden.

1. Einführung und Veranlassung

Infolge des menschenverursachten Klimawandels ist noch in diesem Jahrhundert mit einer Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs zu rechnen. Über die Höhe des Anstiegs und die möglichen Konsequenzen für unsere Küsten wird intensiv und teilweise kontrovers diskutiert. Für das Wattenmeer als weltweit einmaligen Küstenraum mit vielfältiger Funktion und Bedeutung für Menschen, Tiere und Pflanzen stellt ein verstärkter Meeresspiegelanstieg eine besondere Herausforderung dar. Es kann zwar in begrenztem Maße mit dem Meeresspiegel mitwachsen, indem besonders bei tide- und wetterbedingten Überflutungen Sedimente dauerhaft abgelagert werden oder auf den sandigen Inseln durch den Wind Dünen aufgebaut werden und anwachsen. Doch wo sind die Grenzen bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg? Was passiert danach? Und welche Folgen hätte dies für die Ziele des Naturschutzes und des Küstenschutzes?

Diese Fragen machen deutlich, dass hier große Ungewissheiten bestehen. Verbesserte Kenntnisse sind die Voraussetzung dafür, dass - wo erforderlich - nachhaltige Maßnahmen zum Schutz und zur Erhaltung des Wattenmeeres sowie zum Schutz der Menschen an der Küste abgeleitet werden können. Dabei kommt es ganz besonders darauf an, dass Naturschutz und Küstenschutz ein gemeinsames Verständnis für das Wattenmeer und die Herausforderungen durch den Klimawandel entwickeln. Ziel ist die Erhaltung des charakteristischen Wattenmeeres mit seinen vielfältigen Bedeutungen für Naturschutz und Küstenschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. Bei zu entwickelnden Anpassungsmaßnahmen hat der Anspruch der Küstenbewohner an ihre Sicherheit Vorrang, doch sind die Maßnahmen mit der Vision des Wattenmeerschutzes „Natur Natur sein lassen“ und mit der Erhaltung der natürlichen Vielfalt im geschützten Wattenmeer so weit wie möglich abzugleichen. Um beiden Anliegen entsprechen zu können, werden neben bewährten Verfahren auch innovative Konzepte benötigt, die den Auswirkungen des beschleunigten Meeresspiegelanstieges naturverträglich begegnen können.

Die Grundlagen für solche Konzepte werden in dieser „Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100“ festgelegt. Sie sollen künftig bei allen Maßnahmen des Küstenschutzes und des Naturschutzes im schleswig-holsteinischen Wattenmeer berücksichtigt werden. Wichtig ist dabei die Feststellung, dass Naturschutz und Küstenschutz im und am Wattenmeer so bedeutsam sind, dass eine nationale und europäische Mitverantwortung besteht.

Bei der Erstellung der Strategie konnte auf vielfältige wissenschaftliche Quellen sowie auf umfassende Erkennt-



Abb. 2: Historische Sturmflutmarken in Tönning (Foto: J. Hofstede / MELUR)

nisse, die unter anderem im Rahmen der Arbeiten der AG Niederungen 2050, der AG Halligen 2050 und der Biosphäre Halligen erlangt wurden, zurückgegriffen werden. In den Niederlanden wurde parallel zur Entwicklung der Wattenmeerstrategie 2100 eine vergleichbare Strategie für das dortige Wattenmeer entwickelt, die ebenfalls berücksichtigt wurde. In einem ausführlichen Quellenverzeichnis (Anlage 1) werden die für die Erstellung dieser Strategie genutzten Veröffentlichungen aufgelistet.

In diesem Bericht werden strategische Überlegungen zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume und Lebensbedingungen im Wattenmeer und zur Gewährleistung der Sicherheit der Küstenbewohner bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg angestellt. Obwohl der Fokus somit auf Naturschutz und Küstenschutz liegt, werden auch sozio-ökonomische Aspekte berücksichtigt.

Die Strategie ist im Rahmen eines zweijährigen Projektes von Fachleuten sowohl aus der Küstenschutz- und Nationalparkverwaltung des Landes Schleswig-Holstein als auch aus nichtstaatlichen Organisationen - Insel- und Halligkonferenz, Schutzstation Wattenmeer und WWF - erstellt worden (Anlage 2). Begleitet wurden die Arbeiten durch einen Beirat, um Erfahrungen und Kenntnisse auch von einem erweiterten Kreis von regionalen Institutionen und Wissenschaftlern in die Projektarbeit einfließen zu lassen.

2. Funktion und Bedeutung des Wattenmeeres

Das Wattenmeer in seinem heutigen Zustand ist ein weltweit einmaliger Küstenraum mit vielfältiger Funktion und Bedeutung für Menschen, Tiere und Pflanzen. Die besondere Schönheit und Ästhetik dieser Landschaft prägen das Heimatgefühl der hier lebenden Menschen.

Im geologischen Sinne ist das Wattenmeer ein einmaliges Beispiel für eine junge sandige Gezeitenküste, die sich im Laufe des nacheiszeitlichen Meeresspiegelanstieges mit starkem Sedimenteintrag entwickelt hat und durch ständige Materialumlagerungen und entsprechende Verlagerung von Strukturen gekennzeichnet ist. Diese weitgehend noch ungestört verlaufende intensive Morphodynamik wird durch ein komplexes Zusammenspiel von Tide-, Seegangs- und Triftströmungen bei einem moderaten Meeresspiegelanstieg verursacht. In der Folge zeichnet sich das Wattenmeer als langfristige Sedimentsenke durch die weltweit größten

zusammenhängenden intertidalen Wattgebiete aus; ein wesentlicher Grund für die Auszeichnung als UNESCO Weltnaturerbe.

Das Wattenmeer mit seinen Tiderinnen, ausgedehnten Wattflächen, Ebb-Deltas, Barriere-Inseln und Salzwiesen wirkt als gigantisches Küstenfiltersystem. Gewaltige Mengen an mineralischen Sedimenten sowie organischen Stoffen und Nährstoffen werden durch die oben genannten hydrologischen Kräfte erodiert, transportiert und bei nachlassender Strömungsgeschwindigkeit wieder abgelagert. Diese Ablagerungen bilden die Basis des enormen Nahrungsangebotes und sind damit der „Treibstoff“ für eine außergewöhnlich hohe Primär- und Sekundärproduktion. Insgesamt wird geschätzt, dass das Wattenmeer Lebensräume für bis zu 10.000 Arten von Einzellern, Pflanzen, Pilzen und Tieren bietet. Besonders durch seine Funktion für Vögel auf dem Ostatlantischen Zugweg und



Abb. 3: Landunter auf der Hallig (Foto: J. Hofstede / MELUR)

für andere wandernde Tierarten hat das Wattenmeer herausragende Bedeutung für die Erhaltung der Artenvielfalt in lokaler und globaler Hinsicht. Auch zum Schutz dieser Biodiversität wurde das schleswig-holsteinische Wattenmeer bereits 1985 zum Nationalpark erklärt. Die weitgehend erhaltenen ökologischen Prozesse und der Beitrag zur Erhaltung der weltweiten Biodiversität waren weitere wesentliche Gründe für die Auszeichnung als Weltnaturerbe.

Nicht nur für Flora und Fauna, auch für die Menschen bietet das Wattenmeer einmalige Lebensbedingungen. In Schleswig-Holstein wohnen etwa 32.000 Menschen auf den Inseln und Halligen sowie weitere 125.000 Menschen in den Küstenmarschen entlang der Festlandsküste. Der Lebensraum Wattenmeer spiegelt als gemeinsames kulturelles Erbe die Auseinandersetzungen wider, den seine an Land und Wasser angepasste Gesellschaft schon immer mit dieser reichen und fruchtbaren, wenn auch gefährvollen, vom Meer geprägten Umwelt führte und auch heute noch führt. Dabei mussten in den vergangenen Jahrhunderten auch immer wieder Rückschläge bei dem Versuch, sich vor den zerstörerischen Kräften des Meeres zu schützen, hingenommen werden. So ist das nordfriesische Wattenmeer in seiner heutigen Gestalt erst nach verheerenden Meereseinbrüchen im Mittelalter entstanden. Als weltweit einmaliges und bedeutsames Kulturerbe kann die Halligwelt bezeichnet werden, wo fast 300 Menschen in sehr exponierter Lage auf 32 Warften leben.

Neben seiner Funktion als Lebensraum ist das Wattenmeer Lebensgrundlage vieler Menschen. Direkt vom Wattenmeer abhängige Arbeitsplätze wie Küstenfischer, Mitarbeiter der Fährbetriebe oder auch Küstenschutz- und Nationalparkmitarbeiter sind ebenso zu nennen wie die vielen Arbeitsplätze im Tourismussektor, die zumindest indirekt von einem funktionierenden Ökosystem Wattenmeer abhängen. Das Wattenmeer besitzt durch die noch weitgehend ungestörte Natur, die Weite seiner Landschaft, durch die Ruhe und seine saubere jodhaltige Luft einen großen Erholungswert. In zahlreich angebotenen geführten Wattwanderungen werden die Besonderheiten dieses Naturraums von erfahrenen Wattführern erlebbar gemacht.

Das Leben und die Unversehrtheit der in der Region lebenden Menschen sind das höchste Gut, das nachhaltig vor den Gefahren durch Sturmfluten zu schützen ist. Das Wattenmeer hat diesbezüglich eine wichtige Funktion, indem in diesem Flachwasserbereich ein Großteil der mit einer Sturmflut einhergehenden Seegangsenergie

vor Erreichen der Inseln, Halligen und des Festlandes in Reibungsenergie umgesetzt und damit unschädlich gemacht wird. Entsprechend reduziert sich die Belastung der Küsten und der Hochwasserschutzanlagen während der Sturmfluten. Salzwiesen bzw. Deichvorländer erhalten eine zusätzliche Bedeutung, indem sie die Menge des in die Niederungen einströmenden Wassers bei einem Deichbruch und damit die zu erwartenden Schäden an Leib und Gut wesentlich verringern.

Das Wattenmeer erlangt in Anbetracht seiner Funktion als holozäne Sedimentsenke auch Bedeutung für die Entfernung von Schadstoffen aus der Umwelt. Die über die Luft und die Flüsse in das System eingetragenen Schadstoffe werden hier langfristig in die Sedimentablagerungen eingebunden.

Die hohe Dynamik mit ständigen Formänderungen bietet umfassende Gelegenheit für die Erforschung von komplexen hydrologisch-geomorphologisch-biologischen Wechselbeziehungen und Prozessen. Die exponierten Lebensbedingungen haben zu einmaligen Entwicklungen geführt, die ein reiches Feld für soziologische, historische und kulturelle Forschungen bieten. Nicht zuletzt ist das hochdynamische Wattenmeer als Hotspot des Klimawandels ein Untersuchungsgebiet im Sinne der Klima-Anpassung.

3. Leitbild und Ziele

3.1 Leitbild und Entwicklungsziele für das Wattenmeer

Die Wattenmeer-Region ist eine einzigartige Küstenlandschaft, ein von natürlicher Dynamik und biologischer Vielfalt geprägtes Ökosystem und ein einmaliger Siedlungsraum mit langer, wechselvoller Geschichte. Diese Region gilt es als unsere Heimat und als einzigartigen Naturraum dauerhaft und nachhaltig zu erhalten.

Das **Weltnaturerbe Wattenmeer** bildet die weltweit größte zusammenhängende Fläche von Schlick- und Sandwatten, charakterisiert durch natürliche dynamische Prozesse geologischer, geomorphologischer und biologischer Art. Hierauf gründen eine außergewöhnlich hohe biologische

Produktion, eine große Artenvielfalt mit einem hohen Maß an ökologischer Spezialisierung und Anpassungsfähigkeit. Bezeichnend ist dabei, dass diese Vorgänge weitgehend ungestört ablaufen. Im Wattenmeer werden nicht nur Pflanzen und Tiere geschützt, sondern vor allen Dingen natürliche Prozesse. In dem als Nationalpark geschützten Gebiet besitzt die Gesamtheit der Natur in ihrer natürlichen Entwicklung mit allen Pflanzen, Tieren und Ökosystemen einen zu schützenden Eigenwert. Das Land Schleswig-Holstein trägt somit eine große Verantwortung für eine der letzten Naturlandschaften Europas und für ein Weltnaturerbe.

Die **Wattenmeer-Region** ist Beispiel einer von Meeresvorstößen und Eindeichungen geprägten Küstenlandschaft, die über Jahrtausende im Zusammenspiel von Natur und



Abb. 4: Natürliche Prozesse prägen das Wattenmeer (Foto: J. Hofstede / MELUR)

Mensch entstanden ist. Sie ist Heimat zehntausender Menschen. Die wechselvolle Siedungsgeschichte spiegelt sich auch heute noch als kulturelles Erbe in der Auseinandersetzung der Menschen mit der Nordsee wider. Der Schutz der Menschen und ihres Siedlungsraumes hat vor diesem Hintergrund eine große und vorrangige Bedeutung. Dem Wattenmeer mit seinen Flachwasserbereichen kommt als Energieumwandlungszone eine herausragende Bedeutung für den Schutz von Inseln, Halligen und der Festlandsküste und damit für den flächenhaften Küstenschutz zu. Die Aufrechterhaltung der beschriebenen Funktionen in Zeiten des Klimawandels ist unsere gemeinsame Verantwortung.

Das Wattenmeer ist von den Folgen des Klimawandels und des Meeresspiegelanstiegs besonders betroffen. Dies gilt sowohl für seine natürlichen Werte als auch für Sicherheit und Zukunft der Menschen in dieser Region.

Ziel des Landes ist es, das Wattenmeer in seiner Einzigartigkeit mit seiner charakteristischen Dynamik entsprechend der Nationalpark-Zielsetzung, der Weltnaturerbe-Anerkennung und in seiner Funktion für den Schutz der Küste und für den Menschen zu erhalten.

Zur Erfüllung dieser Verantwortung verwirklichen Naturschutz und Küstenschutz gemeinsam folgende langfristige Entwicklungsziele:

- Die Schutzfunktion des Wattenmeeres als Energie-Umwandlungszone zur Gewährleistung der Sicherheit der Insel-, Hallig- und Festlandsküsten bleibt erhalten.
- Die Inseln und Halligen werden als wesentliche Strukturen des Wattenmeeres sowie als Kulturraum der Menschen erhalten.
- Die dynamischen Entwicklungsmöglichkeiten der charakteristischen Wattenmeer-Strukturen und Lebensräume mit ihren charakteristischen Arten werden zur Wiederherstellung oder Wahrung eines günstigen Erhaltungszustands gewährleistet.
- Die ökologischen Funktionen des Wattenmeeres werden erhalten.
- In der gesamten Wattenmeer-Region, die auch die an das Wattenmeer angrenzenden Festlands-, Meeres- und Ästuargebiete einschließt, wird eine nachhaltige Entwicklung erreicht, die im Einklang mit den Schutzzielen des eigentlichen Wattenmeeres über das Jahr 2100 hinaus den Schutz, die Lebensqualität und die

Gestaltungsmöglichkeiten der Menschen sichert.

Nur wenn es gelingt, die Ziele von Umweltschutz, Naturschutz und Küstenschutz zur Erhaltung des Wattenmeeres weitestmöglich miteinander in Einklang zu bringen, besteht die Chance, den negativen Veränderungen und Risiken durch einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg erfolgreich zu begegnen.

Dann können die Menschen in Sicherheit sowie mit Stolz und in Wahrnehmung ihrer Verantwortung für ein globales Weltnaturerbe auf lange Sicht in der Wattenmeer-Region leben und arbeiten, und für die Besucher des Wattenmeeres bleibt es ein Ort der Erholung und eine Naturschule mit umfassenden Möglichkeiten zum Lernen und Erleben.

3.2 Handlungsgrundsätze für die Strategie

Natur- und Küstenschutz verfolgen im Wattenmeer originär unterschiedliche Ziele. Auch die fachlichen Grundlagen werden häufig getrennt erfasst, bewertet und verwaltet. Daraus resultiert ein unterschiedliches Verständnis zur Funktion und zu den ablaufenden Prozessen im Wattenmeer.

Zugleich befinden sich beide Fachdisziplinen jedoch oft in einer engen Arbeitsbeziehung und sind vor allem dadurch vereint, dass sie das Wattenmeer im Sinne der Integrität des Welterbes erhalten wollen und müssen: zum einen wegen seiner hohen Bedeutung für die Natur, zum anderen wegen seiner großen Wirksamkeit für die Sicherheit der Küstenbewohner.

Die für Natur und Mensch wichtige Erhaltung des Wattenmeeres wird durch den beschleunigten Meeresspiegelanstieg jedoch erheblich erschwert. Es ist daher für alle von großem Vorteil, auch im Hinblick auf die knapper werdenden finanziellen Ressourcen, die Anstrengungen in den dafür geeigneten Bereichen zu bündeln.

Um die in Kapitel 3.1 formulierten gemeinsamen Ziele für das Wattenmeer zu erreichen, stimmen alle an der Strategie Beteiligten folgenden Handlungsgrundsätzen zu:

1. In einem gemeinsamen transparenten fach- und interessenübergreifenden Prozess hat eine Projektgruppe, unterstützt von einem Beirat, eine Strategie für das Wattenmeer 2100 erarbeitet. Dabei wurden die gesetzlichen Ziele für das Wattenmeer sowie das Wis-



Abb. 5: Westküste von Sylt (Foto: J. Hofstede / MELUR)

- sen und die Interessen von Anwohnern, Verbänden, Institutionen und wissenschaftlichen Einrichtungen berücksichtigt.
2. Im Rahmen der Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100 wurden von den verschiedenen Fachdisziplinen auf der Grundlage eines gemeinsamen Verständnisses die Kriterien und Indikatoren einvernehmlich formuliert, die zur Bewertung der Veränderung des Wattenmeeres heranzuziehen sind.
 3. Bereits im Rahmen der Erarbeitung der Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100 wurden erste Initiativen ergriffen, um erkannte Lücken in Wissen und Erfahrungen, die für die Entscheidungen im Strategiepapier selbst ebenso wie für den folgenden Management- bzw. Fachplan von großer Bedeutung sind, durch Monitoringprogramme, Pilotprojekte oder Forschungsinitiativen zu beheben. Monitoring und Forschungsprojekte sind kontinuierlich erforderlich, um Wissen über das Wattenmeer und den Küstenschutz zu schaffen und bereitzustellen.
 4. Die Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100 ist eine entscheidende Grundlage für die gemeinsamen weiteren fachlichen Planungen im schleswig-holsteinischen Wattenmeer.

4. Betrachtungsraum

Das der Festlandsküste der Nordsee vorgelagerte Wattenmeer setzt sich aus Inseln, Halligen, Sänden, Salzwiesen, Watten, Prielsystemen, Ebb-Deltas und Seegats zusammen (Abb. 6). Durch Tideströmungen und Brandungsströmungen werden ständige Sedimentumlagerungen hervorgerufen.

Entscheidendes Kriterium für die Widerstandsfähigkeit des Wattenmeeres im Hinblick auf den Klimawandel und einen von diesem mitbeeinflussten Meeresspiegelanstieg ist die fortbestehende natürliche Versorgung des Naturraumes mit Sedimenten aus der Nordsee. Bislang wird davon ausgegangen, dass das Wattenmeer in einem gewissen Umfang auf die Auswirkungen des Klimawandels, der sich mit zunehmenden Wasserständen, Wellenhöhen, Windgeschwindigkeiten und Strömungen äußern kann, zu reagieren imstande ist. Bis zu einem gewissen Grad ist dabei damit zu rechnen, dass die morphodynamischen und biologischen Prozesse sich ungehindert anpassen können.

Für die langfristige Planung nachhaltiger Strategien und Maßnahmen zur Erhaltung des Wattenmeeres sind vor dem Hintergrund des Meeresspiegelanstiegs daher grundlegende Kenntnisse vor allem hydro- und geomorphologischer Abläufe erforderlich. Darüber hinaus spielen signifikante Änderungen der Wind- und Strömungsverhältnisse eine wichtige Rolle bei der Ausbildung von Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres.

Das schleswig-holsteinische Wattenmeer ist Teil des grenzüberschreitenden trilateralen Wattenmeeres, das sich von Blåvandshuk in Dänemark bis zur Insel Texel in den Niederlanden auf einer Fläche von etwa 14.000 km² erstreckt. Es bildet die weltweit größten zusammenhängenden Wattflächen und repräsentiert eines der wichtigsten internationalen Feuchtgebiete. Die Eintragung des Wattenmeeres in die Welterbe-Liste der UNESCO beruht auf dem einzigartigen universellen Wert dieses Gebietes und seiner Unversehrtheit. Im Wattenmeer können natürliche Prozesse noch in einem weitgehend ungestör-

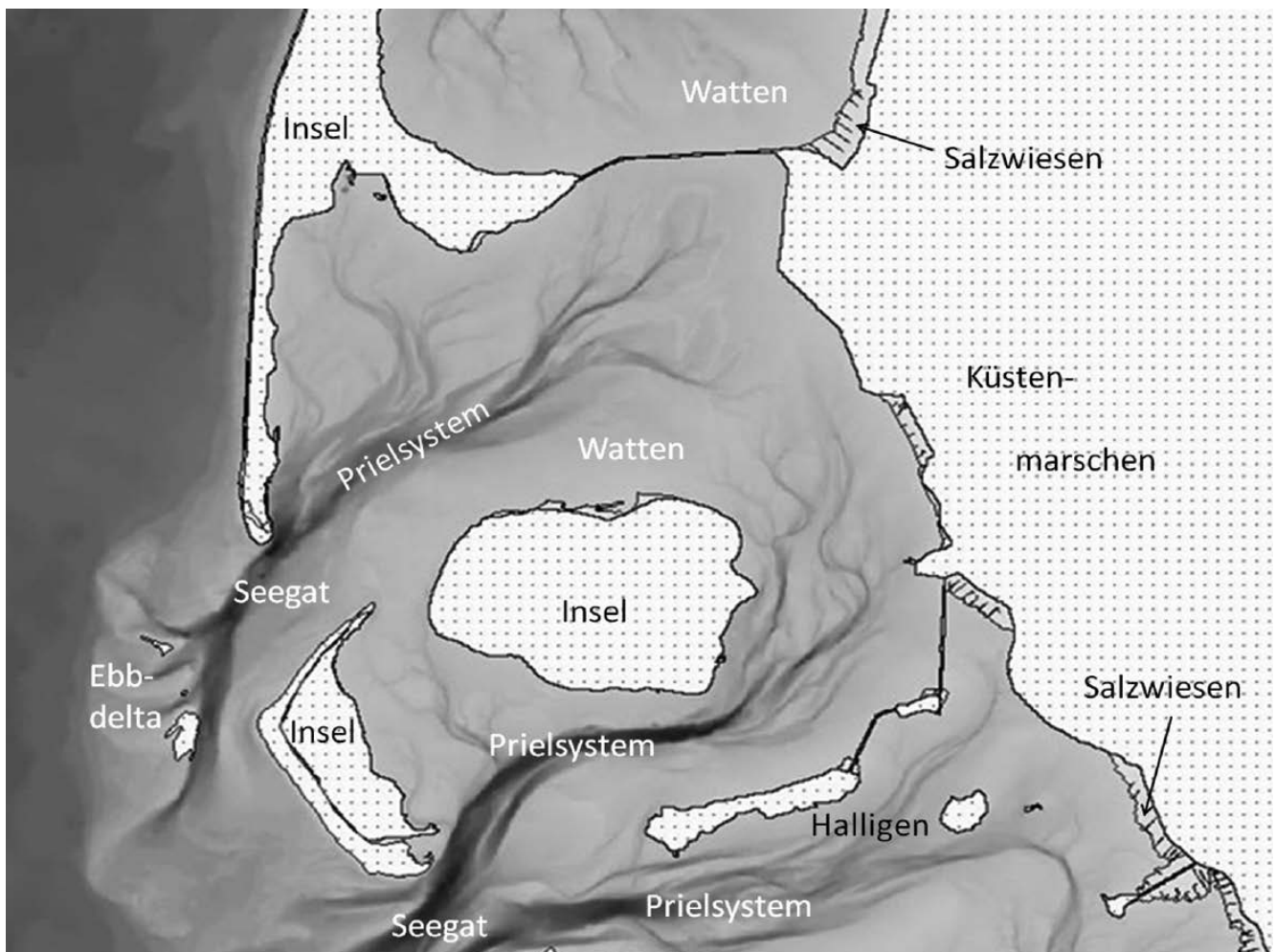


Abb. 6: Landschaftsformen im Wattenmeer

ten Naturzustand ablaufen. Von den vier Teilregionen des trilateralen Wattenmeeres (Niederlande, Niedersachsen/Hamburg, Schleswig-Holstein und Dänemark) ist das schleswig-holsteinische Wattenmeer das größte Teilgebiet und umfasst mehr als ein Drittel des Gesamtgebietes. Im Rahmen der trilateralen Zusammenarbeit zum Schutz des Wattenmeeres werden seit vielen Jahren Aspekte von Küstenschutz und Meeresspiegelanstieg grenzüberschreitend diskutiert und bewertet, zuletzt erweitert auch um Fragen der Raumordnung und Landesplanung. Die Ergebnisse dieser trilateralen Arbeit sind in die schleswig-holsteinische Wattenmeer-Strategie eingeflossen.

Für die Erhaltung des Wattenmeeres und seiner Qualität spielen verschiedene europäische Umweltrichtlinien eine entscheidende Rolle, insbesondere die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die Meeresschutzrichtlinie (MSRL) und die Hochwassermanagementrichtlinie (HWRL). Das Wattenmeer ist zudem nahezu flächende-

ckend als Natura 2000-Gebiet nach der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie und der EU-Vogelschutzrichtlinie ausgewiesen. Diese Richtlinien bilden europarechtlich den Rahmen für die Erarbeitung der Strategie.

Um die geschilderten Bedingungen im Rahmen dieser Strategie für das schleswig-holsteinische Wattenmeer naturräumlich ausreichend zu berücksichtigen, ist der Betrachtungsraum in einem planerisch begründeten Umfang abzugrenzen. Diese Abgrenzung kann naturräumlich gesehen nicht starr sein, sondern muss die bestehenden komplexen natürlichen und anthropogenen Wechselwirkungen mit angrenzenden Lebensräumen berücksichtigen. Dies ist insbesondere bei der seeseitigen und landseitigen Begrenzung von Bedeutung. Die nördliche und die südliche Abgrenzung des Betrachtungsraumes orientieren sich an politischen Grenzen. Der Betrachtungsraum ist in Abb. 7 dargestellt.

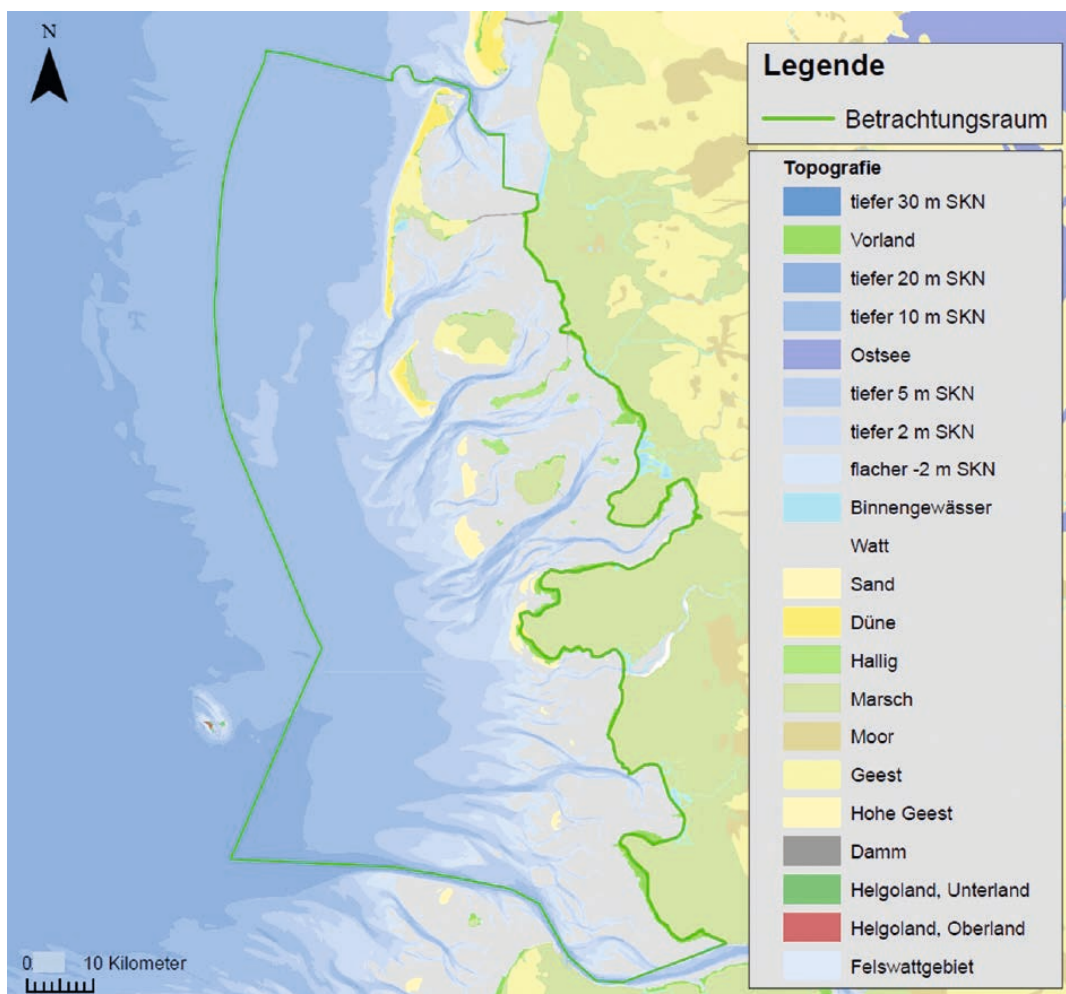


Abb. 7: Karte des Betrachtungsraumes

Landseitige Begrenzung

Im 11. Jahrhundert wurde mit dem Deichbau im Wattenmeer die Abtrennung von Teilen der Marschen begonnen. Diese wurden damit dem direkten Einfluss der Nordsee entzogen. Heute sind fast 2.400 km² Küstenniederungen durch Küstenschutzbauwerke vom Wattenmeer getrennt.

Die landseitige Grenze des Wattenmeeres bildet die Festlandsdeichlinie. Überlegungen über Maßnahmen zur Klimaanpassung in den Küstenniederungen sind kein Gegenstand der vorliegenden Wattenmeer-Strategie. Es gibt jedoch zahlreiche Wechselwirkungen darüber hinaus. Bei einem ansteigenden Meeresspiegel außendeichs und einem bereits heute in der Regel hohen Grundwasserstand binnendeichs spielt die Frage der künftigen Binnenlandentwässerung eine entscheidende Rolle. Flächen landseits der Festlandsdeiche wie die großen, naturräumlich bedeutsamen Köge - Beltringharder Koog und der Meldorfer Speicherkoog - müssen wegen ihrer Wechselwirkungen mit dem Wattenmeer bei künftigen Überlegungen berücksichtigt werden, ebenso die Erfahrungen mit den dort vorhandenen Bauwerken zum Salzwassereinstau und zur Entwässerung.

Seeseitige Begrenzung

Die seewärtige Grenze des Wattenmeeres wird durch den Einfluss der Nordsee auf das Sedimentsystem des Wattenmeeres bestimmt. Hierbei lässt sich jedoch keine starre Abgrenzung anhand einer Tiefenlinie identifizieren. Sicher ist, dass seeseitig der Inseln und Halligen eine bedeutende Sedimentzufuhr für das Wattenmeer stattfindet. Eine seewärtige Begrenzung des Wattenmeeres auf die Barriereinseln mit den zugehörigen Ebb-Deltas wäre demzufolge zu eng gegriffen.

Wissenschaftliche Untersuchungen gehen davon aus, dass in der Nordsee zwischen einer Meerestiefe von 10 und 15 m zumindest bei stürmischen Verhältnissen wellenbedingte Sedimentumlagerungen einsetzen, welche sich in einem sog. „geomorphologischen Knick“, d.h. einem konkaven Profilknick im Unterwasserprofil zeigen. Eine derartige ca. 12-m-Tiefenlinie existiert in kartographischen Darstellungen jedoch nicht. Die gewählte seewärtige Abgrenzung ist somit in ausreichendem Abstand zur 10-m-Tiefenlinie gewählt und umfasst neben der seeseitigen Grenze des Nationalparks im nördlichen Teil die großen sublitoralen Flächen der Amrumbank, da diese eine bekannte und wichtige Quelle für Sedimente darstellt.

Nord- und Südgrenze

Nach Norden und nach Süden hin wird aus administrativen und pragmatischen Gründen die Landesgrenze zu Dänemark bzw. zu Niedersachsen als Abgrenzung des Betrachtungsraums gewählt. Diese Begrenzung entspricht im Norden auch der Grenze des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Im Elbbereich ist die Ländergrenze nicht endgültig festgelegt. Als südliche Begrenzung wird daher die Landesgrenze nach schleswig-holsteinischer Auffassung verwendet.

Inseln und Halligen

Inseln und Halligen zählen explizit zum Betrachtungsraum. Sie sind natürliche Bollwerke gegenüber den freien Kräften der Nordsee und als bewohnte und besiedelte Inseln wichtige Bestandteile des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein sowie wichtige Naturräume. Bei den großen Inseln müssen seeseitige Erosionsvorgänge mit in Betracht gezogen werden. Für die Inseln Sylt, Amrum und Föhr sind in den vergangenen Jahren Fachpläne für den Küstenschutz aufgestellt worden. Insbesondere auf den Halligen sind Fragen nach dem Höhenwachstum, der Kantenerosion bzw. Sedimentation zu berücksichtigen. Die AG Halligen 2050 geht der Frage nach, wie die Halligen auch bei stärker steigendem Meeresspiegel zukunftsfähig entwickelt werden können. Auch die sehr tiefe Lage des Inselinneren von Pellworm muss bei den Planungen Berücksichtigung finden. Für die Naturwerte der Inseln und Halligen hat die räumliche Trennung vom Festland eine hohe Bedeutung.

5. Grundlagen

5.1 Abiotische Grundlagen

Als abiotisch (griechisch: „nichtlebend“) werden alle Umweltfaktoren zusammengefasst, an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind. Relevante Faktoren für diese Strategie sind neben Wasserstand, Strömung und Seegang die geomorphologische Entwicklung, Dynamik und Zusammensetzung der Oberflächenformen, die Temperatur, sowie Niederschlag und das Vorhandensein von Nähr- bzw. Schadstoffen. Sie werden nachfolgend beschrieben.

5.1.1 Hydrologie

Wasserstand

Der Wasserstand und seine Veränderungen über die Zeit sind ein dominanter Faktor für die abiotischen Bedingungen in der Nordsee und im Wattenmeer. Wesentliche Einflussfaktoren auf den Wasserstand sind z.B. Mondphase, Wind, Luftdruckschwankungen, aus dem Nordatlantik kommende Fernwellen, Wattbodenausbildung und der Oberwasserzufluss.

Bedingt durch den Verlauf der Gezeitenwelle in der Nordsee und die lokalen topographischen Verhältnisse sind die astronomischen und die mittleren Wasserstände an der Westküste Schleswig-Holsteins unterschiedlich. So beträgt der mittlere Tidenhub (MThb) vor List auf Sylt ca. 1,80 m, vor Büsum liegt er um 3,20 m und in der Husumer Bucht bei ca. 3,50 m (Tab. 1). In der Regel ist die Flutdauer ca. 30 bis 60 min kürzer als die Ebbdauer, d. h. das Wasser läuft länger ab als auf. Lediglich im Bereich der Insel Sylt ist die Flutdauer etwas länger als die Ebbdauer. Gemäß Generalplan Küstenschutz stieg das mittlere Tidehochwasser (MThw) an der Westküste von Schleswig-Holstein zwischen 1940 und 2007 um durchschnittlich 3,8 mm/a bzw. insgesamt um 0,26 m an, während sich das mittlere Tideniedrigwasserniveau (MTnw) kaum geändert hat. Entsprechend hat sich das mittlere Tidehalbwasser (MT $\frac{1}{2}$ w) als Indikator für den sog. „mean sea level“ um ca. 1,8 mm/a bzw. 0,13 m angehoben. Der mittlere Tidenhub (MThb) nahm zwischen 1940 und 2007 um ca. 15% zu. Diese Aussagen decken sich mit veröffentlichten Forschungsergebnisse zum Meeresspiegelanstieg in dieser Region). In Abb. 9 ist die über sieben Nordseepegel gemittelte Entwicklung der Wasserstandsparameter (MThw, MT $\frac{1}{2}$ w und MTnw) von 1940 bis 2010 dargestellt.

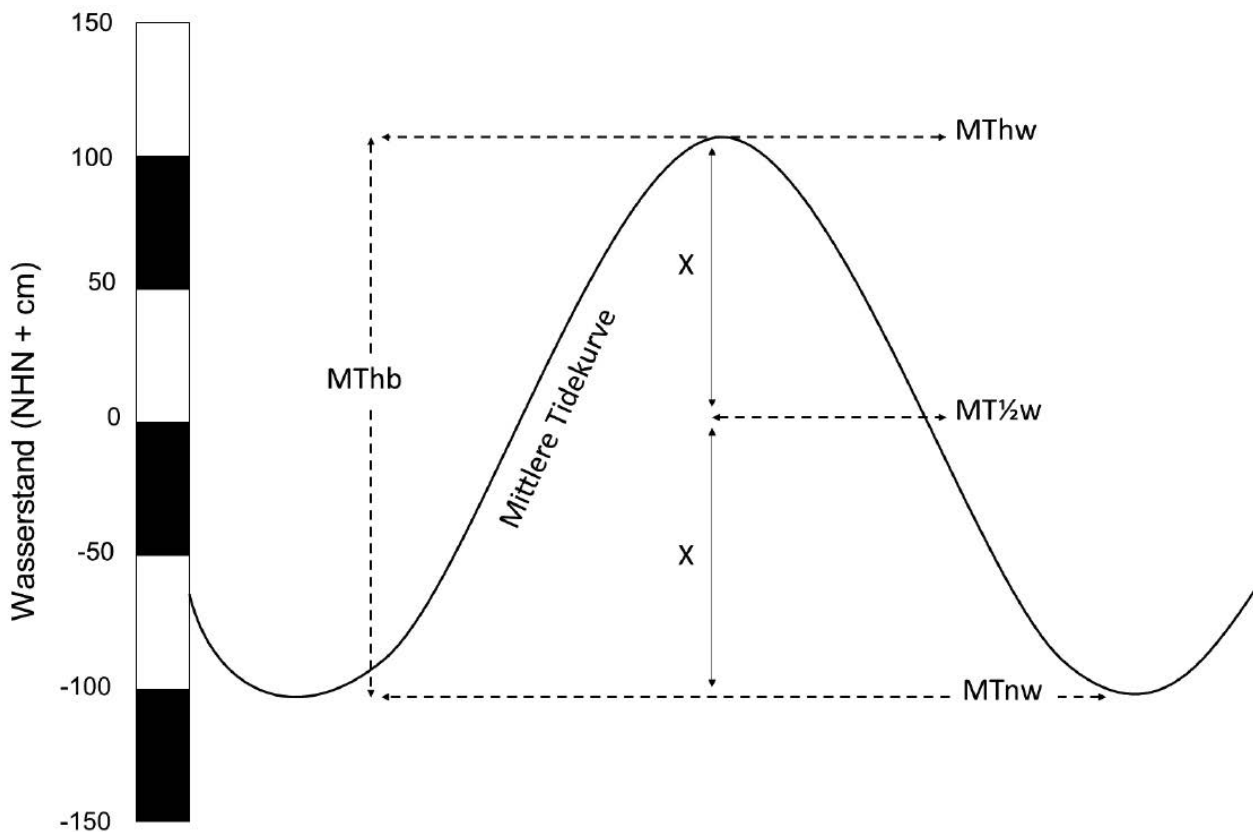


Abb. 8: Prinzipische Skizze einer mittleren Tidekurve mit den Tidekennwerten: MThw (mittleres Tidehochwasser), MTnw (mittleres Tideniedrigwasser), MT $\frac{1}{2}$ w (mittleres Tidehalbwasser als arithmetisches Mittel von MThw und MTnw) und MThb (mittlerer Tidehub)

Die höchsten Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Westküste traten in den Jahren 1962, 1976 und 1981 auf, wobei bei der Sturmflut vom 03.01.1976 mit einem Wasserstand von 10,61 m über Pegelnull (PN +10,61 m) am Pegel Husum der bisher höchste Wasserstand an der Westküste gemessen wurde (Tab. 1).

Pegel	MTnw2001-2010	MTnw2001-2010	MTnb2001-2010	Historische Wasserstände									
	[PN + cm]	[PN + cm]	cm]	03.02.1825*	16./17.02.1962	03.01.1976	24.11.1981	26.01.1990	27.02.1990	28.01.1994	03.12.1999	06.12.2013	
List	587	408	179	-	865	894	905	858	849	825	861	860	
Hörnrum	603	398	205	-	892	876	905	871	874	860	811	861	
Wittdün	627	366	261	-	914	905	908	879	884	877	850	884	
Wyk	636	354	282	-	931	938	952	936	927	889	877	888	
Dagebüll	642	343	299	-	956	946	972	962	923	901	895	-	
Pellworm	651	331	320	-	950	974	952	943	930	911	932	933	
Husum	669	319	350	1023	1021	1061	1015	999	987	973	1037	997	
Büsum	662	343	319	1005	994	1015	971	943	969	948	952	959	
Brunsbüttel	650	372	278	-	1027	1042	981	925	966	978	971	-	
Glückstadt	658	377	281	1005	1060	1083	1011	949	990	1017	1003	1031	
Helgoland	618	382	236	-	887	854	847	764	851	841	808	848	

* Quelle: Meier, D.: Die Sturmflut 1825, Gutachten
 PN = Pegelnullpunkt
 NHN = Normal-Höhen-Null
 PN = NHN - 500 cm

Tab. 1: Mittlere Wasserstände und Tidenhub sowie historische Hochwasserstände an der Westküste Schleswig-Holsteins.

Strömung

Die Strömungen an der Westküste von Schleswig-Holstein lassen sich aufgrund ihrer Ursache in tidebedingte und winderzeugte Strömungen unterscheiden. In den Wattströmen und Tiderinnen können die tidebedingte Strömungen Geschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s betragen, auf den Wattflächen dagegen selten mehr als 0,2 m/s. Bei den winderzeugten Triftströmungen können während Sturmfluten Geschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s auftreten, die, überlagert mit den Tideströmungen, erhebliche Veränderungen der Prielsysteme und Wattflächen bewirken können.

Seegang

Der Seegang ist neben den Gezeiten, den Sturmflutwasserständen und den küstennahen Strömungen eine wichtige Eingangsgröße für die Abschätzung der Erosionsgefährdung der Küsten und Inseln. Darüber hinaus ist die Kenntnis der Seegangsverhältnisse am Planungs-ort maßgebend für die funktionelle und konstruktive Planung von Küstenschutzbauwerken, wie z.B. für die Berechnung des Wellenaufbaus und des Wellenüberlaufs an Hochwasserschutzanlagen. Weiterhin können Wasserstände und Seegang Parameter zur Einordnung größerer Sedimentumlagerungen sein.

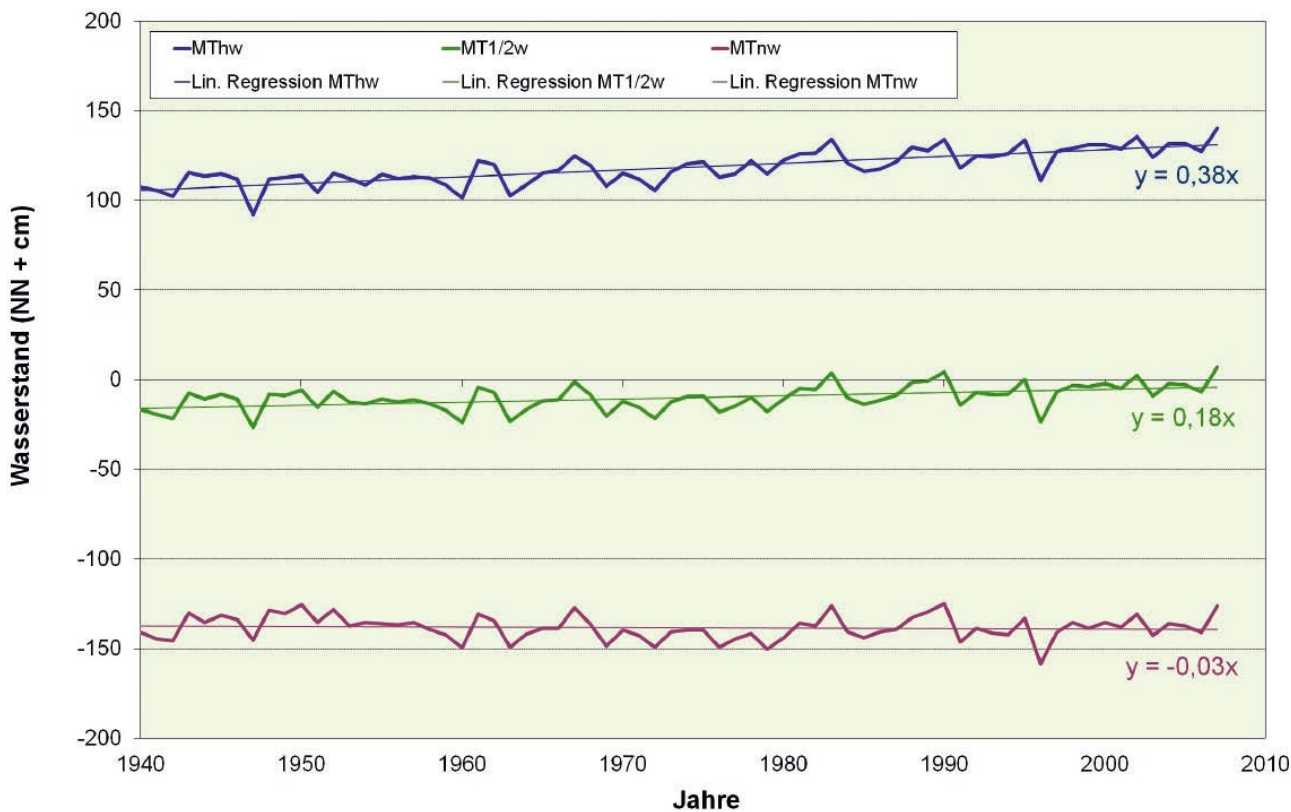


Abb. 9: Entwicklung des Wasserstandes im Wattenmeer anhand der Parameter MThw, MT $\frac{1}{2}$ w und MTnw von 1940 bis 2010 gemittelt über die Pegel List, Hörnum, Wittdün, Dagebüll, Husum, Büsum und Helgoland

Seegang ist die Summe aus Windsee und Dünung. Er ist aufgrund der meteorologischen Einflüsse schwer vorher-sagbar, insbesondere für Küstenbereiche mit begrenzten Wassertiefen und stark variierenden Topographien. Im Tiefwasser kann bei genügend langer Windwirkdauer davon ausgegangen werden, dass die mittlere Wellen-anlaufrichtung der mittleren Windrichtung entspricht. Kurzfristige Schwankungen in Windgeschwindigkeit und Windrichtung haben darauf nur wenig Einfluss. Für den Seegang im Wattenmeer gilt, dass er von der Wechsel-wirkung zwischen Topographie, dem lokalen Wind und der Wassertiefe beeinflusst wird. Dabei wird die maxi-male Wellenhöhe des aus der Nordsee einlaufenden Seegangs von der Wassertiefe begrenzt. Zusätzlich kann sich im Abschattungsbereich von Inseln und Sandbänken durch den örtlichen Wind neuer Seegang entwickeln.

Vor Sylt und in den Mündungsbereichen der großen Wattströme sowie innerhalb des Wattenmeeres und in küstennahen flachen Bereichen werden Seegangmess-stellen betrieben. Zusätzlich zu den Seegangmessun-gen besteht zurzeit an zwei Stationen auf Pellworm die Möglichkeit, bei Sturmfluten den Wellenauflauf am Deich zu messen. Diese Daten dienen der Überprüfung von Be-rechnungsansätzen zum Wellenauflauf für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken.

Für die Betrachtung des Seegangs stellen die signifikante Wellenhöhe (in m) und die Wellenperiode (in s) wichtige Parameter dar. Unter „signifikante Wellenhöhe“ versteht man die durchschnittliche Höhe des Drittels der höchsten aller vorkommenden Wellen. Sie entspricht also in etwa der vor-herrschenden Wellenhöhe. Unter der Wellenperiode wird die Zeit verstanden, die zwischen dem Passieren zweier aufeinan-der folgender Wellenberge an einem festen Punkt vergeht.

Vor Sylt und Eiderstedt treten bei frischem Wind (5 Bft) signifikante Wellenhöhen von rd. 1 m mit mittleren Perioden von 4 s auf. Während des Orkantiefs Xaver am 05./06.12.2013 wurden westlich vor Sylt bei einer Was-sertiefe von 10 m signifikante Wellenhöhen von 6 m mit mittleren Perioden von 10 s gemessen. Die maximalen Wellenhöhen betragen dabei fast 10 m.

Für Bemessungszwecke wird am Deichfuß von scharlie-genden Landesschutzdeichen im Mittel eine signifikante Wellenhöhe (H_s) von 2 m angesetzt, für Deiche mit Vor-land dagegen eine signifikante Wellenhöhe von rd. 1,7 m. Das Wattenmeer und das Vorland haben durch ihre Höhe eine stark dämpfende Wirkung auf den Seegang. So können Vorlanddeiche rd. 20 cm niedriger bemessen werden, als scharliegende Deiche.

5.1.2 Geomorphologische Entwicklung und Sedimentologie

Vor etwa 10.000 Jahren, am Ende der letzten Eiszeit, reichte die Nordsee nur bis zur Dogger- und Jütland-bank. Der Bereich des heutigen Wattenmeeres war Festland. Als sich das Klima erwärmte, schmolz das Eis und der Meeresspiegel stieg an, zunächst um über einen Meter pro Jahrhundert, so dass die flache Küstenland-schaft überflutet wurde. Vor etwa 6.500 Jahren nahm der Meeresspiegelanstieg dann soweit ab, dass sich durch Materialumlagerungen im Bereich des heutigen Watten-meeres eine erste Wattlandschaft formen konnte. Dabei verlief die Entwicklung im südlichen Teil der Westküste Schleswig-Holsteins (Dithmarschen) anders als im nördli-chen Teil (Nordfriesland).

Im nordfriesischen Wattenmeer erreichte die Küstenlinie vor etwa 5.500 Jahren ihre größte östliche Ausdehnung, wobei eine durch Barrieren und Geestkerninseln ge-schützte Gezeitenlandschaft entstand. Einen Rückgang des marinen Einflusses kann man hier vor etwa 2.500 Jah-ren feststellen, als sich eine geschlossene Nehrungsküste einstellte. Dahinter breiteten sich ausgedehnte Bruch-wälder und Moore aus. Etwa um 1.000 n. Chr. stieg der Meeresspiegel wieder verstärkt an, und die Zerstörung der schützenden Nehrungen begann. Zu dieser Zeit wur-de mit dem Deichbau begonnen. Die heutige Form des nordfriesischen Wattenmeeres wurde im Wesentlichen durch die Auswirkungen der ersten und zweiten Groten Mandränke in den Jahren 1362 und 1634 geschaffen, die insbesondere auch zur Ausbildung der Halligen führten. Während auf den Inseln, den sogenannten friesischen Uthlanden, weiterhin Landverluste auftraten, überwog an der Festlandsküste der Landgewinn, der schließlich zur Bedeichung zahlreicher Marschen führte. Aufgrund der nachfolgenden Entwässerung und der nach der Bedei-chung fehlenden Sedimentation in den Kögen nimmt die relative Höhenlage im Vergleich zum Wattenmeer seitdem ab.

Im dithmarscher Wattenmeer erreichte der Meeresein-fluss sein Maximum vor etwa 3.500 Jahren. Entlang der Linie St. Michaelisdonn-Heide entstanden an der Geest-kante Steilküsten. Im Gegensatz zu Nordfriesland waren seeseitig keine größeren Moränenkerne vorhanden, aus denen sich Nehrungen aufbauen konnten. Die Marschbil-dung begann daher direkt am Geestrand und schritt von dort nur langsam, aber nahezu kontinuierlich westwärts fort. Es ist davon auszugehen, dass die Nähe zur Elbe als

Sedimentlieferanten zu dieser Entwicklung beigetragen hat. Wegen des sandigen Charakters hat die Marsch in Dithmarschen keine größeren Sackungen erfahren. Mit Ausnahme der Zerstörung der Marschinsel Alt-Büsum ist die Dithmarscher Küste bis heute durch weiteren Anwachs geprägt.

Schließlich ist somit im Laufe des Holozäns im Wattenmeer ein Bodenprofil aus marinen Watt-, Strand-, Dünen-, Salzwiesen-, und Brackwassersedimenten, abgewechselt mit Moorschichten, entstanden (Abb. 10). Durch die seit dem Mittelalter durchgeführten Deichbaumaßnahmen sind heute etwa 2.400 km² des ehemaligen Wattenmeeres vom direkten Meereseinfluss getrennt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass das heutige nordfriesische Wattenmeer bis vor etwa 800 Jahren eine durch eine Dünenkette geschützte Marschlandschaft darstellte.

Die morphologische Entwicklung des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres und seiner Teilbereiche kann etwa ab Mitte des letzten Jahrhunderts mittels Kartenvergleichen nachvollzogen werden. Im Ergebnis ist erkennbar, dass die Außenküste infolge des Meeresspiegelanstieges und der steigenden Sturmflutwasserstände generell zu-

rückweicht und die Außensände sich teilweise um bis zu 20 m/a nach Osten verlagern (Abb. 11).

An der Westseite von Japsand, Norderoogsand und Süderoogsand sind heute bereits Teile der Marsch sichtbar, die vor der großen Mandränke von 1362 zur Kulturlfläche gehörte. An der Außenküste von Amrum (Kniepsand) sind im Zeitraum von 1948 bis 2008 auf der NHN +1m-Linie Rückgangsraten von mehreren Metern im Jahr zu beobachten. Die Erosion an der Seeseite Sylts wird durch Sandaufspülungen ausgeglichen. Insbesondere das Ebb-Delta des Hörnum Tiefs ist seit Jahrzehnten durch Erosion gekennzeichnet. Durch zunehmende Tide- und Triftströmungen unterliegen die Wattrinnen generell einer erosiven Tendenz, während die Wattflächen und Vorländer infolge des Sedimentangebotes aus den Rinnen und von der Außenküste mit dem Meeresspiegelanstieg mitwachsen können. Allerdings gibt es lokal auch erosive Wattbereiche insbesondere an Stellen, die einer hohen Seegangbelastung und hohen Strömungsgeschwindigkeit ausgesetzt sind.

Trotz der Sedimentumlagerungen und der Küstenschutzmaßnahmen haben sich Struktur und Funktion des

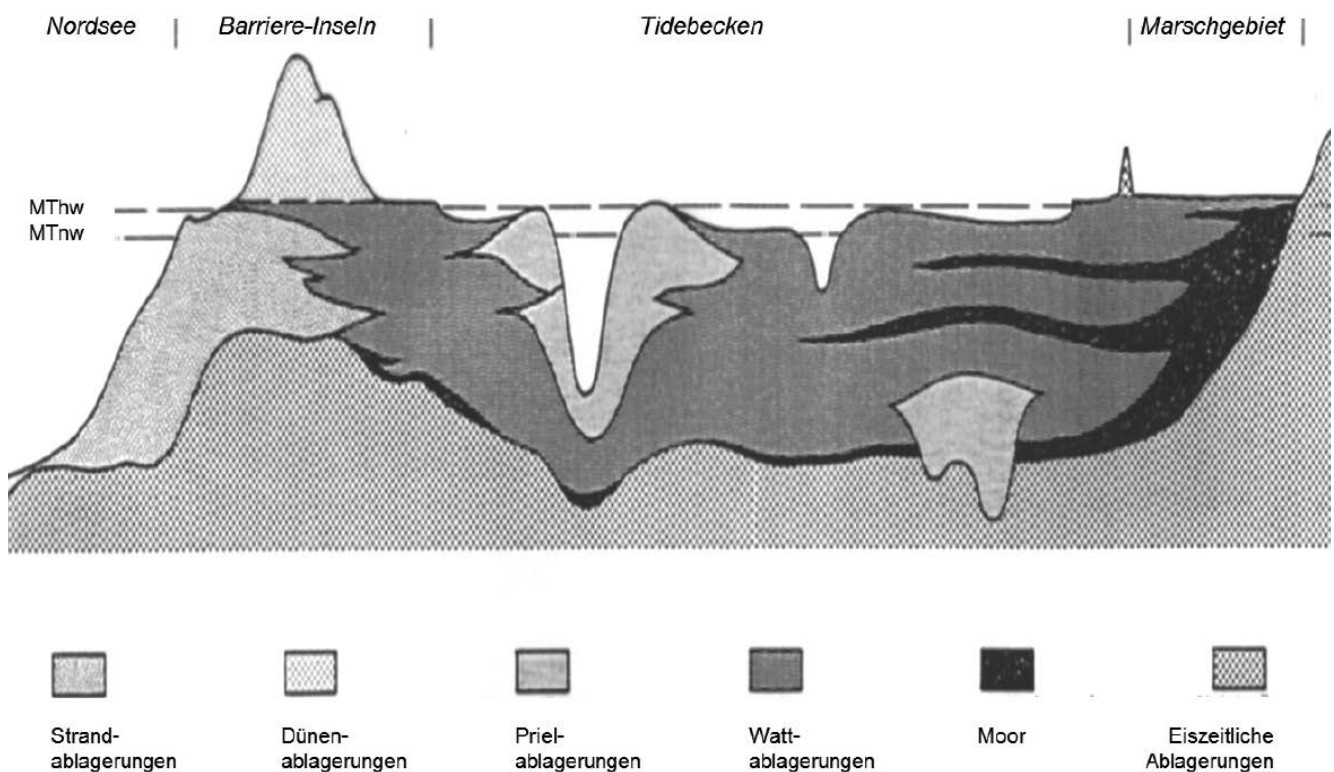


Abb. 10: Schematische Darstellung der nacheiszeitlichen Ablagerungen im Wattenmeer (nach Streif 1989)

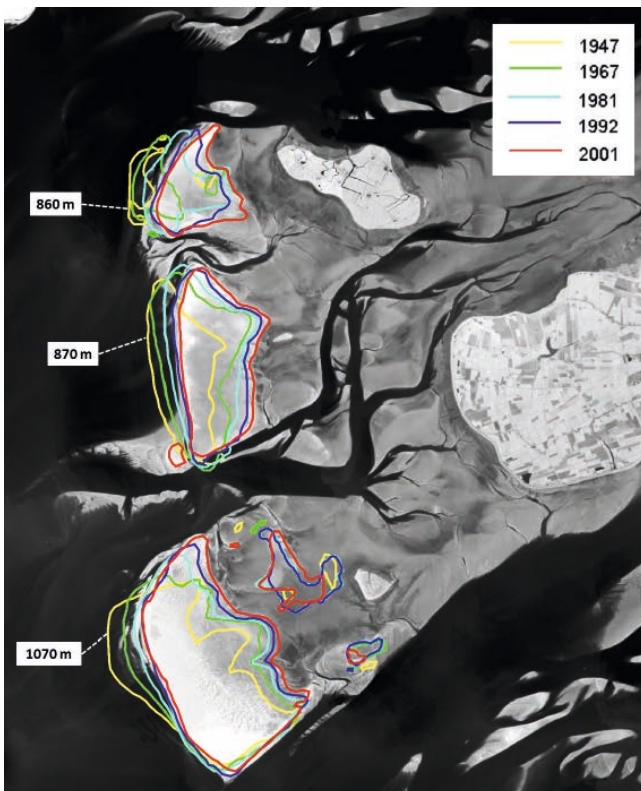


Abb. 11: Verlagerung der Nordfriesischen Außensände zwischen 1947 und 2001 (siehe auch Titelseite)

schleswig-holsteinischen Wattenmeeres in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich geändert. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der an der Westküste von Sylt künstlich aufgespülten Sandmengen schließlich ins Wattenmeer gelangt und damit langfristig zur Stabilisierung des Wattenmeeres beiträgt.

Durch Uferabbruch während Sturmfluten nahm die Fläche der Halligen zwischen Mitte des 17. und Ende des 19. Jahrhunderts um etwa 70 km² bzw. 70% ab. Zur Erhaltung der verbliebenen Halligen wurden Anfang des 20. Jahrhunderts umfangreiche Ufersicherungsmaßnahmen durchgeführt, wodurch weitere Uferabbrüche verhindert werden konnten. Untersuchungen im Rahmen der Projekte SAHALL und ZukunftHallig haben ergeben, dass die Halligen Hooge und Langeneß seit Anfang der 1960er Jahre um 1,5 bis 3 mm pro Jahr in die Höhe wachsen, die Halligen Süderoog und Nordstrandischmoor um 3 bis 5 mm/a. Dies reicht nicht aus, um den gleichzeitig beobachteten MThw-Anstieg von etwa 4,5 mm/a im Bereich der Halligen auszugleichen.

Im Jahre 2006 existierten an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste etwa 125 km² Salzwiesen (einschl. Queller), davon 87 km² an der Festlandsküste, 16 km² auf den Inseln und 22 km² auf den Halligen. Im Ver-

gleich zu 2001 entspricht dies einer Zunahme von etwa 7%, im Vergleich zu 1988 sogar von 25%. Im Rahmen des Vorlandmanagementkonzeptes wird an 151 Querprofilen über die Salzwiesen die Höhenentwicklung überwacht. Für den Zeitraum 1996 - 2010 wurde eine mittlere Höhenzunahme von 9 mm/a ermittelt. Trotz regionaler Unterschiede überwog in allen Querprofilen die Sedimentation. Suchrow et al. (2012) ermittelten an über 400 Messtellen an der Nordseeküste für den Zeitraum 1988/90 - 2009 eine etwas geringere mittlere Höhenzunahme von 6 mm/a.

Im sedimentologischen Sinne wird das Wattenmeer durch Lockergesteine aus klastischen Sedimenten gekennzeichnet. Das heißt, die einzelnen Teile haben keinen festen Zusammenhalt und der Herkunft nach ist das Sedimentgestein durch Verwitterungsprozesse aus anderen Gesteinen hervorgegangen. Hartschubstrat bzw. Felsgestein kommt nicht vor. Bei den feineren Sedimenten handelt es sich um Schluff/Ton, organische Substanzen und Karbonate. Ursprung der meisten Sedimente sind der Nordseeboden und die Moränenkerne. Feinsedimente entstammen teilweise den Flüssen und den Abbrüchen von den Hallig- und Vorlandkanten, teilweise sind sie biogenen Ursprungs. Die Verteilung der Sedimente im Wattenmeer richtet sich in erster Linie nach dem vorherrschenden Strömungsregime, d.h. in Bereichen mit stärkeren Strömungen wie Tiderinnen stehen gröbere Materialien an, in stark strömungsberuhigten Bereichen überwiegt der Schlick. Im schleswig-holsteinischen Teil des Wattenmeeres treten an mehreren Stellen alte Moorschichten hervor.

5.1.3 Morphodynamik

Während die morphologische Entwicklung (Kap. 5.1.2) einen Überblick über die im Laufe der Zeit erfolgenden topographischen Änderungen im Wattenmeer gibt, befasst sich die Morphodynamik mit den aktuellen Prozessen, d.h. mit den Wechselwirkungen zwischen den agierenden hydrologischen Kräften (Strömungen) und den reagierenden Strukturen (Topographie). Strömungen führen an der Gewässersohle zu einer Aufwirbelung der Festpartikel, die anschließend entweder an der Sohle oder in Schwebelag transportiert werden. Wenn die Strömungen kleiner werden, fallen die Partikel, je nach Korngröße und Gewicht, aus und setzen sich wieder ab. Bei nicht konsolidiertem Sand von mittlerer Korngröße liegt die kritische Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle, bei der das Material erodiert wird, um 0,2 m/s; bei

konsolidierten und biologisch verfestigten Sedimenten kann die kritische Strömungsgeschwindigkeit bei über 1 m/s liegen.

Die Strömungen im Wattenmeer werden durch Tide und Wind verursacht, die sich zumeist überlagern. Der Wind wirkt sowohl direkt als Luftströmung (z.B. bei der Dünenbildung), als auch über den Wasserkörper mittels seegangs- und Windstau-bedingter Triftströmungen. In der Nordsee betragen die Tideströmungsgeschwindigkeiten meistens weniger als 0,05 m/s. Wenn die Tidewelle jedoch in Küstennähe kommt und zunehmend durch die lokale Bodentopographie beeinflusst wird, können bedeutend höhere Geschwindigkeiten auftreten. So werden in den Seegats maximale Tideströmungsgeschwindigkeiten von über 1,5 m/s gemessen, in den Wattprieln liegen sie zwischen etwa 0,5 und 1,0 m/s. Auf dem Watt betragen die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten bei mittleren Tiden deutlich weniger als 0,4 m/s. Seegangs- bzw. Orbitalströmungen werden durch Windeinwirkung auf die Wasseroberfläche erzeugt. Bei Sturmfluten können am Übergang von der freien Nordsee zum Wattenmeer bei Wassertiefen von 10 m signifikante Wellenhöhen von über 5 m auftreten. Die meisten dieser Wellen brechen bei stark abnehmenden Wassertiefen bereits entlang der Außenküste des Wattenmeeres. Im Wattenmeer wird der (lokal erzeugte) Seegang im Wesentlichen von der Wassertiefe in seiner Höhe begrenzt bzw. variiert in Abhängigkeit von der Wassertiefe. Während schwerer aufländiger Stürme erreichen die durch den Windschub bedingten primären Triftströmungen im Watt maximale Geschwindigkeiten von über 0,8 m/s, wobei der Triftstrom hier im Allgemeinen in Windrichtung fließt. Der dadurch erzeugte Windstau kann lokal mehr als 4 m betragen. Mit zunehmender Tiefe unter der Wasseroberfläche nehmen die Triftströmungsgeschwindigkeiten hier nur wenig ab. Aus Kontinuitätsgründen herrschen gleichzeitig in den tieferen Wasserschichten der Tiderinnen starke seewärts gerichtete sekundäre Triftströmungen vor.

Infolge der strömungsinduzierten Sedimentumlagerungen entstehen im Wattenmeer die typischen, den jeweiligen Prozessen angepassten Strukturen: Barriere-Inseln, Ebb-Deltas, Tiderinnen, Watten und Salzwiesen. Im nordfriesischen Wattenmeer existieren außerdem Marsch- und Geestkerninseln (siehe Kap. 5.1.2). Die Tatsache, dass die meisten dieser Strukturen in jedem der zwölf schleswig-holsteinischen Tidebecken existieren, deutet auf Gesetzmäßigkeiten zwischen den hydrodynamischen und morphodynamischen Verhältnissen bzw. auf ein dynamisches Gleichgewicht zwischen agierenden Kräften

und reagierender Topographie hin. In der Fachliteratur finden sich für die Tidebecken des Wattenmeeres vielfältige sog. Gleichgewichtsbeziehungen zwischen hydrologischen und morphologischen Parametern. So korreliert z.B. das jeweilige Tidevolumen eines Tidebeckens stark mit der Querschnittsfläche des Seegats. In der Fachliteratur wird dies als „sandteilendes System“ umschrieben. Änderungen in einem Teil des Tidebeckens werden durch Sedimenttransporte aus einem anderen Teil des Tidebeckens ausgeglichen. Wenn die Änderungen moderat sind, wird sich das alte dynamische Gleichgewicht wieder einstellen bzw. iterativ erhalten. Das heißt beispielsweise, ein moderater Meeresspiegelanstieg führt zu zunehmender Sedimentation auf Watten und Salzwiesen durch die verlängerte Überflutungsdauer, da das Sediment mehr Zeit hat, sich abzusetzen. In der Folge nimmt die Höhenlage zu und die Dauer der tidebedingten Wasserbedeckung wieder ab. Das dynamische Gleichgewicht wird so iterativ erhalten. Das benötigte Material kann aus den Tiderinnen stammen, wo es durch stärkere Strömungsgeschwindigkeiten infolge des Meeresspiegelanstiegs erodiert wurde.

Hierdurch sind die Tidebecken in der Lage, sich durch interne Materialumlagerung an hydrologische Änderungen anzupassen. Allerdings gilt dies nur bis zu einem bestimmten Grad. Wenn die Änderungen zu intensiv sind, z.B. bei einem zu starken Meeresspiegelanstieg, funktionieren diese Selbstregulierungen nicht mehr und das System kann in einen neuen Zustand, z.B. in eine permanent mit Wasser bedeckte Küstenlagune übergehen.

Im Wattenmeer existieren mehrere solcher Rückkopplungsmechanismen zwischen agierenden Kräften und reagierender Topographie (z.B. zwischen Sturmseegang und Geländehöhe im Watt). Zudem beeinflussen Baumaßnahmen in Teilbereichen die Struktur und Funktion dieses Systems.

5.1.4 Temperatur (Luft/Wasser)

Auswirkungen des Klimawandels auf die Lufttemperaturen in Deutschland sind bereits heute festzustellen. Die tiefste Jahresmitteltemperatur wurde 1940 mit 6,6 °C und die höchste im Jahre 2000 mit 9,9 °C gemessen. Mit Ausnahme der „kalten Jahre“ 1996 und 2010 lagen die mittleren Jahrestemperaturen von 1988 bis 2012 über den mittleren Werten (s. Abb. 12).

Zeitbereich		Temperaturerhöhung °C
Frühjahr	(März bis Mai)	0,9
Sommer	(Juni bis August)	1,1
Herbst	(September bis November)	1,1
Winter	(Dezember bis Februar)	0,7
Jahresmitteltemperatur		1,0

Tab. 2: Trendberechnungen der Lufttemperaturänderung in Deutschland von 1901 bis 2011 (Quelle: DWD)

Lineare Trendberechnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zeigen eine Erhöhung der Lufttemperaturen in Deutschland von 1901 bis 2011 um 1 °C im Jahresmittel (Tab. 2).

Die klimatischen Verhältnisse der Wattgebiete werden durch die Nordsee, den nahen Nordatlantik und das unmittelbar angrenzende Land geprägt. Das Meer fungiert als ausgleichender Speicher, weil dessen Wärmekapazität etwa dem 4000-fachen der Luft entspricht. Diese Eigenschaft bewirkt bei uns relativ milde Winter und mäßig warme Sommer.

Das Wasservolumen ist in den flachen Watten gering, da im Vergleich mit der offenen See dort die Wassermasse auf eine große Oberfläche verteilt ist. Daher läuft der Wärmeaustausch mit Boden, Wasser und Luft schneller ab. Zudem erlaubt die relativ große Wasseroberfläche eine hohe Aufnahme von Strahlungsenergie je Volumeneinheit. Auch die Tide trägt zur Erwärmung des Wassers in den Watten bei. Das dunkle Watt nimmt bei Ebbe viel

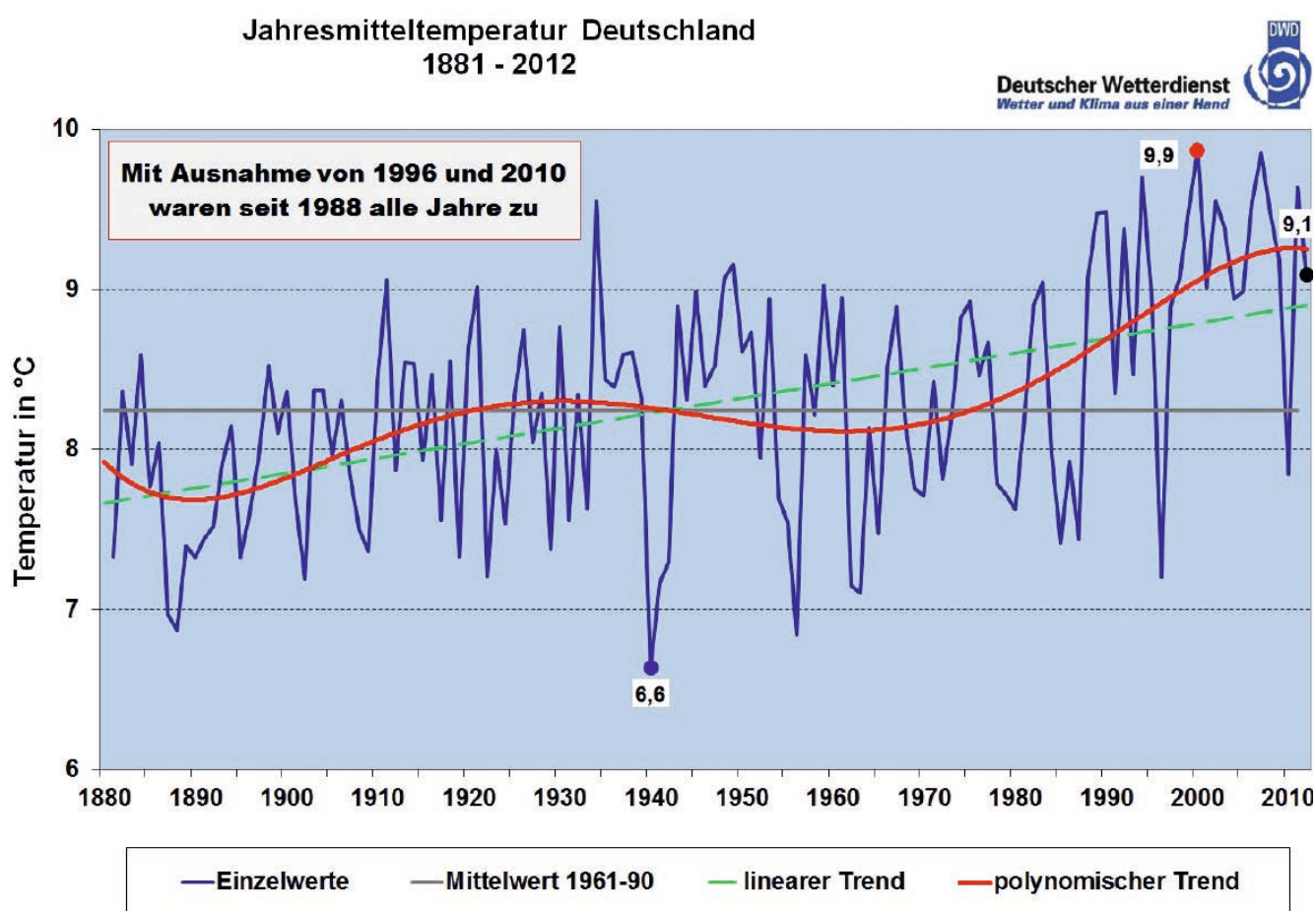


Abb. 12: Jahresmitteltemperatur Deutschland von 1881 bis 2012 (Quelle: DWD)

Sonnenwärme auf, die es bei Flut an das kühlere Wasser abgibt. Dadurch ändert sich die Wassertemperatur in den Watten schneller und stärker als in der angrenzenden Deutschen Bucht. Die von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wind abhängige Verdunstung führt dagegen zur Abkühlung. Diese Faktoren verleihen dem Wattenmeer eine zu seiner Wassermenge überproportionale Bedeutung für den Temperaturhaushalt der angrenzenden Nordsee.

Der Tagesgang der Wassertemperatur (d.h. die Temperaturveränderung im Laufe eines vollen Tages) ist im Wattenmeer ausgeprägter als unter den relativ stabilen Bedingungen der offenen See. Das Temperaturminimum tritt im Watt in den frühen Morgenstunden, etwa zwischen 6 und 9 Uhr ein. Die Tageshöchsttemperatur wird zwischen 15 und 17 Uhr erreicht - also erheblich später als der Sonnenhöchststand. Im Laufe eines Tages kann sich die Wassertemperatur auf den Watten um bis zu 10°C verändern; im Mittel sind die täglichen Veränderungen allerdings deutlich geringer. Die durch die Sonneneinstrahlung hervorgerufene Tageswelle der Temperatur wird durch die Gezeiten gestört, weil deren Hauptperiode (Hauptmondtidenperiode 12 h 25 min) nicht mit der Sonnenperiode (Tageslänge 24 h) übereinstimmt. Durch

die Überlagerung der Tageswelle mit den Gezeiten kommt es zu ungefähr 15-tägigen Temperaturschwankungen auf den Watten.

Kälteres Salzwasser ist schwerer als warmes. In abgeschlossenen Wasserkörpern, z.B. in Senken, kann sich daher bei Niedrigwasser eine vertikale Schichtung ausbilden, die erst unterbrochen wird, wenn das Oberflächenwasser in der Nacht abkühlt oder kälteres Wasser der Nordsee aufläuft. Aufgrund der kräftigen Gezeitenströmung kann sich eine derartige Schichtung im Wattenmeer nur sehr selten und in geringem Umfang ausbilden.

Im Verlauf des Jahres wird die höchste Wassertemperatur im August erreicht. Danach kühlt das Meer bis in den Februar, in dem im Allgemeinen die niedrigsten Temperaturen gemessen werden, aus. Auf den Watten hat die Jahreswelle des Temperaturverlaufs die größte Amplitude der gesamten Nordsee. Auch kurzfristige Veränderungen sind dort am stärksten. Abb. 13 zeigt die jahreszeitliche Wassertemperaturverteilung im Bereich Büsum.

In Abb. 14 sind die Monatsmittelwerte der Wassertemperatur für die Station Büsum von 1948 bis 2000 sowie

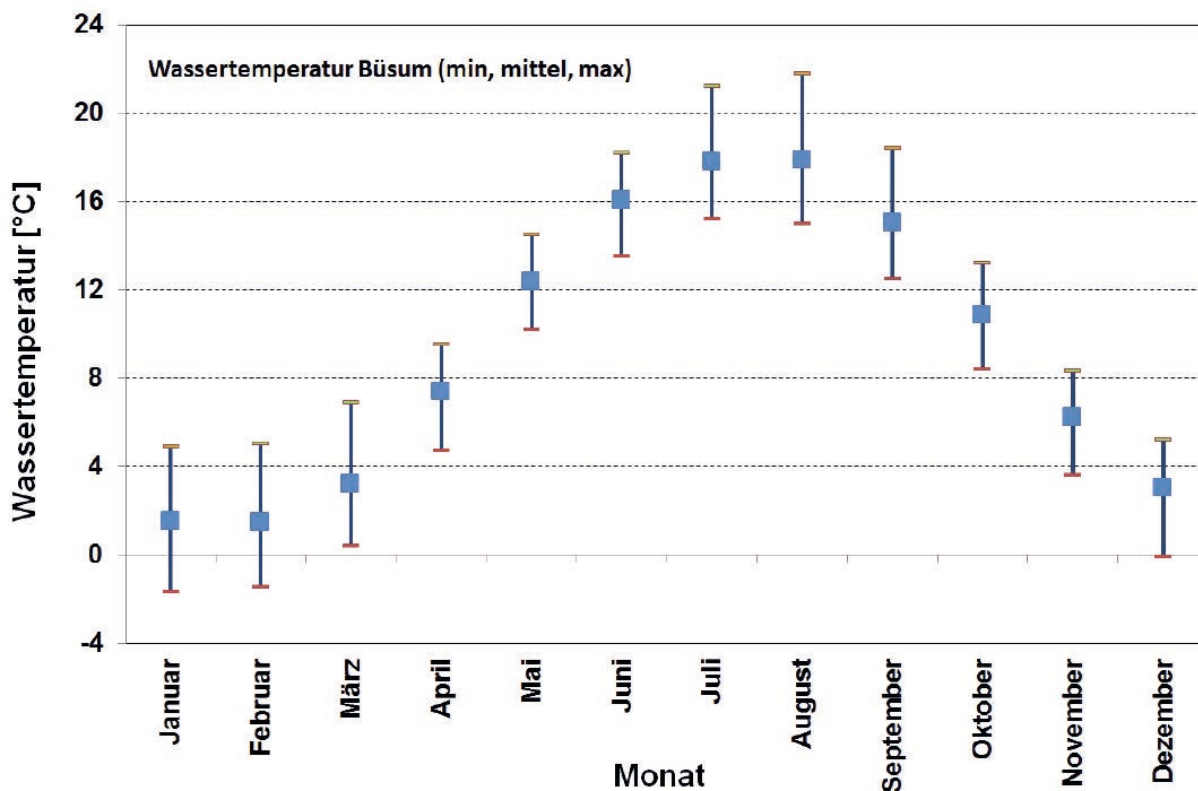


Abb. 13: Mittelwerte, Minima und Maxima der Wassertemperatur, gemessen in Büsum von Nov. 1948 bis April 2013 (1 m unter der Wasseroberfläche)

ausgewertete Handwerte einer Messreihe des ebenfalls in Büsum gelegenen Forschungs- und Technologiezentrums Westküste (FTZ) von Nov. 1995 bis 2013 aufgetragen. Beide Datenreihen zeigen trotz unterschiedlicher Erfassungsmethoden ähnliche Tendenzen, so dass die linearen Trendlinien beider Reihen miteinander verglichen werden können. Danach stieg die Wassertemperatur im betrachteten Zeitraum im Mittel um 0,86 °C, bzw. um 0,01 °C pro Jahr an.

Für die Jahresmittelwerte der Wassertemperatur in List in dem Zeitraum von 1948 bis 2002 wurde eine lineare Trendlinie errechnet. Danach steigt die Wassertemperatur um 0,017 °C pro Jahr an (Abb. 15).

Auffällig ist, dass sich eine deutlichere Erhöhung der Wassertemperatur seit etwa Ende der 1980er Jahre eingestellt hat, die ca. 0,7 °C über dem langjährigen Mittel liegt (Abb. 16).

Die niedrigsten Temperaturen in den Wattgebieten liegen beim Gefrierpunkt des Seewassers (-1,5°C bis -2°C). Die höchsten Wassertemperaturen betragen bis zu 23°C; allerdings können in kleinen abgeschlossenen Wasserrestflächen auch höhere Werte bis etwa 30°C auftreten.

Extremereignisse wie Eisschollen und Vereisungen großer Wattflächen haben einen stärkeren ökologischen Einfluss als die schwachen klimatischen Signale innerhalb der normalen Schwankungen: Das über das Watt bewegte Eis schürft das Sediment ab. Dadurch können ganze Teilökosysteme zerstört werden, z.B. Muschelbänke. Flächendeckende Eisschichten vermindern den Gasaustausch mit der Atmosphäre. Unter den Eisdecken sinkt folglich der Sauerstoffgehalt, so dass Bodenorganismen Mangel leiden können. Durch höhere Gezeitenströmungen unter Eisflächen kann es zur Erosion des Wattbodens kommen.

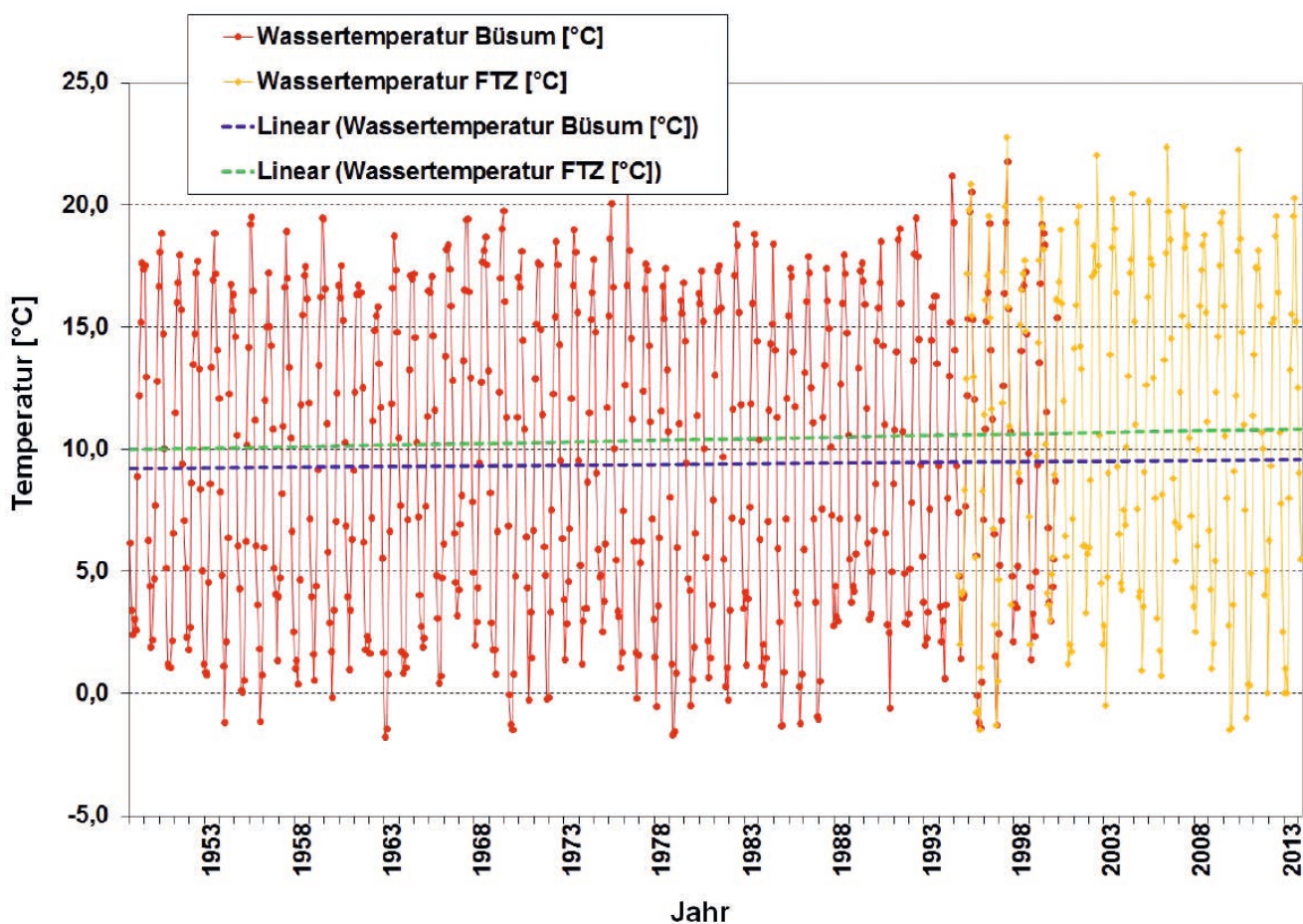


Abb. 14: Monatsmittelwerte der Wassertemperatur im Bereich Büsum für den Zeitraum von Nov. 1948 bis April 2013 (1 m unter Wasseroberfläche)

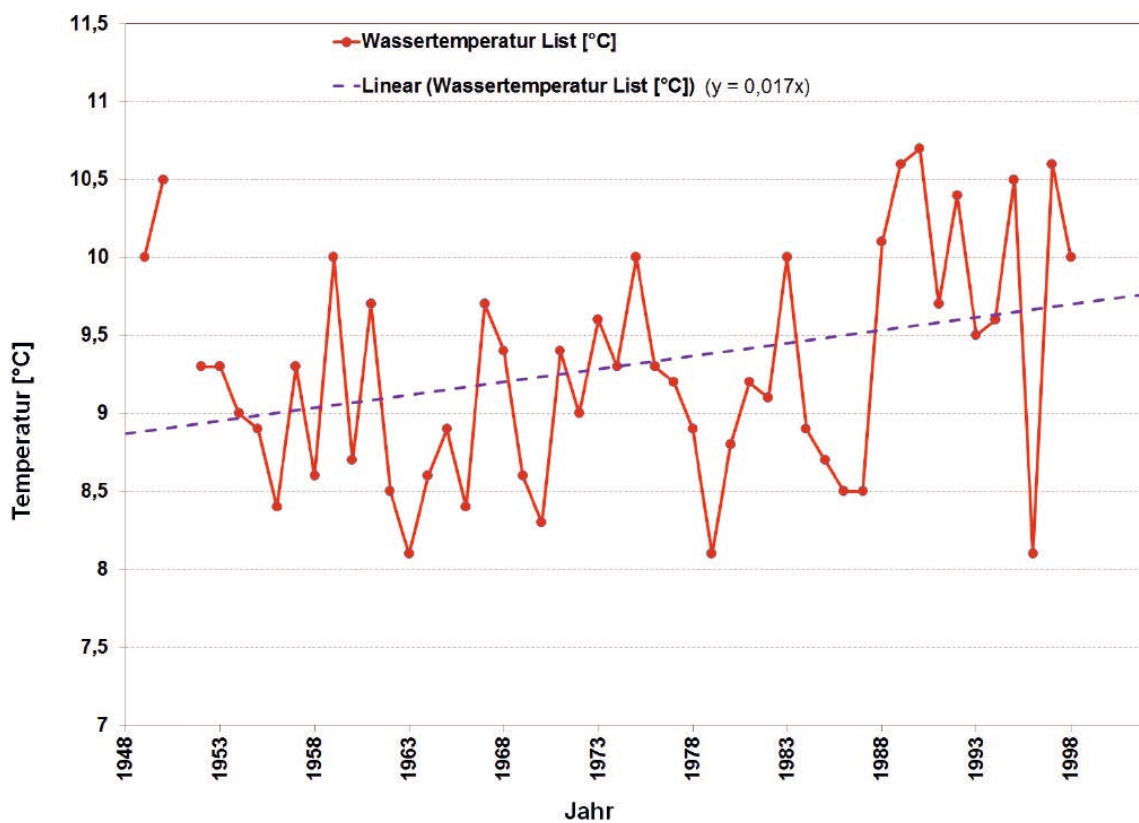


Abb. 15: Jahresmittelwerte der Wassertemperatur der Station List für den Zeitraum von 1948 bis April 2001 (0,5 m unter Wasseroberfläche)

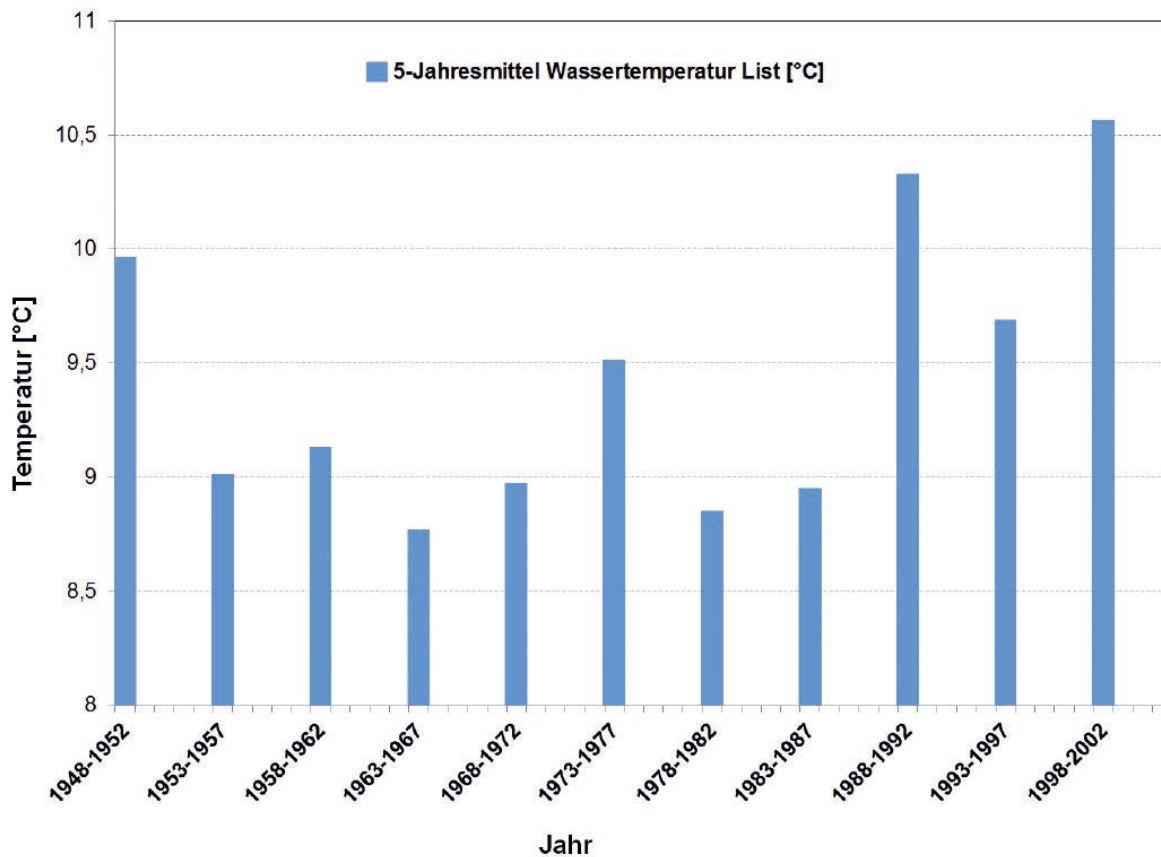


Abb. 16: 5-Jahres-Mittelwerte der Wassertemperatur der Station List für den Zeitraum von 1948 bis 2002 (0,5 m unter Wasseroberfläche)

5.1.5 Sonstige abiotische Faktoren (Niederschlag, Nährstoffe, Schadstoffe)

Niederschlag

Auch die Entwicklung und die jahreszeitliche Verteilung der regionalen Niederschläge ist ein wichtiger Parameter für das Wattenmeer. Der regionale Niederschlag bestimmt die Menge des in das Wattenmeer entwässernden Wassers. Es wird derzeit diskutiert, ob und wenn ja welche Bedeutung der Süßwassereintrag in das Wattenmeer für den Netto-Eintrag von Sedimenten hat.

Die Niederschlagshöhe gibt an, wie hoch flüssiger Niederschlag eine Erdbodenfläche bedecken würde, wenn nichts von dieser Fläche abfließen, verdunsten oder versickern könnte. Wird z.B. eine Niederschlagshöhe von 1 mm gemessen, so entspricht dieser Wert einer Niederschlagsmenge von 1 Liter pro Quadratmeter. Die mittleren Jahreshöhen des Niederschlages bewegen sich zwischen etwa 700 mm im Bereich der Halligen und um Helgoland, ca. 850 mm im Bereich um Husum und mehr als 900 mm über der holsteinischen Hochgeest und im Gebiet um Schleswig. Diese Niederschlagshöhen

verteilen sich über das Jahr auf etwa 185 bis 215 Tage mit Niederschlagshöhen von mindestens 0,1 mm. In niederschlagsärmeren Gebieten kann die jährliche Höhe zwischen etwa 500 und 1.000 mm variieren, in niederschlagsreicheren Gebieten zwischen 700 und 1.200 mm. Generell ist der Februar durchschnittlich der Monat mit dem wenigsten Niederschlag. Die mittleren Monatshöhen schwanken zwischen etwa 30 und 45 mm. Die meisten Niederschläge fallen im Oktober oder November, wobei die Mittelwerte zwischen etwa 80 mm und knapp über 100 mm liegen. Während im Februar die Niederschläge an 14 bis 17 Tagen anfallen, sind im November 19 bis 22 Niederschlagstage zu erwarten. Die wenigsten Niederschlagstage gibt es im Durchschnitt im Mai und Juni mit etwa 10 bis 14 Tagen.

Abbildung 17 zeigt den mittleren Jahresgang des Niederschlags an der Messstation List auf Sylt und zum Vergleich den an der weiter landeinwärts gelegenen Station in Schleswig. Es ist erkennbar, dass die Binnenlandstation in den Winter-, Frühjahrs- und Sommermonaten im Mittel deutlich größere Niederschlagshöhen erreicht als die Inselstation. Im September und Oktober sind die Unterschiede geringer.

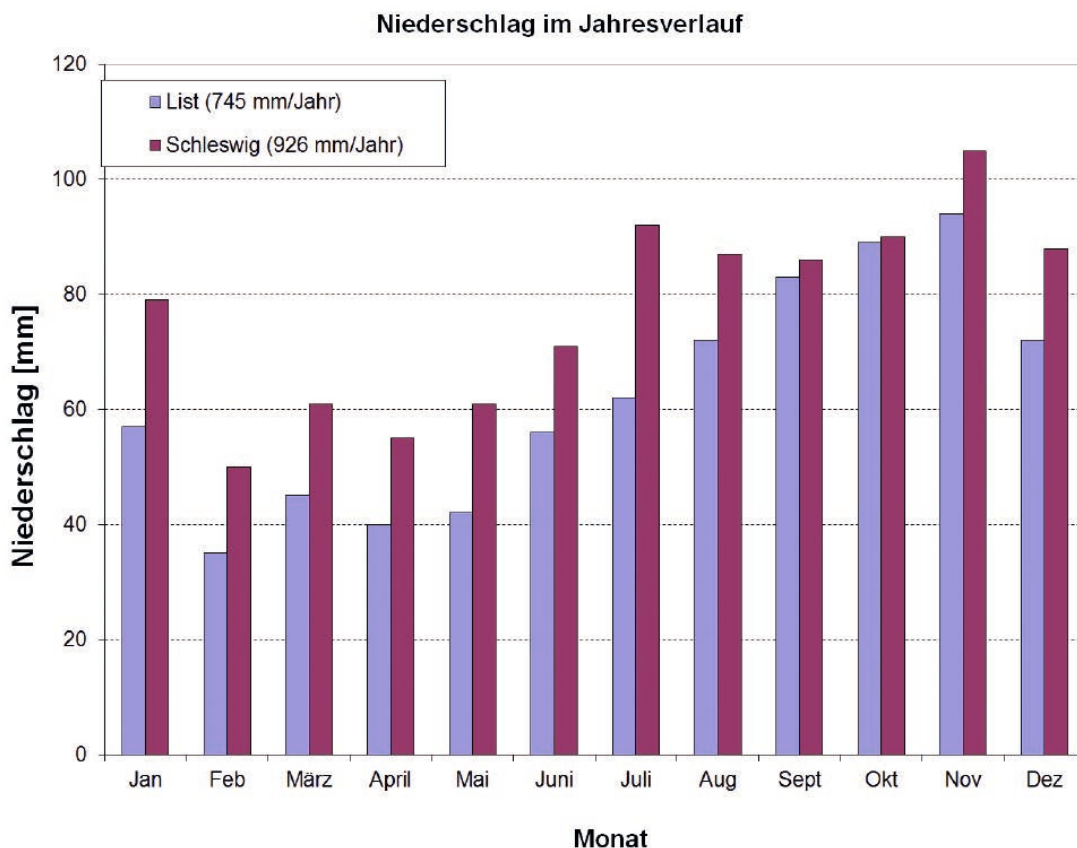


Abb. 17: Niederschlagshöhen in List und Schleswig im Jahresverlauf (Quelle: DWD)

Für die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung werden die Monate März bis Mai zum Frühjahr, Juni bis August zum Sommer, September bis November zum Herbst und Dezember bis Februar zum Winter zusammengefasst. Zunächst zeigt sich, dass der Herbst mit im Durchschnitt knapp 270 bis über 280 mm die meisten Niederschlagsanteile im Jahr hat. Ihm folgt der Sommer mit weniger als 200 bis mehr als 250 mm. Das Frühjahr hat den geringsten Anteil mit etwa 130 bis 180 mm.

Nährstoffe

Die beiden wichtigsten gelösten Nährstoffe sind Nitrat und Phosphat, die anhand der Winterkonzentrationen (zwischen dem 1. Nov. und dem 28. Feb.) bewertet werden. Die Phosphatkonzentration im Wasser des Wattenmeeres hat seit Mitte der 1980er Jahre abgenommen. Ursache ist im Wesentlichen die Verwendung phosphatfreier Waschmittel und die zunehmend effizientere Abwasserbehandlung (Phosphor-Eliminierung).

Die Eutrophierung ist nach wie vor eines der größten ökologischen Probleme der deutschen Nordseegebiete. Ursache für die Eutrophierung sind vor allem die hohen Nährstoffeinträge über die Flüsse. Im Jahr 2005 wurden 418.016 Tonnen Stickstoff und 18.135 Tonnen Phosphor in die Oberflächengewässer im deutschen Nordsee-Einzugsgebiet eingetragen (Umweltbundesamt). Im Zeitraum von 1985 bis 2005 konnten diese Nährstoffeinträge um 48% für Stickstoff und 73% für Phosphor reduziert werden, wobei diese Erfolge hauptsächlich auf die Reduktion in den Punktquellen (z.B. Kläranlagenabläufe) zurückzuführen sind. Gegenwärtig stammen die anthropogenen Nährstoffeinträge überwiegend aus diffusen Quellen als Folge der intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Auch mit dem z. T. ungereinigten

Regenwasser von befestigten Flächen erfolgt ein nicht unerheblicher Nährstoffeintrag. Nährstoffe werden auch über die Atmosphäre eingetragen. Der Anteil der atmosphärischen Stickstoffeinträge am Gesamteintrag in der erweiterten Nordsee (OSPAR Region II) lag im Zeitraum von 1990 bis 2004 zwischen 25% und 39%. Hauptquellen dieser Einträge sind die Landwirtschaft und die Schifffahrt. Mit zunehmendem Schiffsverkehr ist grundsätzlich mit einer Erhöhung der Stickstoffeinträge über diesen Pfad zu rechnen. Wird die Nordsee jedoch als Stickstoffemissionskontrollgebiet (NOx Emission Control Area, kurz NECA) nach den Richtlinien der Seeschiffahrts-Organisation der Vereinten Nationen, der International Maritime Organisation (IMO) ausgewiesen, kommt es langfristig zu einer deutlichen Verringerung der Stickstoffoxid-Emissionen (NOx) aus dem Seeverkehr. Atmosphärische Einträge von Phosphat sind vernachlässigbar. Der Eintrag organischer, d.h. kohlenstoffreicher Materials führt zu sog. sekundären Eutrophierungseffekten, z.B. Sauerstoffmangel durch Zehrungsvorgänge im Gewässer und als Folge davon zu Nährstofffreisetzungen aus den Sedimenten (sog. interne Düngung).

Auch wenn der Eintrag von Nährstoffen, insbesondere von Phosphat rückläufig ist, ist die derzeitige Nährstoffkonzentration im Wattenmeer nach wie vor fünfmal höher als vor der Industrialisierung. Aufgrund unterschiedlicher Belastungen aus den Binnengewässern wie z. B: Rhein, Weser und Elbe ist die Eutrophierung im südlichen Teil des Wattenmeeres stärker als im nördlichen Teil.

Abbildung 18 zeigt die abflussnormierten Stickstoff- und Phosphoreinträge in das südliche Wattenmeer jeweils für Elbe und Weser sowie für Rhein, Maas, Noordzeekanaal, IJsselmeer und Ems.

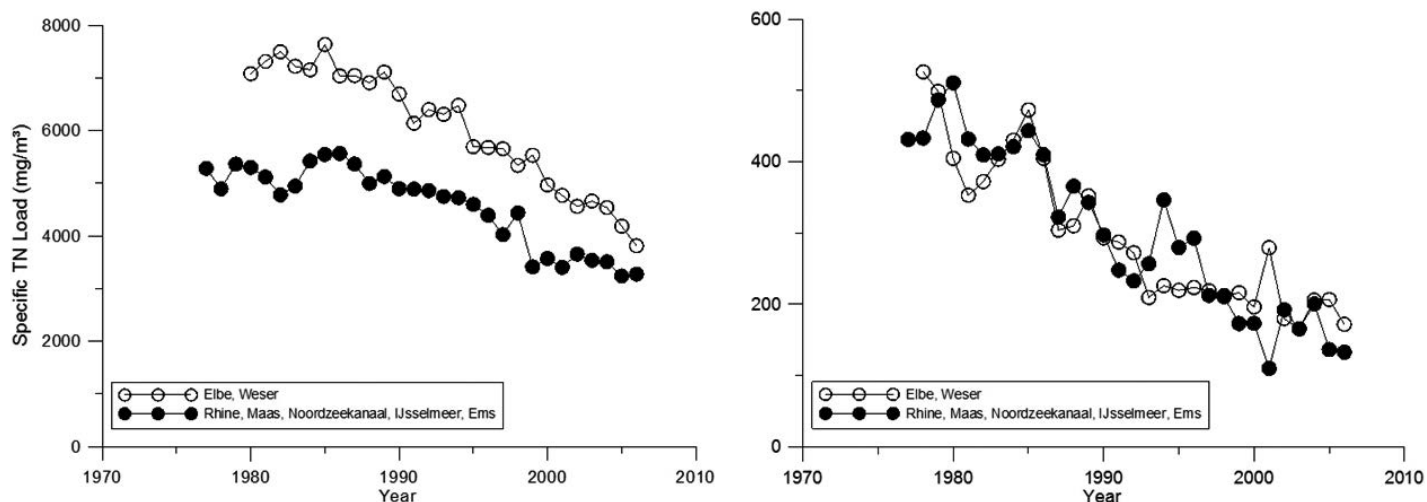


Abb. 18: Spezifische Stickstoff- (links) und Phosphoreinträge (rechts) in das südliche Wattenmeer (Quelle: Quality Status Report Wadden Sea 2009)

Schadstoffe

Die weitaus meisten Schadstoffe gelangen über die Flüsse in das Wattenmeer. Die deutschen Flüsse Elbe, Weser und Ems führen gemeinsam mit dem niederländischen IJsselmeer dem Wattenmeer jährlich durchschnittlich 60 km³ Wasser zu. Dabei werden neben Nährstoffen u.a. Schwermetalle, PCB und Pestizide wie Lindan eingetragen. Die Menge umweltschädlicher Stoffe richtet sich weitgehend nach der Abflussmenge der Nordseezuflüsse. Diese weist infolge von Unterschieden bei jährlichen Niederschlagsmengen in den Einzugsgebieten eine große Schwankungsbreite auf. Extremereignisse wie das Hochwasser 2013 führen dadurch zu erhöhten Nähr- und Schadstoffeinträgen. Im Wattenmeer selbst kann eine allgemeine Verminderung der Schadstoffkonzentration beobachtet werden.

In den meisten Teilen der Wattenmeerregion gehen die Konzentrationen vieler Schadstoffe im Sediment und in den Lebewesen zurück. Bei einer ganzen Reihe von xenobiotischen, also „lebensfeindlichen“, sprich giftigen chemischen Verbindungen sind die Einleitungsmengen und Konzentrationen im Wattenmeer zurückgegangen. Teilweise stellen die Stoffe für das Ökosystem aber immer

noch ein Risiko dar. Zahlreiche neu entwickelte Xenobiotika, darunter Stoffe, die Störungen des Hormonsystems verursachen, kommen im Ökosystem Wattenmeer vielfach vor und könnten sich schädlich auswirken.

Relevante Eintragungspfade für nicht-synthetische Verbindungen sind Einträge über Flüsse, Einträge über den Luftpfad, die Schifffahrt sowie aus der Erdöl- und Erdgasindustrie. Abbildung 19 zeigt die relativen Schwermetalleinträge der deutschen Nordseezuflüsse Elbe, Weser, Ems und Eider bezogen auf das Jahr 1990 für die Elemente Cadmium, Quecksilber, Kupfer, Blei und Zink. Die Quecksilber- und Cadmium-Einträge über Elbe, Weser und Ems in die Nordsee sind seit Jahren rückläufig (2008 nur noch 12% Quecksilber und 38% Cadmium der Einträge im Bezugsjahr 1990). In der Eider ist kein eindeutiger Trend nachweisbar. Maßnahmen wie modernisierte Abwasserreinigungstechniken trugen entscheidend zur Abnahme bei. Gelegentlich werden erhöhte Konzentrationen gemessen, insbesondere nach niederschlagsreichen Perioden mit nachfolgendem Hochwasser (vgl. Jahr 2002), das die in den Flusssedimenten akkumulierten Schadstoffe mobilisiert und damit zu einem stark erhöhten Schwermetalleintrag in die Küstengewässer führt.

Schwermetallfrachten deutscher Flüsse in die Nordsee
(Elbe, Weser, Ems und Eider)

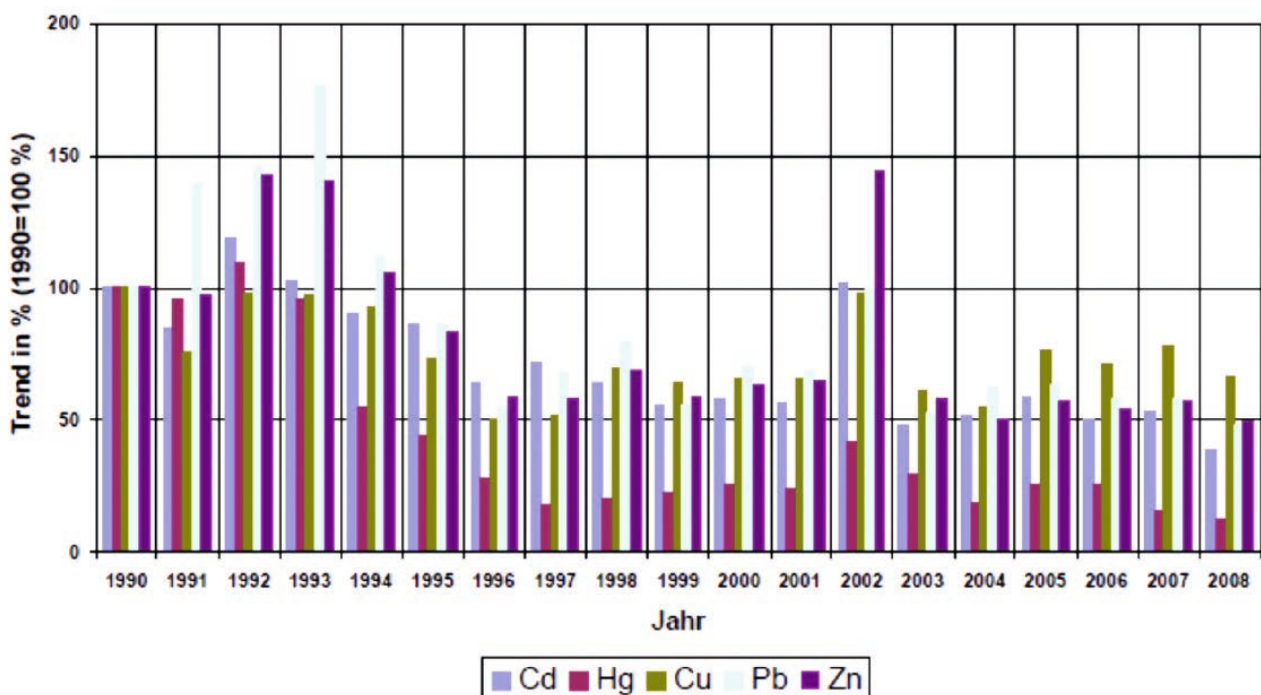


Abb. 19: Schwermetalleinträge über die deutschen Zuflüsse in die Nordsee (Jahr 1990 = 100%) (Quelle: Umweltbundesamt nach Angaben der Küstenländer für Berichterstattung OSPAR, Stand: 2009)

Für die Schwermetalle Cadmium, Quecksilber, Zink, Kupfer und Blei zeigt sich ein Rückgang der Einträge in die Oberflächengewässer im deutschen Nordseeinzugsgebiet, dabei konnten die größten Eintragsreduzierungen für Quecksilber und Cadmium erreicht werden.

Bei einigen Metallen wie Quecksilber, Blei, Zink usw. wurden die angestrebten Hintergrundkonzentrationen in Sedimenten und Lebewesen (Miesmuscheln und Vogeleier) noch nicht in allen Teilgebieten des Wattenmeeres erreicht. Die größten Reduzierungen beim Schwermetalleintrag in das Wattenmeer erfolgten hauptsächlich Anfang der 1990er Jahre und setzten sich in mäßigem Umfang bis 2002 fort.

Organische Schadstoffe

Für die meisten organischen Schadstoffe ist die Elbe die Haupteintragsquelle für die Deutsche Bucht. Generell nehmen die Schadstoffgehalte von der Küste zur offenen See hin ab. Für die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und die meisten Chlorkohlenwasserstoffe lassen sich aufgrund hoher Konzentrationsschwankungen im Meerwasser und nur kurzer verfügbarer Zeitreihen keine robusten Trends erkennen. Die Konzentrationen der Hexachlorcyclohexan-Isomere α -HCH und γ -HCH sind hingegen im Zeitraum von 1989 bis 2007 exponentiell zurückgegangen. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen werden in der Deutschen Bucht nicht mehr für „klassische“ lipophile Schadstoffe beobachtet, sondern für „moderne“, eher polare und persistente Pestizide. Deren räumliche Verteilung gibt klare Hinweise darauf, dass die großen in die südliche Nordsee entwässernden Flüsse die Haupteintragsquellen darstellen.

Abbildung 20 zeigt die Summe der polychlorierten Biphenylfrachten (PCB-Frachten) und die abflussnormierten Frachten von Nordseezuflüssen (Ijsselmeer, Ems, Weser, Elbe und Eider) von 1986 bis 2006.

5.2 Biotische Grundlagen

Das Wattenmeer ist ein weltweit einmaliges Großökosystem, das gekennzeichnet ist von Biotopen und Arten, die an die extremen abiotischen Bedingungen (s. Kap. 5.1, z.B. temporäre Wasserbedeckung/Tidenhub, Änderungen im Salzgehalt des Wassers, Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf, morphodynamische Prozesse) angepasst sind. Diese Lebensräume und Arten bzw. Artengemeinschaften lassen sich nicht an anderer Stelle reproduzieren. Angesichts eines mit dem Klimawandel einhergehenden Meeresspiegelanstiegs und weiteren Faktoren wie sich ändernden Sedimentationsprozessen, Strömungen und Temperaturen stellt sich deshalb die Frage, ob sich Arten und Lebensräume an die klimatischen Änderungen anpassen können und was dies für das Ökosystem Wattenmeer insgesamt bedeutet.

Nicht zuletzt die Anerkennung als Weltnaturerbe, die Ausweisung als Nationalpark und als Teil des europaweiten Schutzgebietsnetzes zur Bewahrung der biologischen Vielfalt (Natura 2000) verpflichten dazu, das Wattenmeer in seiner ökologischen Bedeutung zu erhalten.

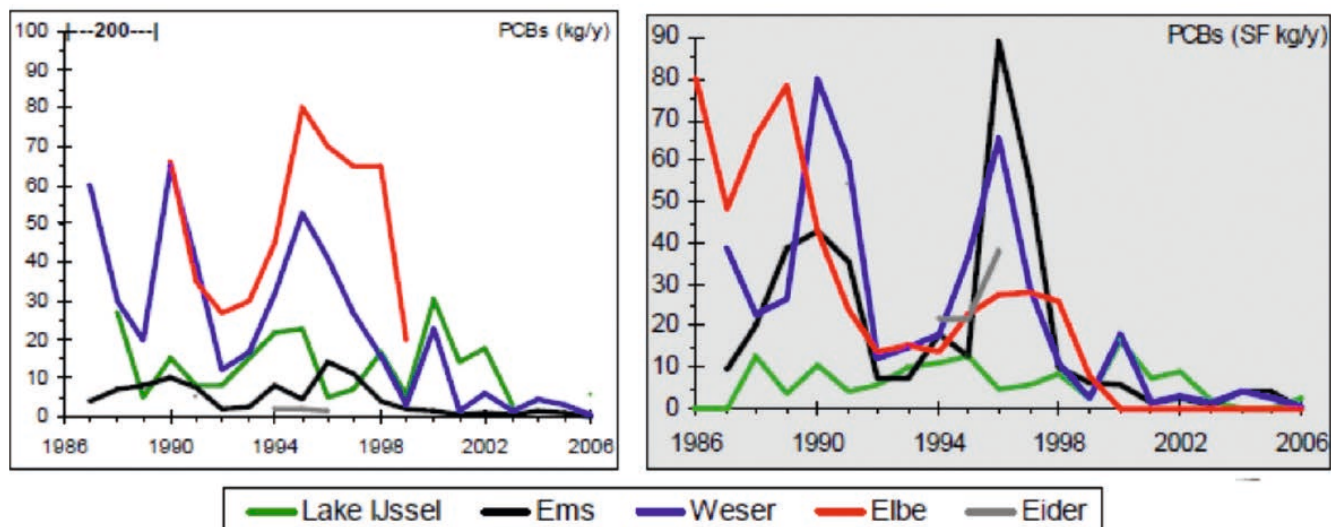


Abb. 20: PCB-Frachten (kg/Jahr) der Nordseezuflüsse, rechts: abflussnormierte PCB-Frachten (auf 1010 m³/Jahr) (Quelle: Quality Status Report Wadden Sea 2009)

5.2.1 Die Lebensräume des Wattenmeeres

Die Darstellung der Lebensräume des Wattenmeeres orientiert sich an den Lebensraumtypen (LRT) entsprechend der EU-Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Die für das Wattenmeer und die Strategie wichtigsten LRT sind in der Tabelle 3 benannt.

Große Teile des Betrachtungsraums sind als FFH- und/oder Vogelschutzgebiet ausgewiesen und damit Teil des Europäischen Netzwerks Natura 2000.

Wattflächen, Priele und sublitorale Außenküste

Die eigentliche Gezeitenzone, also der Bereich zwischen mittlerer Tidehoch- und Springtideniedrigwasserlinie, wird als Eulitoral bezeichnet. Dieser Bereich mit seinen ausgedehnten Flächen des Sand-, Misch- und Schlickwatts wird im Vergleich zu den anderen Lebensräumen des Wattenmeeres besonders stark von der Tide beeinflusst. Der sich unterhalb und seewärts der Springtideniedrigwasserlinie anschließende Bereich stellt das Sublitoral dar.

Die Gezeitenzone ist mit ihrem sich ständig verändernden Muster von Watten und Prielen der Lebensraum, der besonders typisch für das Wattenmeer und in dieser

Ausdehnung weltweit einmalig ist. Aufgrund des täglichen Gezeitenwechsels und der offenen Verbindung zur Nordsee ist dieser Tidebereich sehr dynamisch.

Die Priele und Wattrinnen, die bei Flut das Wasser in den Gezeitenbereich bringen, stellen das Sublitoral dar. Dabei macht der Gezeitenbereich etwa zwei Drittel und die ständig wasserführenden Priele und Wattrinnen etwa ein Drittel des gesamten Bereichs aus.

Neben den engen abiotischen Zusammenhängen, insbesondere dem Wasser- und Sediment austausch zwischen Sub- und Eulitoral, bestehen auch vielfältige biotische Zusammenhänge durch den Austausch und die Wanderung von Tieren und Pflanzen und der Verbreitung ihrer Fortpflanzungsstadien.

Seewärts an das eigentliche Wattenmeer schließt die sublitorale Außenküste an. Die natürliche Morphologie dieses Bereiches steht in engem Zusammenhang mit der natürlichen Dynamik und der Ökologie der Wattbereiche, Außensände, Strände und Dünen. Daneben bestehen auch enge Beziehungen dieser Lebensräume zur Nordsee. Phytoplankton aus der Nordsee wird in das Wattenmeer transportiert und nach dem Absterben remineralisiert. Die Zufuhr von organischem Material aus dem Offshore-Bereich ist einer der Hauptgründe des reichen Nahrungsangebots im Wattenmeer.

Code	Name	Fläche aus Standarddatenbogen ¹⁾	
		ha	%
1110	Sandbänke mit nur schwacher ständiger Überspülung durch Meerwasser	9500	2,10
1130	Ästuarien	15000	3,32
1140	Vegetationsloses Schlick-, Sand-, und Mischwatt	130000	28,73
1150	Lagunen des Küstenraumes (Strandseen)*	5	0,0
1160	Flache große Meeresarme und -buchten (Flachwasserzonen und Seegrasswiesen)	291270	64,38
1170	Riffe	630	0,14
1210	Einjährige Spülsäume	20	0,00
1220	Mehrjährige Vegetation der Kiesstrände	50	0,01
1310	Pioniervegetation mit <i>Salicornia</i> und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt)	1700	0,38
1320	Schlickgrasbestände (<i>Spartinion maritimae</i>)	1650	0,36
1330	Atlantische Salzwiesen (<i>Glauco-Puccinellietalia-maritimae</i>)	3240	0,72
1330	Atlantische Salzwiesen (<i>Glauco-Puccinellietalia-maritimae</i>)	2220	0,49
1330	Atlantische Salzwiesen (<i>Glauco-Puccinellietalia-maritimae</i>)	1650	0,36
2110	Primärdünen	15	0,00
2120	Weißdünen mit Strandhafer <i>Ammophila arenaria</i>	35	0,01

Tab. 3: Übersicht über die FFH-Lebensraumtypen im Wattenmeer

Sowohl das Eulitoral als auch das Sublitoral stehen unter dem besonderen Schutz der FFH-Richtlinie. Neben den freien vegetationslosen Wattflächen zählen hierzu als besondere biotische Merkmale auch Seegraswiesen. Im flachen und tieferen Sublitoral des Betrachtungsraums werden verschiedene LRT unterschieden. Neben sublitoralen Sandbänken (im Gebiet der Amrumbank) und biogenen (d.h. von dem Röhrenwurm Sabellaria oder aus (Mies)Muscheln gebildeten) Riffen, zählt der überwiegende Teil zum LRT „Flache große Meeresarme und Buchten“, der als sog. komplexer Lebensraumtyp weitere FFH-LRT beinhalten kann.

Für diese Lebensraumtypen gilt allgemein, dass die für sie typischen abiotischen und biotischen Prozesse in ihrer natürlichen Dynamik weitestgehend erhalten bleiben sollen.

Dies bedeutet neben Stoffaustausch zwischen den ins Wattenmeer mündenden Flüssen, dem Gezeitenbereich und dem tieferen Sublitoral insbesondere die Nahrungsverfügbarkeit und Eignung als temporäres und/oder dauerhaftes Habitat für die wattenmeertypischen Arten.

Ästuarie

Ästuarie bilden den Übergangsbereich vom Fluss zum Meer. Weltweit stellen Ästuarie und Deltas die wichtigsten Küstenfeuchtgebiete dar. Das ist im Wattenmeer anders. Auch wenn ästuarine Habitate durchaus vorhanden sind, bilden sie kein vorherrschendes Merkmal und weisen im Vergleich zu marinen Teilen des Wattenmeeres nur eine geringe Fläche auf. Trotzdem sind sie für das Ökosystem Wattenmeer von hoher Bedeutung, aufgrund der Stoffeinträge über die Flüsse (z.B. Sedimente, Nähr- und Schadstoffe) und als spezielles Habitat, das durch eine starke Variabilität der Salinität, des Tidenhubs und der Trübung charakterisiert ist.

Zu den Ästuarie zählen die Flussmündungen, in denen ein natürlicher Wasseraustausch mit dem Wattenmeer stattfindet. Im schleswig-holsteinischen Wattenmeer gibt es zwei Ästuarie mit „offenem Zugang“ zum Wattenmeer, die Eider und die Elbe. Sie werden von verschiedenen Brackwasserarten, aber auch ästuar-endemischen Arten, die also nur in Ästuarie vorkommen, bewohnt.

Ästuarie werden zum Land hin durch die mittlere Brackwasserlinie der Flüsse abgegrenzt und zum Meer hin durch die mittlere 10-PSU-Isohaline bei Hochwasser im Winter (Isohalinen sind Linien gleichen Salzgehaltes im Wasser, der in PSU (Practical Salinity Units) gemessen wird). Die landseitige Grenze bilden die Hauptdeiche,

oder falls keine Hauptdeiche vorhanden sind, die Springtiden-Hochwasserlinie.

Die ästuarine Gebiete an der Westküste Schleswig-Holsteins sind größtenteils als Natura 2000-Gebiete ausgewiesen (LRT 1130). Ästuarie sind so genannte komplexe Lebensraumtypen und beinhalten eine Vielzahl weiterer FFH-Lebensraumtypen. Eingeschlossen sind auch durch das Ramsar-Übereinkommen und/oder die EG-Vogelschutzrichtlinie ausgewiesene Binnenlandgebiete.

Durch den Klimawandel wird sich die ökologische Situation in den Ästuarie infolge eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs, steigender Temperaturen und anderer Faktoren wie Änderungen beim Süßwasser-Abflussregime verändern. Zudem wird der Klimawandel Anpassungsmaßnahmen beispielsweise in Bezug auf den Küstenschutz notwendig machen. Dies kann zusätzliche Auswirkungen auf das ästuarine Ökosystem zur Folge haben.

Salzwiesen

Der Lebensraum Salzwiese umfasst alle Ausprägungen des Übergangsbereichs von der Pionierzone bis hin zur hoch gelegenen Salzwiese entlang der Festlandsküste, auf den Inseln und Halligen. Die Brackwassermarschen in den Ästuarie werden ebenfalls als Teil dieses Lebensraumes betrachtet.

Salzwiesen unterliegen vielfältigen geomorphologischen und biologischen Prozessen. Sie bieten Lebensraum für viele Organismen, insbesondere für Wirbellose, und haben eine wichtige Habitatfunktion für zahlreiche Vogelarten (s. 5.2.2). Als strukturelles Element haben sie eine große Bedeutung für den Hochwasser- und Küstenschutz, da sie beispielsweise die auf den Deich treffende Wellenenergie bei Überflutung mindern.

Natürlich entstandene Salzwiesen gedeihen sowohl auf tonreichen Sedimenten als auch auf sandigen Standorten. Sie sind von gewundenen und verzweigten Prielen durchzogen. Sie weisen eine biologische Zonierung auf, die von der Pionierzone bis hin zu höher gelegenen Salzwiesen reicht. Auf den Inseln und an sandigen Küstenabschnitten gehen die Salzwiesen häufig in eine Dünenvegetation über. Sandsalzwiesen sind auf den Inseln und an der Festlandsküste auf Eiderstedt ausgebildet. Besonders breite Salzwiesen bilden an ihrer seeseitigen Grenze Abbruchkanten oder kleine Salzwiesenkliffs aus. Davor kann sich wiederum eine Salzwiese ausbilden und es entsteht eine natürliche Terrassierung.



Abb. 21: Natürliche Salzwiesenentwicklung auf der Rückseite der Insel Trischen (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Vorlandsalzwiesen sind überwiegend in Lahnungsfeldern entstanden und weisen ein regelmäßiges Entwässerungssystem auf. Zu finden sind sie vorwiegend an tiefer gelegenen Stellen vor den Deichen, wo die natürlichen Entwicklungen nach dem Deichbau nicht unmittelbar zur Bildung von Salzwiesen geführt hätten. Im südlichen Dithmarschen haben sich in den letzten Jahrzehnten große Salzwiesen vor den Lahnungsfeldern ausgebildet. Es sind natürlich entstandene Vorlandsalzwiesen mit besonders natürlich ausgebildeten morphologischen Strukturen.

Alle Salzwiesen sind Bestandteil von Natura 2000-Gebieten und umfassen eigene Lebensraumtypen. Für alle Lebensraumtypen bestehen nationale Erhaltungsziele, für den LRT „Atlantische Salzwiesen“, der das Salzgrünland der deutschen Nordseeküste mit weitgehend geschlossener Vegetationsdecke beschreibt, sogar ein bedingtes Wiederherstellungsgebot.

Strände, Außensände und Dünen

Strände und Dünen werden durch weitläufige Strandebenen sowie durch die verschiedenen Dünentypen charakterisiert. Die Mehrzahl der Strände und Dünen liegen an der der Nordsee zugewandten Seite der sandigen Inseln. Auf dem Festland sind Strände und Dünen nur auf der Halbinsel Eiderstedt zu finden.

Sandstrände sind ein sehr dynamisches System an der Wattenmeerküste. Sie sind beständigen Veränderungen

aufgrund der Einflüsse von Wind, Gezeiten und Strömungen ausgesetzt. Dünen entwickeln sich an solchen Stellen, an denen der Wind Sand in Bewegung setzt und in der Regel landeinwärts bläst. Verfangt sich der Sand hinter Muschelschill, Pflanzen oder Angespültem, können sich Primärdünen bilden. Im Laufe der Zeit kommt es zu einer Abfolge aus Primär-, Weiß-, Grau- und Braundünen.

Strände, Außensände und Inseln stellen im Wattenmeer eine Barriereketten dar und sind Lebensraum für zahlreiche und häufig hoch spezialisierte Tier- und Pflanzenarten. Außensände haben zudem aufgrund ihrer exponierten Lage und damit ihrer Abgeschlossenheit eine wichtige Funktion als Rast- und Brutgebiet für Vögel sowie als Wurf- und Liegeplatz für Kegelrobben und Seehunde. Die Dünen auf den Inseln und entlang der Festlandsküste weisen eine hohe Biodiversität auf. Insbesondere feuchte Dünentäler sind von überragender Bedeutung, da sie von einer ganzen Reihe gefährdeter Arten besiedelt werden. Nahezu alle Dünengebiete und die mit Vegetation bestandenen Strandbereiche sind FFH-Lebensraumtypen und sollen in ihrer besonderen Funktion und Vielfalt erhalten werden.

Die besondere Bedeutung der Dynamik im Wattenmeer zeigt sich in der jüngsten Entstehung einer neuen Düneninsel auf dem Norderoogsand (Abb. 16), die sich innerhalb von wenigen Jahren zu einem artenreichen Lebensraum mit seltenen Pflanzenarten entwickelt hat.

5.2.2 Biologische Merkmale

Ein typisches Merkmal des Tidebereichs des Wattenmeeres ist seine hohe biologische Produktivität. Sie ist der Hauptgrund dafür, dass das Wattenmeer für Nordseefische ein bedeutendes Laich- und Aufwuchsgebiet („Kinderstube“) und für eine große Zahl von Brut- und Zugvögeln ein Nahrungs-, Mauser- und Rastgebiet ist. Zu den charakteristischen biologischen Merkmalen der Gezeitenzone gehören neben den im Boden lebenden Tieren unter anderem Muschelbänke, Sabellaria-Riffe und Seegraswiesen.

Wattflächen (Eulitoral)

Die Produktion benthischer Biomasse - also der am oder im Meeresboden lebenden Organismen - ist im Watt sehr hoch, da es zwei Nahrungsquellen gibt: die mikrobielle Produktion und die Mikroalgen-Produktion auf

der Sedimentoberfläche (= benthisch) sowie die Phytoplankton-Zufuhr mit den Gezeiten aus den Offshore-Gewässern (= pelagisch, dem Wasserbereich angehörend). Diese benthischen und pelagischen einzelligen Mikroalgen sind für Wirbellose viel leichter zu konsumieren als größere Pflanzen. Somit sind die Nahrungsgeflechte in der Tidezone hochgradig effizient.

Die Sediment-Oberfläche ist von mikroskopisch kleinen Algen bedeckt. Insbesondere kleine Schnecken weiden diese Algen ab und dienen ihrerseits als Nahrung für Krebse, Garnelen und Fische und auch für einige Vogelarten wie die Brandgans.

Die meisten marinen Organismen in den Sedimenten der Tidezone sind recht klein, die Wattflächen beherbergen aber auch große Sedimentbewohner wie den Wattwurm, der bis zu 20 cm lang werden kann.



Abb. 22: Die junge Düneninsel auf dem Norderoogsand ist ein Beispiel für die Dynamik der Lebensräume im Wattenmeer. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Die Dichte und Diversität der Wattfauna ist höher als in den meisten anderen Küstenbiotopen. Die durchschnittliche Biomasse beträgt rund 50 g organisches Trockengewicht je m², womit dieser Wert 10 bis 20 mal höher als im Offshore-Bereich liegt. Ebenfalls von Bedeutung ist, dass ein Großteil dieser Biomasse relativ einfach zu erreichen ist, und zwar für Fische bei Hochwasser und für Vögel bei Ebbe.

Wattvögel und Möwen folgen dem ablaufenden Wasser bei Ebbe bis zum tiefsten Wasserstand, um in flachen Pfützen zurückgebliebene und sich unter der Sedimentoberfläche verbergende Tiere zu erbeuten. Offenkundig sind diese Wattflächen so reich an Ressourcen, dass Vögel von weither einfliegen. Allerdings gehen Vögel nicht gleichmäßig im gesamten Wattbereich auf Nahrungssuche. So können ihre bevorzugten Beutetiere nur in bestimmten Zonen oder an besonderen Stellen vorkommen, nach ihrer Größe und Häufigkeit zwischen Schlick und Sand Unterschiede aufweisen oder nicht überall und zu jeder Zeit ohne Weiteres zugänglich sein. Genau deshalb ist die große zusammenhängende Tidezone für die nahrungssuchenden Vögel so wichtig. Damit können sie ihre Strategien zur Nahrungssuche optimieren und die zu bestimmten Zeiten günstigsten Stellen auswählen.

Neben den vegetationsfreien Sand-, Schlick- und Mischwatten gibt es auch Flächen, die von Matten aus Makroalgen, Muschelschill, Seegräsern oder Miesmuschelbänken bedeckt sind und wiederum spezifische Artengemeinschaften aufweisen.

Die Verteilung und das Vorkommen der Wattenmeersedimente sind aufgrund der hydrodynamischen Verhältnisse nicht gleichbleibend. Grundsätzlich kommen die feineren Sedimente mehr landwärts und in Buchten vor. In einer langwährenden Vergleichsuntersuchung im Königshafen von Sylt konnte festgestellt werden, dass der Anteil feiner Wattsedimente in jüngerer Zeit stark zurückgegangen ist. Als Ursache wird eine klimabedingte Zunahme der Hydrodynamik angesehen. Eine Entwicklung, die im gesamten Wattenmeer zu beobachten ist und oft mit einer Abnahme stabilisierender Vegetation (Seegras) oder von Muschelbänken auf solchen Flächen einhergeht. Gleichzeitig nimmt der Anteil von Sandwatten mit großen flachen Megarippeln zu.

Auch die Besiedlung der Watten hat sich infolgedessen verändert. Die noch in den 1930er-Jahren aufgetretene bandförmige Zonierung der Sandwattbesiedler hat sich aufgelöst, wie eine andere aktuelle Untersuchung im Königshafen von Sylt zeigt. Cyanobakterienmatten mit

charakteristischer Käferbesiedlung, Schlickkrebsvorkommen und Zwergseegrasbestände haben nahe der Hochwasserlinie abgenommen, und Wattwurmbestände haben sich in diesem Gürtel ausgebreitet. Auch diese Veränderungen werden auf eine geänderte Hydrodynamik infolge des Klimawandels zurückgeführt.

Seegraswiesen

Bei Seegras handelt es sich um Unterwasser-Blütenpflanzen, die evolutionär in Süßwasser entstanden sind und von dort aus flache Küstengewässer besiedelt haben. Nur zwei der weltweit 60 Seegrasarten konnten sich in dem Gebiet des Wattenmeeres etablieren, und zwar das Kleine oder Zwergseegras (*Zostera noltii*) sowie das Große oder Gemeine Seegras (*Zostera marina*).

Diese *Zostera*-Wiesen bieten ein Substrat für Algen, die ihrerseits von Schnecken und anderen Wirbellosen abgeweidet werden. Das Blätterdach und die Rhizome bieten Schutz für kleine Tiere wie juvenile Muscheln sowie für Krebstiere und Fische, welche die Seegraswiesen als Brutstätten nutzen.

Im Herbst bilden *Zostera*-Wiesen die bevorzugte Nahrung von Ringelgans und Pfeifente. Im Wattenmeer sind die meisten Seegraswiesen in der mittleren bis oberen Gezeitenzone entlang der Leeseite von Inseln und hohen Sandbänken sowie an geschützten Teilen der Festlandsküste zu finden.

Das Zwergseegras ist eine typische Art der Wasserwechselzone. Seine Bestände wiesen in den 1970er- bis 1990er-Jahren eine eng begrenzte Verbreitung auf. Seit dieser Zeit haben sich die Bestände kontinuierlich erholt und bedecken heute 10-16 % der Wasserwechselzone im nördlichen schleswig-holsteinischen Wattenmeer. Damit dürfte wieder eine Ausdehnung erreicht sein, die einem historischen Maximum in den 1930er-Jahren entspricht. Gründe für die fast 60%ige Abnahme ab den 1970er-Jahren dürften in einer längeren Phase starker Eutrophierung des Wattenmeeres begründet sein. In jüngerer Zeit ist eine lokale Abnahme in Gebieten mit starker Hydrodynamik festzustellen.

Muschelbänke

Muschelbänke sind generell von Felsküsten bekannt. Im Wattenmeer jedoch konnten Muscheln auch auf lockeren Sedimenten dauerhafte Bänke entwickeln. Miesmuscheln kommen in einem Gürtel von leicht oberhalb bis zu einigen Metern unterhalb Springtideniedrigwasser vor. Miesmuscheln haben die Fähigkeit, sich durch Byssusfäden aneinanderzuheften. Dies hat den Vorteil, dass sich die



Abb. 23: Großes und Kleines Seegras im Wattenmeer vor der Hallig Langeness (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Muschel-Ansammlungen der Verlagerung durch Wellen und Strömungen widersetzen können. Dadurch können sie auf der Sedimentoberfläche leben, ohne sich darin eingraben zu müssen, wie dies bei anderen Muscheln zumeist der Fall ist.

Miesmuscheln können langgestreckte Bänke bilden, die senkrecht zur Hauptströmung des Gezeitenwassers verlaufen. Miesmuschelbänke ermöglichen die Ablagerung großer Mengen von Schwebstoffen und können sich dadurch 0,5 m oder mehr über die umgebende Sedimentoberfläche erheben. Die Sedimentation kann durch Makroalgen, die an den Muscheln haften, weiter gesteigert werden. Sedimente werden teilweise innerhalb der Bank abgelagert, teilweise in deren Umgebung oder nach Stürmen sogar auf Lahnungsfeldern und auf Salzwiesen. Somit haben die Muschelbänke eine gewisse Bedeutung für den Sedimenthaushalt des Wattenmeeres. Muschelbänke erhöhen die Umschlagquote organischer Stoffe durch deren Filtrierung, Zersetzung und Aufschließung und liefern gelöste Nährstoffe für die Primärproduktion. Sie stellen ein wichtiges natürliches Hartsubstrat dar und bieten Lebensraum für eine entsprechende Begleitfauna und -flora von

Algen und Wirbellosen, welche andernfalls im Wattenmeer fehlen würde. Watvögel und Möwen werden von eulitoral-muschelbänken und die tauchfähigen Meeresenten von sublitoralen Bänken als Nahrungsangebot angezogen.

Seit Anfang der 2000er-Jahre ist es zu einer Besiedlung fast aller Miesmuschelbänke im zentralen Wattenmeer durch die eingeschleppte Pazifische Auster sowie eine Begleitfauna und -flora mit vielen weiteren eingeschleppten Arten gekommen. Als wesentlicher Grund für das Auftreten und die rapide Verbreitung der Pazifischen Auster wird neben der Kultivierung der Art die höhere mittlere Wassertemperatur der Nordsee angesehen. Letzteres ist eine deutliche Folge des Klimawandels. Eine Reihe von aufeinanderfolgenden kalten Wintern hat umgekehrt zu einem Absterben großer Austerbänke geführt. Inzwischen werden die vorhandenen Austerbänke aber wieder mit Miesmuscheln besiedelt, und es gibt erste Nachweise, dass sowohl junge Auster als auch die Begleitfauna in den gemischten Bänken heute von Watvögeln genutzt werden, wohingegen Silbermöwen durch den Habitatwechsel in ihrer Nahrungsaufnahme eingeschränkt sind.

Sublitorale Sandbänke und Rinnen

Die Diversität von Organismen, die auf der Sediment-Oberfläche leben, ist im Sublitoral höher als in der Wasserwechselzone und auch höher als in dem von Wellen durchmischten Offshore-Bereich seewärts der Inseln und Sände. Im Sublitoral hinter den Inseln kommen Arten vor, welche der Trockenheit bei Ebbe nicht standhalten können, jedoch das reichhaltige Nahrungsangebot und den Schutz vor starken Wellen nutzen, gemeinsam mit Arten, die hauptsächlich in der Wasserwechselzone verbreitet sind. Schwämme, Manteltiere und koloniebildende Polypen, die an Muschelbänken haften, sind zumeist auf sublitorale Sandbänke beschränkt. Insbesondere die jungen Krebse, Garnelen und Fische, welche die Wattflächen nutzen, wandern früh mit dem ablaufenden Wasser in das Sublitoral und kehren mit der nächsten Flut zurück.

Die sublitoralen Sandbänke und tiefen Priele dienen der Fauna der Gezeitenzone auch als Rückzugsgebiet, wenn die Bedingungen in den kälteren wintermonaten dort zu hart werden. So können sich z.B. Herzmuschelbestände nach strengen Wintern, in denen die Population auf den exponierten Wattflächen dezimiert wurde, durch Aufstockung aus den geschützten Tiefengewässern in der Nordsee wieder erholen. Mobile Tiere, wie Fische, Krabben und Krebse, verlassen großenteils das Wattenmeer im Herbst, um in den wärmeren Gewässern der Nordsee zu überwintern, wonach sie wieder in das Wattenmeer zurückkehren.

Langzeitvergleiche zur Besiedlung des Sublitorals über einen Zeitraum von 55-60 Jahren zwischen den 1920er- und den 1980er-Jahren östlich von Sylt sowie in der Norderaue zwischen Föhr und der Hallig Langeness haben ergeben, dass bestimmte Arten durch menschliche Nutzung - überwiegend Fischereiaktivitäten - gänzlich verschwunden sind. Es sind dies die Europäische Auster und die von Würmern gebildeten Sabellaria-Riffe mit ihrer typischen Begleitfauna. Insgesamt hat sich die Artenzusammensetzung in beiden Gebieten substanziell verändert, obwohl die Artenanzahlen in etwa gleich geblieben sind. Insgesamt betrachtet haben die Muscheln und Schnecken abgenommen und die vielborstigen Würmer zugenommen.

Ästuar

Die Ästuar tragen Nähr- und Schadstoffe in das Wattenmeer ein, beeinflussen die Sedimentdynamik und sind als Aufzucht- und Nahrungsgebiet für wattenmeerspezifische Arten von hoher Bedeutung.

Die flachen Küstengewässer des Wattenmeeres, die zuströmenden Flüsse sowie die Ästuar weisen für viele

Fischarten im Wattenmeer überlebenswichtige ökologische Funktionen auf. Sie unterstützen Funktionen wie Reproduktion, Aufzucht und Ernährung, und sie dienen als Akklimatisierungsgebiet und Transitroute für Langstreckenwanderer vom Meer zu ihren Laichgründen im Süßwasser oder umgekehrt (süß-/salzwasserlaichende Arten). Dabei stellen die Ästuar mit ihrem infolge der Vermischung von Fluss- und Meerwasser ausgeprägten Salinitätsgradienten innerhalb des Wattenmeeres ein ganz spezielles Habitat dar. Das dokumentiert sich in einer besonderen Artenzusammensetzung der Fischfauna. Meererneunauge, Flussneunauge, Lachs und Schnäpel nutzen die Unterelbe als Wanderstrecke.

Eine Besonderheit stellen die Mauserbestände der Brandgänse vor der Elbmündung dar. Im Juli und August versammeln sich hier bis zu 200.000 Brandgänse aus dem gesamten Nordsee- und z. T. aus dem Ostseeraum. Unter den Gastvögeln, die sich zur Nahrungssuche überwiegend in den Vorländern der Ästuar aufhalten, dominieren Nonnengänse und Graugänse. Auf den Wattflächen suchen verschiedene Limikolenarten Nahrung. Das Ästuar ist bedeutsam für Knutts, Dunkle Wasserläufer und Sichelstrandläufer.

Ästuar werden zudem von verschiedenen, z.T. endemischen Brackwasser-Pflanzenarten bewohnt. Der Schierlings-Wasserfenchel, eine prioritäre Art der FFH-Richtlinie, hat seine Hauptverbreitung im Elbeästuar.

Die Ästuar und Flüsse des Wattenmeeres unterliegen erheblichen anthropogenen Belastungen, die in den aquatischen biotischen Gemeinschaften und insbesondere in der Fischfauna zu Tage treten. Zu den wichtigsten anthropogenen Faktoren, welche die Habitatbedingungen in Flusssystemen negativ beeinflussen, gehören Dämme, Schleusen, Wehre und die Unterhaltung von Fahrwassern.

Salzwiesen

Charakteristische und zugleich eigenartige Pflanzen gedeihen in der oberen Gezeitenzone. Zu den Salzwiesenpionieren gehört der Queller. Diese sukkulenten Halophyten mit ihrer segmentierten Wuchsform ähneln einer Wüstenpflanze, wachsen aber tatsächlich dort, wo sie zweimal täglich von den Gezeiten überflutet werden. Der Queller war bis vor achtzig Jahren der einzige Salzwiesenpionier auf den Wattflächen des Wattenmeeres. Dann führte man Schlickgras zur Sedimentationsförderung in Wassernähe ein.

Mit Queller und Schlickgras ist die Artenvielfalt in der Pionierzone recht gering. Diese nimmt jedoch mit zuneh-

mender Geländehöhe rasch zu. Die tiefliegende Salzwiese, die mehr als hundert Mal im Jahr durch Hochwasser überflutet wird, ist bei Beweidung durch das niedrigwüchsige Andelgras gekennzeichnet. Es kommt häufig gemeinsam mit dem lilablütigen Halligflieger vor. Auf lehmigen oder brackigen, nicht beweideten Salzwiesen blüht im Sommer die Strandaster. Auf gut entwässerten Prielrändern und Terrassen ist die Portulak-Keilmelde die vorherrschende Art. Auf der mittleren Salzweise mit weniger als 100 Fluten jährlich wächst ein dichter Rasen aus Rotschwengel und Salzbinse, gelegentlich gemeinsam mit Halligflieger und Strandbeifuß.

Wird die Beweidung durch Haustiere reduziert oder eingestellt, so können je nach Standortbedingungen, die Strandquecke, die Portulak-Keilmelde oder das Schlickgras dominante Pflanzenbestände in der Salzwiesen ausbilden. Unter brackigen Bedingungen herrscht das Schilf vor.

Im Elbeästuar entstehen Salzwiesen nur bei Beweidung. Aufgrund des geringen Salzgehalts von Wasser und

Boden setzen sich ohne Nutzung Schilfröhrichte durch. Die als Grünland genutzten Vorländer werden von Wiesenbrütern wie beispielsweise Uferschnepfe und Kiebitz als Bruthabitat genutzt. Die Röhrichtsäume entlang der Gräben werden von Blaukehlchen und Schilfrohrsänger besiedelt. Dort, wo größere zusammenhängende Landröhrichtflächen ausgebildet sind, brütet auch die Rohrweihe. Das westliche Neufelder Vorland beherbergt eine der größten Kolonien von Flusseeeschwalben und die letzte Brutkolonie der Lachseeeschwalbe Nordwest- und Mitteleuropas.

Dünen

Küstendünen entwickeln sich dort, wo Sand an trockenen Stränden in Bewegung versetzt und landeinwärts geweht wird. Der Sand fängt sich in Pflanzen, die eine Abfolge aus Primär-, Weiß-, Grau- und Braundünen entstehen lassen. Diese Trockendünenvegetation alterniert mit Feuchtdünenvegetation in den feuchten Dünentälern.



Abb. 24: Brandgans in der Mauser (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Die Dünensukzession beginnt mit Primärdünen und fängt gelegentlich sogar von einer Driftlinie trockener Sandböden aus an. Die salztolerante Dünenquecke, die oberhalb der feuchten Strandlinie wächst, ist der häufigste Pionier.

Sobald die Salinität gering genug ist, breitet sich der üppig wachsende Strandhafer aus. Mit fortschreitender Aufsandung wächst er nach oben, wobei ein ausgedehntes Wurzelsystem mit dem Grundwasser in Kontakt bleibt. Mit Strandhafer bewachsene Dünen nennt man Weißdünen. Die Wuchsfreude des Strandhafers lässt nach, wenn Dünen älter werden und Nährstoffe verlieren. Häufig greifen auch Nematoden die Wurzeln an und schwächen so den Strandhafer weiter. Dies ermöglicht einer vielfältigen Gruppe anderer Gräser, krautartiger Pflanzen und Sträucher die Besiedlung. Dabei sammelt sich Humus an, woraufhin der weiße Sand grau wird (Graudünen) und im Verlauf der weiteren Sukzession eine bräunliche Farbe annimmt, weil Eisenhydroxid freigesetzt wird (Braundünen). Dünen grasland herrscht im südlichen Wattenmeer vor, während Dünenheiden eher im Norden anzutreffen sind.

Sträucher zeigen sich oft auf der Leeseite von Weißdünen. Im südlichen Wattenmeer dominiert der Sanddorn, wo die Sandböden noch kleine Mengen von Kalk enthalten. Diese Kalkabhängigkeit ist der Grund, warum dieser Strauch auf den kalkarmen nördlichen Inseln des Wattenmeeres kaum zu finden ist. Hier ist die Sand-Kriech-Weide weit verbreitet.

Zwischen den Dünenketten kann sich Grundwasser ansammeln, was im Sommer zu feuchten Böden und im Winter zu länger andauernder Überschwemmung führen kann. Die Vegetation in diesen Dünentälern ist von hochgradiger Diversität geprägt und reicht von Pionierpflanzen, die viele extrem seltene Arten umfassen, bis hin zu Sumpfland, das von Gräsern oder Schilfbeständen dominiert wird.

Neben einer reichen Gliederfüßer-Fauna, insbesondere Ameisen, werden Dünen auch von Amphibien und Eidechsen, Kleinsäugetern und Vögeln besiedelt. Charakteristisch für Feuchtdünenbereiche sind Kreuzkröten. Nachts steigen die Kreuzkröten sogar die trockenen Dünen hinauf, um dort Insekten zu jagen. Fuchsfreie Düneninseln sind zudem wichtige Brutplätze für Möwen, Eiderenten, Brachvogel und Sumpfohreule.

Vögel

Das gesamte internationale Wattenmeer ist ein bedeutendes Gebiet für Brut- und Gastvögel. Mindestens 52 Populationen von 41 verschiedenen Arten sind in hohen

Zahlen im Wattenmeer als Durchzügler, zur Mauser oder als Wintergäste anzutreffen. Für 44 Populationen von 34 Arten stellt das Wattenmeer ein unentbehrliches Rastgebiet dar. Alle diese Arten sind dem so genannten Ostatlantischen Zugweg zuzurechnen, einem System von Zugrouten zwischen der Arktis von Grönland bis Westsibirien und Feuchtgebieten im westlichen und südlichen Afrika. Die wichtigsten Durchzügler und Wintergäste sind Gänse, Enten und Watvögel.

Vögel nutzen verschiedene Habitate des Wattenmeergebietes. Daher sind alle Lebensräume, die von einer Art oder Population genutzt werden, miteinander verbunden oder voneinander abhängig. Zum Beispiel müssen Nahrungsgebiete auf den Wattflächen und geeignete Rastplätze in den Salzwiesen in ausreichender Nähe zum Brutplatz einer Art vorhanden sein. Alle diese Lebensräume sind für die verschiedenen Arten zu unterschiedlichen Zeitpunkten wichtig und stellen eine wesentliche Voraussetzung für die natürliche Entwicklung dieser Arten im Wattenmeer dar.

Neben der Altvogel-Mortalität und der Zu- und Abwanderung wird die Bestandsentwicklung insbesondere von der Reproduktionsrate beeinflusst. Bei vielen Brutvogelarten verdichten sich in jüngster Zeit die Hinweise, dass die durchschnittliche jährliche Anzahl flügger Jungvögel nicht mehr ausreicht, die Bestände zu erhalten, und daher die Ursachen für Bestandsrückgänge in den Brutgebieten im Wattenmeer zu suchen sind. Da die meisten Küstenvogelarten ein hohes Lebensalter von etwa 20 - 30 Jahren erreichen können und die jährlichen Überlebensraten in der Regel hoch sind, werden Beeinträchtigungen des Bruterfolgs in der Bestandsentwicklung erst mit erheblicher Verzögerung erkennbar.

Mittlerweile liegen Trends für 34 Wasservögel (Rastvögel) in einem 24-Jahres-Zeitraum für das gesamte Wattenmeer vor (s. Abb. 25). Aus ihnen geht hervor, dass bei 8 Arten eine starke oder mäßige Zunahme, bei 12 Arten stabile Zahlen und bei 14 Arten rückläufige Trends zu verzeichnen sind.

Insbesondere bei Watvögeln und denjenigen Arten, die sich überwiegend in der Wasserwechselzone Nahrung suchen, ist der Rückgang am stärksten ausgeprägt. 12 von 13 im Bestand zurückgehende Arten gehören dieser Gruppe an und umfassen sowohl typische Brutvögel des Wattenmeeres wie Austernfischer, Säbelschnäbler und Rotschenkel als auch stärker auf landwirtschaftliche Flächen angewiesene Arten wie Kiebitz und Uferschnepfe. Die Hintergründe der beobachteten Trends sind nur teil-

weise bekannt. Zumindest bei einigen Arten wurde nachgewiesen, dass der Bruterfolg seit vielen Jahren zu gering ist, um die Bestände dauerhaft zumindest stabil zu halten. Ein verringertes Nahrungsangebot wirkt sich aktuell insbesondere auf muschel- und fischfressende Arten aus. Bei Strandbrütern wie See- und Sandregenpfeifer sowie Zwergseeschwalbe stellen Störungen sowie Habitatveränderungen und besonders die Einschränkung der natürlichen Küstendynamik bedeutende Negativfaktoren dar, die eine Umkehr des bei beiden Arten beobachteten langfristig rückläufigen Trends verhindern. Zusätzlich verursacht ein erhöhter Prädationsdruck durch Landraubtiere wie den Fuchs Probleme. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Brutvögel sind weitgehend unbekannt. Beim Austernfischer ist bekannt, dass sein Fortpflanzungserfolg durch eine Zunahme von höheren Sommerfluten reduziert ist.

Mauserende Brandgänse, Eiderenten und Trauerenten treten in großer Zahl auf, wobei Individuenzahlen von internationaler Bedeutung an mehreren Stellen im Wattenmeergebiet verzeichnet werden. In der Mauser sind diese Arten flugunfähig und daher sehr störungsempfindlich, weshalb sie Gebiete mit möglichst wenig menschlichen Aktivitäten, insbesondere durch Kleinboote, wählen. Die Mauserzeiten, die Mauserplätze und das Mauserverhalten sind bei den drei Arten unterschiedlich. Da sich die Brandgans und die Eiderente während der Mauser in großen Trupps sammeln, sind deren Mausergebiete gut bekannt. Trauerenten sind während ihrer Mauser weiträumiger über ein sehr ausgedehntes Gebiet anzutreffen. Für diese Art stellt das nördliche Wattenmeer offenbar ein sehr bedeutendes Mausergebiet dar. Praktisch sämtliche mausernde Brandgänse konzentrieren sich hingegen im Dithmarscher Watt.

Im Wattenmeer kommen große Populationen von pflanzenfressenden Wasservogelarten vor, darunter die Nonnengans, die Ringelgans und die Pfeifente, wie auch sich nur teilweise von Pflanzen ernärende Wasservögel wie die Stock- und die Krickente.

Eiderente, Austernfischer, Knutt und Silbermöwe sind mehr oder weniger stark auf Muscheln angewiesen. Sowohl ihre Brut- als auch ihre Rastbestände sind rückläufig. Dabei nutzen die Eiderente und der Austernfischer Miesmuscheln, Knutts Baltische Tellmuscheln als ihre Hauptnahrungsquelle. Insbesondere Trauerenten und Eiderenten sind zwingend bei ihrer Nahrungssuche auf flache, ungestörte Sublitoralbereiche mit Muschelvorkommen angewiesen.

Seeschwalben ernähren sich mit Ausnahme der Lachseeeschwalbe überwiegend von Kleinfischen, die offenbar in der entscheidenden Phase der Kükenaufzucht zunehmend nicht mehr in geeigneter Größe ausreichend verfügbar sind. Hier deuten sich Auswirkungen des Klimawandels bzw. der Erwärmung des Nordseewassers an, die zu räumlich-zeitlichen Verlagerungen im Vermehrungszyklus kleiner Nordseekrebse und damit in der Folge auch z.B. dem der Heringe geführt hat. Auch für Möwen spielen Fische eine Rolle in der Ernährung, und ihr Angebot beeinflusst möglicherweise das Ausmaß der Prädation, die von Möwen ausgeht.

Einige Vogelarten kehren heute früher aus ihren Winterquartieren zurück und bleiben im Herbst länger als in der Vergangenheit. Diese erheblichen phänologischen Veränderungen dürften aller Wahrscheinlichkeit nach auf ein milderes Klima in den letzten 20 Jahren zurückzuführen sein.

Art	Langfristiger Trend - 25 Jahre 1987/1988 - 2011/2012					Kurzfristiger Trend - 10 Jahre 2000/2001 - 2011/2012				
	WS	DK	SH	Nds/ HH*	NL	WS	DK	SH	Nds/ HH*	NL
Kormoran	↑↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓
Löffler	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
Nonnengans	↑↑	↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ringelgans	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Brandgans	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Pfeifente	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Krickente	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Stockente	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Pfeifente	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Löffelente	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Eiderente	keine Langzeitdaten verfügbar					↓	↓	↓	↓	↓
Austernfischer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Säbelschnäbler	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Sandregenpfeifer	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Seereggenpfeifer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Goldregenpfeifer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Kiebitzregenpfeifer	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Kiebitz	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Knutt	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Sanderling	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Sichelstrandläufer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Alpenstrandläufer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Kampfläufer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Pfuhschnepfe	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Regenbrachvogel	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Brachvogel	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Dunkler Wasserläufer	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Rotschenkel	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Grünschenkel	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Steinwälzer	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Lachmöwe	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Sturmmöwe	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Silbermöwe	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Mantelmöwe	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

* Daten für Niedersachsen/Hamburg sind nur bis 2010/2011 verfügbar.

↑↑ starke Zunahme ↓↓ starke Abnahme ↑ moderate Zunahme ↓ moderate Abnahme → stabil = unsicher
WS - Wattenmeer; DK - Dänemark; SH - Schleswig-Holstein; Nds/HH - Niedersachsen/Hamburg; NL - Niederlande

Abb. 25: Bestandsentwicklung von 34 Wasservogelarten aus dem gesamten Wattenmeer (Quelle: Blew et al. 2015)

Alle im Wattenmeer vorkommenden Brut- und Rastvögel sind nach der Vogelschutzrichtlinie der EG geschützt. Dies bedeutet neben der Erhaltung möglichst ungestörter, in ausreichender Größe vorhandener Rast-, Mauser-, Brut- und Überwinterungsplätze auch den Schutz der Tiere vor Störungen.

Fische

Die Fischfauna des Wattenmeeres besteht aus etwa 150 Arten (darunter 13 Süßwasserarten) von denen etwa die Hälfte häufig oder mäßig häufig ist. Die andere Hälfte ist im Wattenmeer als selten oder sogar äußerst selten anzusehen.

Von Engpässen in den stromaufwärts gelegenen Abschnitten (einiger) Ästuar, wo die Wasserqualität und wesentliche Habitate unzulänglich sind, sind die Wandersfischarten derzeit offenbar am meisten betroffen. Das hat zur Folge, dass einige Arten ganz fehlen und die übrigen Arten nur in geringer Häufigkeit vorkommen.

Die Fischbestände im Wattenmeer haben in den letzten Jahrzehnten starke Schwankungen gezeigt. Für Hering und Kabeljau können neben der Befischungsrate auch klimatische Aspekte und die verstärkte Prädation der Fischlarven durch eingewanderte Quallenarten die Schwankungen der Bestände erklären. Speziell die Präsenz des Herings im Wattenmeer hängt großräumig von der Wassertemperatur ab. Heringe laichen bei erhöhter Wassertemperatur, das heißt in warmen Wintern, weiter nördlich. Da die Larvendrift gegen den Uhrzeigersinn in der Kreisströmung der Nordsee wegen der verlängerten Driftstrecke entsprechend länger dauert, erscheinen die Fische dann später im Jahr im Wattenmeer. Die Jungfische kommen in diesem Fall für die Seevögel zu spät und zu groß an, um verfüttert zu werden. Fischfressende Vogelbestände im Wattenmeer, wie zum Beispiel die Seeschwalben, sind in der Fortpflanzungszeit jedoch stark von heringsartigen Fischen abhängig.

Bekannt ist das Abwandern von Jungfischschwärmen bei zu hohen Wassertemperaturen im Frühjahr aus dem Wattenmeer in die tiefere Nordsee. Die nicht ausreichende Sauerstoffversorgung in den erwärmten flachen Wattbereichen ist offensichtlich der entscheidende Faktor. Auch kontinuierliche starke Winde (4-5 Bft) oder Starkwindphasen von 9-10 Bft im Frühjahr können dazu führen, dass die Bestände der juvenilen Heringsartigen im Wattenmeerbereich zusammenbrechen.

Die beobachteten Verlagerungen bei der Verbreitung juveniler Plattfische lassen in den Aufwuchsgebieten des

Wattenmeers auf veränderte Bedingungen schließen, die sich infolge höherer Wassertemperaturen im Sommer möglicherweise verschlechtert haben. Gleichzeitig bietet die Küsten- und Offshore-Zone der Nordsee wegen eines verminderten Prädations- und Konkurrenzdrucks infolge geringer Bestände kommerziell befischter Arten nunmehr höhere Überlebenschancen. Somit spielt hier eine Kombination aus starkem Befischungsdruck in der Nordsee und einer Lebensraumverschiebung von der Nordsee zum Wattenmeer eine Rolle.

Die in den Flussmündungen lebenden Fischarten sind die am wenigsten bekannte und erforschte Gruppe, auch wenn sie von allen Fischarten den Zustand und die Qualität des Ökosystems Wattenmeer möglicherweise am stärksten widerspiegeln.

Meeressäuger

Das Wattenmeer hat eine herausragende Bedeutung als Fortpflanzungs- und Lebensraum für Seehunde, Kegelrobben und Schweinswale. Während sich Schweinswale ausschließlich im Wasser aufhalten, haben für Seehunde und Kegelrobben auch Landlebensräume eine überlebenswichtige Funktion. Liegeplätze von Seehunden im Wattenmeer befinden sich vorwiegend auf Sandbänken und an von Menschen ungestörten Stränden. Hier ruhen sie in Rudeln, vollziehen den Fellwechsel und gebären und säugen ihre Jungtiere. Kegelrobben bevorzugen als Liegeflächen exponierte Bereiche. Größere Wurfplätze haben die Kegelrobben im schleswig-holsteinischen Wattenmeer auf dem Jungnamensand und auf Helgoland. Hier nutzen sie häufig höher gelegene Bereiche. Alle drei Arten sind Nahrungsoptionen, d.h. sie ernähren sich von einem breiten Spektrum an Fischarten.

Meeressäuger können gegenüber Störungen und Umweltverschmutzung besonders empfindlich sein und haben als Endkonsumenten und als häufig langlebige Arten eine wichtige Zeigerfunktion, was die Qualität des Wattenmeerökosystems betrifft.

Deutschland hat sich in verschiedenen Schutzabkommen und Richtlinien zum Schutz der Meeressäuger verpflichtet. Seehund (Code 1365), Kegelrobbe (1364) und Schweinswal (1351) sind Arten nach Anhang II der Habitatrichtlinie, weshalb für ihren Schutz besondere Schutzgebiete, hier das FFH-Gebiet „Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und angrenzende Küstengebiete“ (Nr. 0916-391), ausgewiesen wurden. Für alle drei Arten wurden Erhaltungsziele für den Nationalpark festgelegt, die insbesondere auf die Störungsarmut von Nahrungs-, Rast- und Wurfplätzen Bezug nehmen.



Abb. 26: Seehunde brauchen Landlebensräume wie Sandbänke und einsame Strände, um ungestört zu ruhen. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Darüber hinaus ist der Seehund durch das Trilaterale Abkommen zum Schutz der Seehunde im Wattenmeer nach dem Bonner Übereinkommen zur Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten (UNEP/CMS) von 1990 geschützt.

Der Schweinswal ist nach dem Abkommen für die Erhaltung von Kleinwalen in der Nord- und Ostsee (ASCOBANS; UNEP/CMS, 1990) geschützt.

In den Jahren nach Einführung des Jagdverbotes sowie nach der Virusepidemie in den Jahren 1988 und 2002 hat sich die Seehundpopulation rasch erholt. Auf Basis koordinierter Erfassungsflüge im gesamten Wattenmeer wurde in 2012 wattenmeerweit ein Bestand von ca. 38.500 Seehunden angenommen. Ca. 10.000 davon leben im schleswig-holsteinischen Wattenmeer.

Nach einem starken Rückgang des Bestandes durch Bejagung und Veränderungen in ihrer natürlichen Umwelt, begannen Kegelrobben erst vor relativ kurzer Zeit, das Wattenmeer wieder zu besiedeln, in Schleswig-Holstein v.a. im Bereich der Sände vor Amrum. Die Geburt und Sägezeit der Jungtiere ist wattenmeerweit von Mitte November bis Ende Februar. Die Höchstzahl festge-

stellter Kegelrobben beläuft sich 2012 auf ca. 4.000 Exemplare, die während des Haarwechsels im gesamten Wattenmeer und vor Helgoland gezählt wurden. Seehunde und Kegelrobben sind auf höher gelagerte Sände angewiesen, die sie als Liege- und Wurfplätze nutzen. Neben der Störungsarmut derartiger Bereiche ist es zudem erforderlich, dass diese in ausreichendem Umfang vorhanden sind, worauf insbesondere angesichts eines steigenden Meeresspiegels das Augenmerk gerichtet bleiben sollte.

Die im Wattenmeer beobachtete Vorverlegung der Wurfzeit der Seehunde seit Mitte der 1970er-Jahre bis heute um mehr als drei Wochen wird bislang nicht mit Klimaänderungen in Zusammenhang gebracht. Es wird vielmehr angenommen, dass dies auf eine bessere und frühere Nahrungsverfügbarkeit zurückzuführen ist.

Der Schweinswalbestand in der deutschen Nordsee wird aktuell mit etwa 55.000 Tieren angesetzt. In den schleswig-holsteinischen Küstengewässern von Sylt bis zur Elbmündung halten sich Schweinswale ganzjährig auf. Die Gewässer um die Knobsände vor Amrum und westlich der Insel Sylt weisen eine vergleichsweise hohe Dichte der Gruppen aus Müttern und Jungtieren auf (die

Säugezeit dieser Art beträgt ca. 8 Monate). Zum besseren Schutz der Schweinswale ist dieses wichtige Aufzuchtgebiet zum Walschutzgebiet erklärt worden. Die Bestandszahlen in der Nordsee gelten als stabil, entsprechen aber noch nicht einer unter günstigen Voraussetzungen möglichen Bestandsgröße.

Schweinswale unterliegen vielen Gefährdungen durch anthropogene Einflüsse, wie Fischereiaktivitäten, Lebensraumverluste, Störungen durch Unterwasserschall und Belastungen mit Schadstoffen. Beifang, insbesondere in Stellnetzen, ist nach allen wissenschaftlichen Erkenntnissen die häufigste anthropogene Todesursache für Schweinswale in der Nord- und insbesondere der Ostsee.

Neobiota - Neue Arten im Meer

Das Wattenmeer ist ein offenes Ökosystem. Die Ausbreitung von Organismen ist ein natürlicher Vorgang, der aber natürlicherweise durch eine Vielzahl von Hindernissen begrenzt wird, von denen geographische Schranken am offenkundigsten sind. Seit Jahrhunderten jedoch haben Menschen gebietsfremde Arten in Gebiete eingeführt, in denen sie zuvor fehlten. Hier kann es vorkommen, dass sie überleben und sich in dem neuen Lebensraum etablieren und vermehren. Sie sind invasiver Natur, wenn sie auf angestammte Arten und deren Populationen, natürliche Lebensräume und Ökosysteme nachweislich negative Auswirkungen haben oder haben können.

Mit der Globalisierung des Handels ist auch die beabsichtigte wie unabsichtliche Einführung gebietsfremder Arten angestiegen und hat an Komplexität zugenommen. Neben dem globalen Lebensraumverlust und den Auswirkungen des Klimawandels hat sich diese biologische Globalisierung zu einem Hauptfaktor für die Veränderung der Biosphäre entwickelt.

An der Nordseeküste sind viele marine Arten, hauptsächlich Algen und Wirbellose, eingeschleppt worden. Die Hauptursachen für das Einschleppen gebietsfremder Arten sind bekannt: Aquakulturen und der internationale Seeverkehr, der die „blinden Passagiere“ im Ballastwasser oder als Bewuchs an der Bordwand in die Wattenmeerhäfen mitbringt.

Eine erste Bewertung der im Wattenmeer vorkommenden gebietsfremden Arten ergab, dass derzeit die Mehrzahl der gebietsfremden Arten keinen oder nur geringfügigen Einfluss auf die natürliche Biodiversität des Wattenmeeres hat. Von den etwa 52 bekannten eingeführten Arten haben sich bei sechs Arten Auswirkungen

auf die Zusammensetzung der im Wattenmeer vorhandenen Biota bereits gezeigt bzw. sind zu erwarten.

Terrestrische Pflanzen- und Tierarten haben ebenfalls ihren Weg in das Wattenmeer gefunden. Ein gut dokumentiertes Beispiel ist die Einführung der Kartoffelrose, die in zahlreichen Arealen die ursprünglichen Arten verdrängt und die Dynamik einiger Dünen verringert hat. Bei eingeschleppten Säugetieren hat der Nordamerikanische Mink Veränderungen z.B. im Prädationsdruck auf Brutvögel hervorgerufen.

5.3 Der Mensch in der Wattenmeerregion

Das Wattenmeer ist ein besonderer Naturraum aus Inseln, Sandbänken, Wattflächen, Prielen und Salzwiesen, den der Mensch seit vielen Jahrhunderten beeinflusst hat. Dabei hat sich der Mensch bemüht, sich mit den vielfältigen Naturkräften zu arrangieren. In der Wattenmeerregion verschmelzen Natur und Kultur mit der Geschichte zu einem untrennbaren Ganzen.

5.3.1 Die Besiedlungsgeschichte

In der gesamten schleswig-holsteinischen Wattenmeerregion finden sich archäologische Funde, die belegen, dass dieses Gebiet seit Jahrtausenden von Menschen besiedelt und genutzt worden ist. Unterschiedliche geologische Voraussetzungen in Nordfriesland und Dithmarschen prägen die Besiedlungsgeschichte, die jedoch in beiden Regionen untrennbar mit der Entwicklung des Meeresspiegels, der Sturmfluten und - in der Folge - des Küstenschutzes verknüpft ist.

Während die nordfriesischen Geestinseln bereits während der Eisen- und Bronzezeit besiedelt waren, wurden die schlecht entwässerten Niederungsgebiete der Marschen in Nordfriesland erst gegen Ende des ersten Jahrtausend nach Christus kultiviert. Zu dieser Zeit stand der Meeresspiegel relativ niedrig. Die Siedler bauten Entwässerungssysteme, schützten das von Wasserläufen zerschnittene Land durch einfache Deiche und bauten ihre Häuser zum Schutz vor Hochwasser auf aufgeschütteten Wohnhügeln, den Warften. Nachdem der Meeresspiegel jedoch wieder anstieg, begann die Zerstörung der seeseitig gelegenen schützenden Nehrungen. So drang das Meer wieder in die Marschen vor, verbreiterte die



Abb. 27: Lahnungsfelder sind weiterhin das Mittel der Wahl zur Sedimentationsförderung. Die Ausführung sollte einen natürlichen Übergang zwischen den Lebensräumen ermöglichen.

Priele, die sich tiefer in das Land einschnitten. Bei starken Sturmfluten gingen große Teile der eingedeichten Gebiete wieder verloren. Die Zerstörung der Marschen wurde zusätzlich durch die Salzgewinnung gefördert, indem die durch den Torfabbau tiefer gelegten Marschen den Flutraum vergrößerten.

Bei der ersten Groten Mandränke von 1362 versanken große Bereiche kultivierten Landes in den Fluten. Die Geestkerne von Sylt, Föhr und Amrum wurden zu Inseln. Die Zweite Grote Mandränke im Jahre 1634 führte insbesondere zur Zerstörung der Marschinsel Strand. Darüber hinaus entstanden die Konturen der Halligen. Betrug ihre Fläche Mitte des 17. Jahrhunderts noch etwa 100 km², so nahm sie infolge von Sturmfluten bis Ende des 19. Jahrhunderts auf weniger als 30 km² ab. Von 1824 bis 1924 nahm die Halligbevölkerung von etwa 940 auf 490 ab, heute leben hier noch ca. 280 Menschen. Sturmfluten wirkten auf den Halligen wegen der exponierten und kaum geschützten Lage besonders heftig. So starben im Jahre 1825 in der so genannten Halligflut 74 Menschen. Die Halligbewohner haben in der Folge ein sehr besonderes Verhältnis zu ihrem Lebensraum entwickelt. Ihr „Kampf mit dem Blanken Hans“ ist ein wichtiger Teil ihres Geschichtsbewusstseins geworden.

An der Festlandsküste setzte nach der Zweiten Groten Mandränke eine verstärkte Rückgewinnung von Marschland ein. Durch Eindeichungen von ehemaligen Marschflächen und Salzwiesen wurden Köge geschaffen, die anschließend besiedelt und kultiviert wurden. So ist Eiderstedt durch Eindeichungen aus den drei Marscheninseln Eiderstedt, Everschop und Utholm zu einer großen Halbinsel zusammengewachsen. In dieser Periode wurde ein Verfahren zur Förderung des Wachstums von Salzwiesen durch Lahnungsfelder entwickelt, die sog. „Schleswig-Holstein-Methode“. Dieses Verfahren zur Vorlandgewinnung hat sich später im gesamten Wattenmeer durchgesetzt.

In Dithmarschen besiedelte der Mensch vor etwa zwei Jahrtausenden die Marschen. Zunächst wurden die hoch gelegenen Uferländer entlang der Priele bevorzugt. Mit dem Anstieg des Meeresspiegels vor über einem Jahrtausend wurden die Siedlungen auf Warften errichtet, die von Generation zu Generation erhöht werden mussten. Die Gemeinschaftswarften von Wesselburen, Wöhrden und Marne bilden noch heute ein Zeugnis dieser Zeit. Etwa gleichzeitig mit dem Bau der Warften setzte der Deichbau zum Schutz der landwirtschaftlich genutzten Marschen ein, und um 1.200 nach Christus schützte

eine erste durchgehende Deichlinie die Marschen vor Sturmfluten. Größere Sturmflutkatastrophen blieben in Dithmarschen, mit Ausnahme der Zerstörung der Marschinsel Alt-Büsum, aus. Dafür stellte die Entwässerung der eingedeichten Marschen die Dithmarscher über die Jahrhunderte vor große Herausforderungen. Die hiesigen Moore waren besonders schwer zu entwässern. Zusätzlich entwässern viele Geestflüsse in die Marschen. Während Sturmfluten konnte dieses Wasser nicht in die Nordsee abfließen und staute sich dort. Die breite Flussmündung der Eider hat immer wieder Überschwemmungen bis hinauf nach Rendsburg ermöglicht. Sowohl zur Regulierung der Entwässerung als auch zur Verkürzung der Deichlinie wurde von 1967 bis 1973 das Eidersperrwerk gebaut.

Heute sind in Nordfriesland etwa 1.340 km², in Dithmarschen etwa 1.040 km² Küstenniederung mit 84.000 resp. 74.000 Einwohnern durch Deiche vor Sturmfluten geschützt. Hinter den Landesschutzdeichen sind darüber hinaus fast 2,5 Mrd. € an Sachwerten vorhanden. Diese Zahlen belegen die Bedeutung des Küstenschutzes für die Region, ohne den Nutzungen in den Küstenniederungen kaum möglich wären.

5.3.2 Wirtschaftliche Aspekte

Heute wie in der Vergangenheit wird die Landschaftsstruktur in den Küstenmarschen durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt, da der tonreiche Kleiboden der Marsch besonders fruchtbar ist. Während in Nordfriesland derzeit sowohl Weidenutzung als auch Getreideanbau vorhanden ist, wird in Dithmarschen überwiegend Ackerbau betrieben. Wegen seiner sehr fruchtbaren Böden besitzt Dithmarschen das größte zusammenhängende Kohlanbaugebiet Deutschlands.

Größere industrielle Betriebe sind in der Region kaum vorhanden. Eine sehr hohe Bedeutung für die Wertschöpfung in der Region haben die zahlreichen Windkraftanlagen am Festland, die weiter ergänzt bzw. repowert werden. Im Vergleich dazu hat die Windenergie auf See für die schleswig-holsteinische Westküste derzeit noch eine geringere Bedeutung, mit dem fortschreitenden Ausbau und der Inbetriebnahme der Windparks im Helgoland- und Sylt-Cluster werden sich die Häfen jedoch weiter für Service und Crew-Transfer positionieren.

Die Häfen in der Region haben nicht nur eine wirtschaftliche Bedeutung für den Fischfang oder Handel, sondern insbesondere für die Versorgung der Inseln und Halligen

und zunehmend für den Tourismus. Für die Fischerei ist das Wattenmeer bzw. die Nordsee von Bedeutung, insbesondere für die Garnelen- und Muschelfischerei. Derzeit zeigen die Fischer- und Kutterzahlen eine rückläufige Tendenz.

Der Tourismus spielt seit Mitte des 19. Jh. zunehmend eine wichtige Rolle. Insbesondere wurde die heilfördernde Wirkung des Reizklimas der Nordsee für die an den Atemwegen erkrankten Menschen in den Industriestädten erkannt. Eine große Zahl von Sanatorien und Kinderheimen wurde in unmittelbarer Strandnähe errichtet. Ferien waren zu der Zeit ein Privileg, das bis dahin den vermögenden Schichten vorbehalten war. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ermöglichen zunehmender Wohlstand, Freizeit und Motorisierung das weitere Anwachsen des Freizeitsektors. Davon profitierten besonders die Standorte mit leicht zugänglichen Sandstränden wie Sylt, Föhr, Amrum, St. Peter-Ording und Büsum. Während auf den Inseln und am Festland in den 1950er-Jahren der Tourismus rapide zunahm, blieben die Lebensverhältnisse auf den Halligen zunächst unverändert. Erst in den vergangenen Jahrzehnten entwickelte sich der Tourismus hier zum wichtigsten Wirtschaftsfaktor. Das abgeschiedene Land im Meer ist ein beliebtes Urlaubs- und Ausflugsziel geworden. Dabei kommen die Besucher vor allem, um das typische Hallig-Flair, die Ruhe, die Abgeschiedenheit und um die Natur zu erleben. Entsprechend hat sich auch der Nationalpark bzw. das Weltnaturerbe als Anziehungspunkt für einen naturverträglichen Tourismus in der Region entwickelt. Der Tourismus steht so in einem immer engeren Zusammenhang mit dem Naturschutz in der Region, wie auch in einer 2014 beschlossenen wattenmeerweiten Strategie für nachhaltigen Tourismus zum Ausdruck kommt.

Ein besonderes Ereignis in der Biosphäre Halligen sind die jährlich im April/Mai stattfindenden Ringelganstage. Riesige Schwärme dieser Wildgänse rasten auf den Salzwiesen, um sich Fettreserven für ihren bis zu 5.000 km weiten Flug in das sibirische Brutgebiet zuzulegen. Dieses einzigartige Naturschauspiel wird auf den Halligen mit natur- und kulturbezogenen Veranstaltungen gefeiert. Seit einigen Jahren entwickelt sich die kulturelle Tradition des „Biikebrennen“ am 21. Februar zum touristischen Ziel.

Die Bewohner der Halligen haben die Entwicklung ihrer Heimat selbst in die Hand genommen. Seit 2004 gehören die Halligen Gröde, Hooge, Langeneß, Nordstrandischmoor und Oland als Entwicklungszone zum „Biosphärenreservat Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und



Abb. 28: Attraktive Naturschule: Tausende Besucher erkunden jährlich bei geführten Wanderungen das Wattenmeer. Der nachhaltige Tourismus ist damit ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. (Foto: A. Schnabler / LKN-SH)

Halligen“. Ihren einzigartigen Lebensraum so zu erhalten und zu entwickeln, dass er für sie und kommende Generationen sicher und lebenswert ist – das ist das Ziel in der Biosphäre Halligen. Gemeinsam haben die Halligbewohner eine Strategie erarbeitet, die zu einer nachhaltigen Regionalentwicklung beiträgt. Die Entwicklungszone repräsentiert eine Kulturlandschaft, in der sich menschliche Nutzung und Natur im Einklang befinden. Die Halligbewohner sehen hierin eine Perspektive für ihre Region. Traditionelle und schonende Wirtschaftsweisen wie die extensive Weidewirtschaft spiegeln ihr Anliegen wider.

6. Szenarien zur Klimaentwicklung und deren Auswirkungen

Szenarien sind eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Strategien. Es handelt sich dabei um konsistente und plausible Beschreibungen von möglichen künftigen Zuständen, sog. Zukunftsbilder. Szenarien können sowohl quantitativ (in Zahlen) als auch qualitativ (in Form von Beschreibungen) formuliert werden.

Auch zur Entwicklung der Strategie für das Wattenmeer 2100 sind Szenarien erforderlich, die in diesem Kapitel beschrieben werden. Für eine aussagefähige Berücksichtigung der Bandbreite der möglichen künftigen Entwicklung ist die Betrachtung eines **gemäßigten (M)** und eines **gesteigerten (G)** Szenarios angemessen. Es werden außerdem die beiden Zeithorizonte **mittelfristig (50 - bis Mitte dieses Jahrhunderts)** und **langfristig (100 - bis Ende dieses Jahrhunderts)** berücksichtigt, was auch wegen des zeitlich oft nicht-linearen Verlaufes der Entwicklung sinnvoll ist. Differenziert wird also in **M50, M100, G50 und G100**.

Szenarien können - im Gegensatz zu Prognosen - keine Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich ihres Eintretens zugeordnet werden. Die hier beschriebenen Szenarien erscheinen jedoch zum jetzigen Zeitpunkt als die bestmöglichen bzw. plausibelsten Darstellungen der Situation.

Besonders wichtig ist im Zusammenhang dieses Berichtes, dass die in den Szenarien beschriebenen abiotischen und biotischen Entwicklungen dann zu erwarten sind, wenn **keine Anpassungsmaßnahmen** ergriffen würden, die über das heutige Niveau der Maßnahmen des Küstenschutzes und Naturschutzes hinausgehen. Mögliche Gegenmaßnahmen, die im Erfolgsfall zu günstigeren Zukunftsbildern führen können, sind Thema der nachfolgenden Kapitel.

Ausgangspunkt für die Szenarien für das Wattenmeer von Schleswig-Holstein ist in Anlehnung an den fünften UNO-Klimabericht, den der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013 vorgelegt hat, die globale Strahlungsbilanz, die derzeit bei etwa zwei Watt pro Quadratmeter (W/m^2) liegt. Durch den Ausstoß von Treibhausgasen (vor allem CO_2) könnte gemäß IPCC die Wärme-Einstrahlung bis 2100 nicht-linear auf 2,6 (Szenario RCP2.6) bis 8,5 W/m^2 (Szenario RCP8.5) zunehmen. Aus der Einstrahlung kann die Temperatur abgeleitet werden. In Tab. 4 sind die möglichen Folgen für die globale Mitteltemperatur in zwei Zeithorizonten dargestellt.

In Kap. 6.2 und 6.3 werden - auf der Basis einer Literaturrecherche (Kap. 6.1) - die beiden Szenarien M und G für das schleswig-holsteinische Wattenmeer für die beiden vereinfachten Zeithorizonte 2050 und 2100 beschrieben; Ausgangspunkt ist das Jahr 2000. Entsprechend Tab. 4 dient das IPCC-Szenario RCP4.5 als Grundlage für das gemäßigte Szenario M, während das IPCC-Szenario RCP8.5 die Grundlage für das gesteigerte Szenario G darstellt. In Kap. 6.4 werden in einer Synthese die Konsequenzen der Szenarien generell beschrieben. Des Weiteren sind dort die beschriebenen Klimakennwerte und abiotischen Parameter - je nach Möglichkeit quantitativ oder qualitativ als Expertenschätzung der Arbeitsgruppe - in einer Tabelle zusammengefasst.

Parameter	Szenario	2046 - 2065		2081 - 2100	
		Mittel	Bandbreite	Mittel	Bandbreite
Änderung der mittleren globalen Temperatur (°C)	RCP2.6	1,0	0,4 bis 1,6	1,0	0,3 bis 1,7
	RCP4.5	1,4	0,9 bis 2,0	1,8	1,1 bis 2,6
	RCP6.0	1,3	0,8 bis 1,8	2,2	1,4 bis 3,1
	RCP8.5	2,0	1,4 bis 2,6	3,7	2,6 bis 4,8

Tab. 4: Temperaturprojektionen für verschiedene Strahlungsbilanz-Szenarien, „RCP“ genannt - das Kürzel steht für „Representative Concentration Pathways“, zu deutsch: Repräsentative Konzentrationspfade. Sie beschreiben die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre, jedes RCP unterstellt also eine unterschiedlich starke menschengemachte Klimaänderung: vom RCP2.6, bei dem die Emissionen radikal gemindert werden bis zum RCP8.5, bei dem davon ausgegangen wird, dass die Entwicklung so weiterläuft wie bisher. Die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 werden als Grundlage für die beiden Wattenmeer-Szenarien M und G verwendet). (Quelle: IPCC 2013)

6.1 Die wissenschaftliche Basis

Nachfolgend werden die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Projektionen und Szenarien von relevanten klimatischen, hydro- und morphologischen sowie biologischen Parametern als Grundlage für die in Kap. 6.2 und 6.3 beschriebenen Wattenmeer-Szenarien dargestellt.

6.1.1 Klimaprojektionen

Wichtigste Klimaparameter sind Temperatur, Niederschlag und Wind, wobei hinsichtlich ihrer Auswirkungen zwischen mittleren und Extremwerten zu unterscheiden ist. Wegen der großen Intensitätsschwankungen von Jahr zu Jahr und der geringen Häufigkeit sind insbesondere Projektionen zu den Extremwerten schwierig und deshalb mit großer Vorsicht zu betrachten. Eine sehr anschauliche grafische Darstellung von aktuellen Klimaprojektionen für den norddeutschen Raum gibt das norddeutsche Klimabüro auf www.norddeutscher-klimaatlas.de. Darauf basieren auch die nachfolgenden Darstellungen (Stand Januar 2015):

- Es wird projiziert, dass an der Deutschen Nordseeküste die durchschnittliche Lufttemperatur im Jahresmittel bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Periode 1961-1990 je nach IPCC-Emissionsszenario zwischen 1,2 und 4,6 °C zunehmen kann; als Mittelwert wird +2,9 °C angegeben. Diese regionalen Werte weichen verständlicherweise von den globalen Werten des IPCC (Tab. 4) ab. Da die abgeleiteten hydro-, morpho- und biologischen Parameter in Tabelle 4 zum größten Teil auf die den globalen Temperaturprojektionen basieren, sind in dieser Tabelle und in den beiden Wattenmeer-Szenarien trotzdem die globalen IPCC-Werte übernommen worden. Die Ergebnisse für die einzelnen Jahreszeiten zeigen ein ähnliches Bild. Weiterhin ergeben die Klimamodellrechnungen eine Abnahme der Zahl der Frost- und Eistagen (was auch ein zunehmendes Ausbleiben von „Eiswintern“ im Wattenmeer bedeutet, d.h. kein Zufrieren großer Wattflächen und -priele mehr über längere Zeit) sowie eine geringe Zunahme der Zahl der Sommertage. Obwohl hierzu keine regionalen Projektionen vorliegen, ist generell davon auszugehen, dass die Wassertemperaturen im Wattenmeer wegen der geringen Wassertiefen über den allgemeinen Anstieg in der Nordsee hinaus zunehmen werden.
- Hinsichtlich des mittleren Niederschlages wird für die deutsche Nordseeküste je nach IPCC-Szenario keine Änderung bis zu einer Zunahme von 22% im Jahresmittel projiziert; als Mittelwert wird +7% angegeben. Insbesondere im Winter ist mit zunehmendem mittlerem Niederschlag (2 bis 46%; Mittelwert 24%) zu rechnen. Die Zahl der Starkregentage pro Jahr und in den einzelnen Jahreszeiten ändert sich jedoch gemäß Projektionen kaum, wobei die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungen recht unterschiedlich sind.

- Hinsichtlich des Windes sind für die Wattenmeerstrategie 2100 vor allem Änderungen in der Sturmintensität und für die Biologie auch in der jahreszeitlichen Verteilung der Stürme von Bedeutung. Je nach IPCC-Szenario wird im Winter eine Abnahme von 4% bis zu einer Zunahme von 13% projiziert (Mittelwert +5%). Da es sich hierbei um Extremwerte handelt, ist diese Aussage jedoch mit großer Vorsicht zu betrachten.

6.1.2 Hydrologische und morphologische Projektionen

Von hohem Interesse für das Wattenmeer sind die künftigen hydrologischen Entwicklungen, also der mittleren (einschl. Tidenhub) und Extremwasserstände (Höhe, Häufigkeit und Dauer) sowie des mittleren und Sturmseeganges.

- Aussagen zum künftigen **mittleren Meeresspiegelanstieg** finden sich im fünften Klimabericht des IPCC (2013). In dem Bericht werden Werte zwischen etwa 0,2 m und 0,8 m für den zu erwartenden globalen mittleren Meeresspiegelanstieg für den Zeitraum 2000 bis 2100 angegeben. Es existieren jedoch Veröffentlichungen, die einen wesentlich höheren Meeresspiegelanstieg projizieren. Diese Veröffentlichungen liefern Werte zwischen 0,75 m und maximal 1,90 m bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Zu diesen globalen Mittelwerten sind noch regionale Faktoren wie die tektonische Landsenkung zu berücksichtigen, die in Teilen des Wattenmeeres zu einem noch erhöhten relativen Meeresspiegelanstieg führt.
- Erstmals sind im IPCC-Bericht auch Projektionen zu den **jährlichen Anstiegsraten des globalen mittleren Meeresspiegels** enthalten (Abb. 23). Je nach Strahlungsbilanzszenario liegen die Anstiegsraten um die Mitte dieses Jahrhunderts zwischen 4 und 6 mm/a sowie gegen Ende des Jahrhunderts zwischen 4 und 12 mm/a.
- Der Anstieg des Meeresspiegels wird auch zu Änderungen des mittleren **Tidenhubes** führen. Eine neuere Studie für die Tideelbe im Rahmen des Verbundprojektes KLIWAS des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur deutet darauf hin, dass (bei unveränderter Topographie) mit einem Anstieg des Tidenhubes um etwa 10 bis 20% des Meeresspiegelanstieges zu rechnen ist. Das heißt, bei einem Anstieg des Meeresspiegels um 0,5 m würde der Tidenhub demnach um 0,05 bis 0,1 m zunehmen.

- Hinsichtlich künftiger **Sturmflutwasserstände** ist festzuhalten, dass Sturmfluten auf den jeweiligen mittleren Wasserspiegel aufsetzen, weshalb sie in etwa entsprechend dem mittleren Meeresspiegelanstieg zunehmen. Die Höhe des örtlichen Windstaus ist abhängig von Windstärke, -richtung und -dauer sowie der Küstentopographie. Entsprechend fällt der Windstau lokal stark unterschiedlich aus und regionale Projektionen sind schwierig zu erstellen. Das Helmholtz Zentrum Geesthacht (HZG) hat für die schleswig-holsteinische Westküste Modellrechnungen veröffentlicht. Danach wird auf der Basis zweier älterer IPCC-Szenarien (A2 und B2) bis Ende dieses Jahrhunderts eine Zunahme der Sturmflutwasserstände zwischen 0,3 und 1,1 m projiziert, wobei der Windstau um 0,1 bis maximal 0,4 m zunimmt. Neuere Studien im Rahmen von KLIWAS kommen zu ähnlichen Ergebnissen.
- Der mittlere und maximale **Seegang** ist, wie der Windstau, von den Windverhältnissen und der Küstentopographie geprägt. Auch hier gilt, dass die Erstellung von regionalen Projektionen sehr schwierig ist. Eine HZG-Studie für die Nordsee kommt (ebenfalls auf Grundlage der älteren IPCC-Treibhausgaszenarien A2 und B2) zu folgenden Ergebnissen: Für die südöstliche Nordsee deutet sich eine leichte Zunahme der extremen Wellenhöhen, im Mittel um 5 bis 8%, zum Ende des 21. Jahrhunderts an. Diese Änderung ist mit einer geringen Zunahme der Häufigkeit extremer Wellenhöhen und ihrer Dauer gekoppelt. Im Detail zeigen die einzelnen Simulationen jedoch erhebliche Unterschiede. Die Unsicherheiten in den Modellen erreichen die Größenordnung der abgeschätzten Änderungen im Seegang. Neuere Studien im Rahmen von KLIWAS kommen zu ähnlichen Ergebnissen.

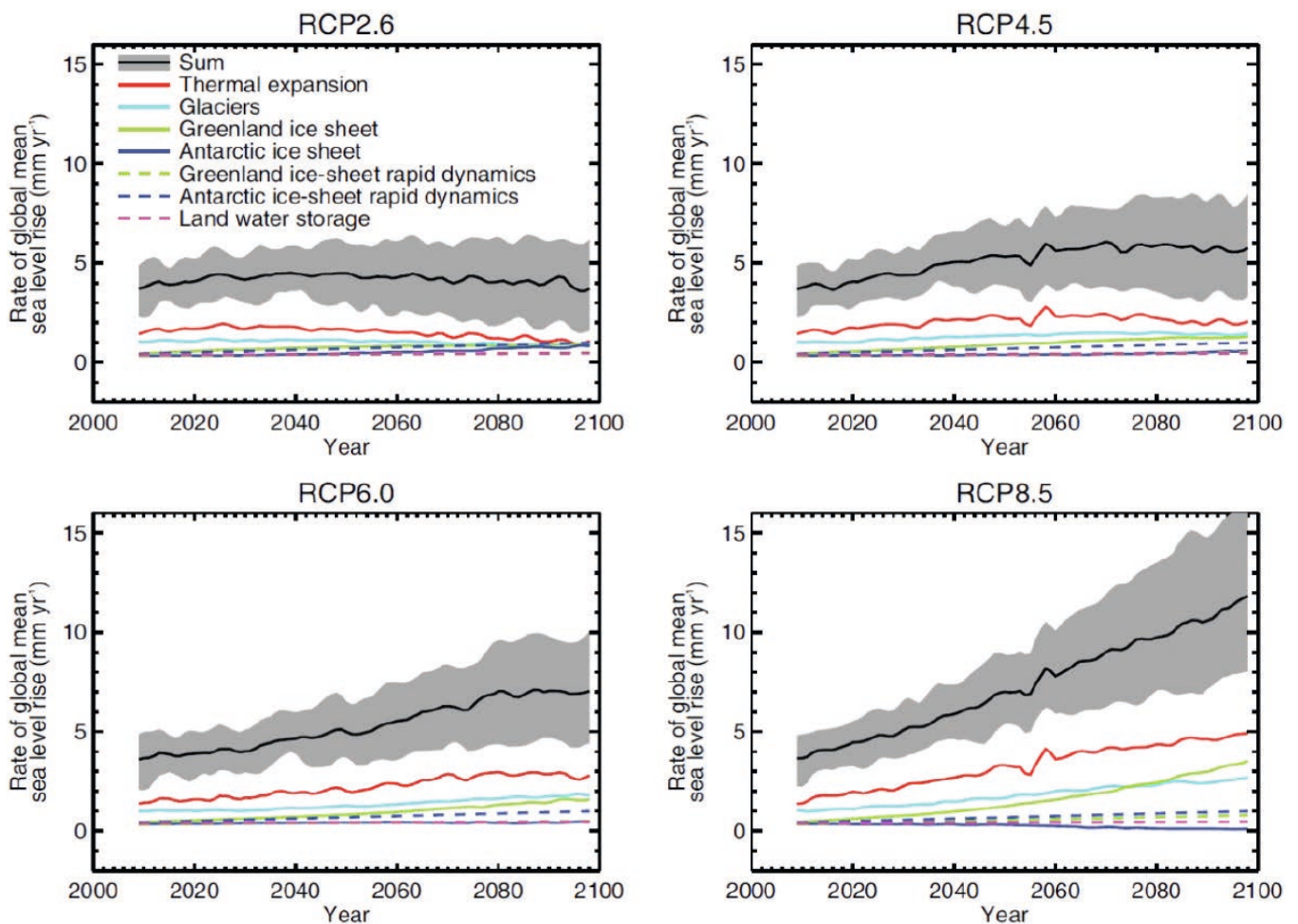


Abb. 29: Projektionen des globalen mittleren Meeresspiegelanstieges in Millimeter pro Jahr für verschiedene Strahlungsbilanzszenarien - die beiden rechten (RCP4.5 und RCP8.5) liegen dem gemäßigten und dem gesteigerten Wattenmeerszenario zugrunde, die weiter unten beschrieben werden. (Quelle: IPCC 2013)

Obwohl die hohe Bedeutung des Themas bereits seit über einem Jahrzehnt bekannt ist, existieren bisher nur wenige Projektionen zur morphologischen Entwicklung im Wattenmeer für vorgegebene hydrologische Szenarien. Dies ist in erster Linie der Komplexität hydro-morphodynamischer Prozesse und der daraus folgenden Schwierigkeit, sie stark vereinfacht und dennoch korrekt in Modellen abzubilden, geschuldet. Darüber hinaus führen Unterschiede in Beckengröße, Tidenhub, Materialverfügbarkeit, usw. dazu, dass die Tidebecken nicht einheitlich auf einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg reagieren.

Mit dem prozessbasierten numerischen Modell DELFT-3D sind für drei Meeresspiegelszenarien (Anstieg von null, 3 bis 4 und 8 bis 10 mm/a) die künftige morphologische Entwicklung eines niederländischen Tidebeckens (Ameland) über 110 Jahre simuliert worden. Generell wurde dabei ein tidebedingter Netto-Sedimenttransport von außen (Ebb-Delta) nach innen (Watten) festgestellt, der positiv mit der relativen Meeresspiegelanstiegsrate korreliert. Das heißt also, dass das Wattenmeer mit dem ansteigenden Meeresspiegel mitwachsen kann. Die Simulation hat aber gezeigt, dass dies nur bis zu einem gewissen Grad gilt. Während sich die Wattflächen bei einem Anstieg von etwa 3 bis 4 mm/a noch stabil verhielten, würden sie beim Szenario mit einem stärkeren Meeresspiegelanstieg (8 bis 10 mm/a) ohne Gegenmaßnahmen trotz verstärkter Sedimentation unter den Meeresspiegel abtauchen und zum Ende des Jahrhunderts bis auf kleinere Reste verschwinden.

In Kap. 5.1.3 wurde dargelegt, dass das Wattenmeer sich in einem dynamischen Gleichgewicht zwischen hydrologischen und morphologischen Parametern befindet. Eine moderate und langfristige Änderung in der Hydrologie, wie zum Beispiel der Meeresspiegelanstieg im letzten Jahrhundert, führt zu einer ständigen Anpassung der Morphologie durch Materialumlagerungen; das dynamische Gleichgewicht zwischen Hydrologie und Morphologie bleibt somit erhalten. Dabei können solche Prozesse nach menschlichen Maßstäben durchaus sehr lange, d.h. Jahrzehnte, dauern bzw. anhalten. Unter der Annahme eines solchen dynamischen Gleichgewichtes können in Form von Szenarien ebenfalls Überlegungen zur künftigen morphologischen Entwicklung des Wattenmeeres angestellt werden. Da hierbei keine Prozesse simuliert werden, können allerdings keine quantitativen Angaben gemacht werden. Auf dieser Basis sind die möglichen Auswirkungen des Klimawandels für das Wattenmeer untersucht worden. Demnach würde ein moderater Anstieg der Tidewasserstände und des Tidenhubes zu

Erosionen in den Tiderinnen sowie zu Sedimentation auf den Watten und Salzwiesen führen. Die derzeitigen Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres würden im Wesentlichen erhalten bleiben. Eine Angabe darüber, bei welcher Meeresspiegelanstiegsrate die Watten nicht ausreichend mitwachsen können und anfangen zu ertrinken, kann mit diesem Verfahren jedoch nicht gemacht werden. Es wurde allerdings festgehalten, dass Salzwiesen durch die sedimentationsfördernde Wirkung der Vegetation einen stärkeren Meeresspiegelanstieg ausgleichen können als Wattflächen. Weiterhin wurde dargelegt, dass bedeutende Änderungen der Windverhältnisse im Bereich der Nordsee bzw. zunehmende mittlere und maximale Wellenhöhen die Struktur und Funktion des Wattenmeeres, insbesondere durch Erosionen in den Elementen Watt und Salzwiese sowie Sedimentationen in den Tiderinnen, erheblich beeinflussen können. Demnach zeigen gleichgerichtete Änderungen im Tidenhub und in der Wellenhöhe eine entgegengesetzte morphologische Wirkung.

Resümierend muss auf der Basis obiger Überlegungen zur künftigen hydrologischen und morphologischen Entwicklung damit gerechnet werden, dass der Bestand der derzeitigen morphologischen Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts im Fall des gesteigerten Szenarios unwahrscheinlich wird und im Fall des gemäßigten Szenarios nicht mehr gesichert ist. Eine Abnahme von Wattflächen und zeitverzögert auch von Salzwiesen zugunsten von permanent mit Wasser bedeckten Flächen erscheint ohne Gegenmaßnahmen plausibel. Die Frage, ab wann die Flächenverluste einsetzen, hängt in erster Linie von der Meeresspiegelanstiegsrate und der Sedimentverfügbarkeit ab und wird hinsichtlich der Unterschiede näherungsweise in dem gemäßigten und dem gesteigerten Szenario beschrieben.

6.1.3 Biologische Szenarien

Die oben beschriebenen physikalischen Projektionen zeigen, dass das Wattenmeer durch den Klimawandel zukünftig starken Veränderungen unterworfen sein wird. Doch welche Auswirkungen hat dies für die belebte Natur?

Die Toleranz von Pflanzen und Tieren gegenüber ökologischen Faktoren sowie die Konkurrenzbeziehungen untereinander bestimmen die Verteilung von Arten im Raum. Das Ergebnis ist eine Anordnung entlang ökologischer

Gradienten. Kommt es zu einer Verschiebung dieser Gradienten, so gibt es drei wesentliche Reaktionsmöglichkeiten der Biota: Anpassen, Ausweichen oder Aussterben.

Allgemein betrachtet zeichnen sich Lebewesen gemäßiger Küsten wie im Wattenmeer durch eine vergleichsweise hohe Toleranz gegenüber Temperaturschwankungen aus. Entsprechend weit sind sie über die Breitengrade verteilt. So kommen zum Beispiel das heimische Seegras und die heimische Herzmuschel von Norwegen bis Nordafrika vor. Dies lässt zunächst erwarten, dass die Lebensgemeinschaften an der Küste sich an einen moderaten anthropogenen Temperaturanstieg anpassen können. Dabei durchziehen die Effekte einer Erwärmung das gesamte ökologische Beziehungsnetz. Dieses ist jedoch so reich an möglichen aber nicht zwangsläufigen Rückkopplungen, dass künftige Entwicklungen im Einzelnen nicht prognostizierbar sind.

Differenziert man diese eher großräumige Betrachtung jedoch nach Lebensräumen, so sind an Land oder in der Wasserwechselzone lebende Organismen an größere Schwankungen der Temperatur angepasst als solche der Unterwasserwelt. Dies lässt vermuten, dass temperaturbedingte Veränderungen bei den Arten der Unterwasserwelt ausgeprägter sein werden als an Land oder in der Wasserwechselzone.

Eine weitere Unsicherheit entsteht durch die Auswirkungen der voraussichtlich wegfallenden Eiswinter, d.h. dem künftigen Ausbleiben eines längeren Zufrierens der Wattflächen. Eiswinter entfalten ihre größte Wirkung aber auf die Lebewelt in der Wasserwechselzone, so dass ihr Wegfall durchaus dazu führen könnte, dass sich auch dort die Verhältnisse zwischen den Arten stark verschieben: Heute dominante Arten könnten unbedeutend und heute unbedeutende Arten dominant werden.

Nicht zu unterschätzen sind auch die Auswirkungen, die dadurch entstehen können, dass wärmeliebende Arten ihr Verbreitungsgebiet nach Norden ausdehnen und das Wattenmeer erreichen. Dazu können auch weniger auffällige Arten aus dem Bereich der Krankheitserreger und Parasiten gehören, die gleichwohl eine Schlüsselwirkung auf andere Arten haben können, und deshalb auch dramatische, nicht vorhersehbare Änderungen auslösen können.

Neben der Temperatur sind aber auch die jährlichen Niederschläge, die CO₂-Konzentration in der Luft sowie der Meeresspiegelanstieg, verbunden mit einer Änderung von Häufigkeit, Intensität und dem zeitlichem

Auftreten von Stürmen wichtige Parameter, die die Verbreitung und die Vitalität von Küstenlebensräumen und -arten bestimmen.

Ausgeprägt sind die Auswirkungen, die sich auf den mit dem Meeresspiegelanstieg zusammenhängenden Verlust an Wattflächen, tiefliegenden Salzwiesen und Pionierzonen zurückführen lassen. Dadurch wird die Fläche bestimmter Habitats deutlich kleiner und andere Habitats könnten ganz verschwinden. Dies lässt allgemein erhebliche Auswirkungen auf das Vorkommen und die Bestände der betroffenen Arten erwarten. Konkret wird der Anstieg des Meeresspiegels zu einer landwärts gerichteten Verlagerung der Habitats im Grenzbereich zwischen Land und Meer führen. Da dies aufgrund der Deiche nur sehr begrenzt möglich ist, führt die seeseitige Erosion zu einer Verkleinerung der Habitats. Häufigere Überflutungen, mangelnde Möglichkeit der Verjüngung bzw. der Ausbildung von Pionierzonen und Verkleinerung der dortigen Lebensräume können zu einem Totalverlust geeigneter Habitats für ganze Biozönosen, zum Beispiel der an diesen Stellen typischen Wirbellosen-Gemeinschaften führen. Der Verlust eines Teils der Wattflächen wird demgegenüber wahrscheinlich weniger zu einem Verschwinden von Arten als vielmehr zu einer Reduktion der Populationsgröße der auf diesen Lebensraum angewiesenen Arten führen.

Weitere, sogar erhebliche Auswirkungen sind denkbar aufgrund der Versauerung der Meere. Diese betrifft besonders solche Arten negativ, die auf Kalk angewiesen sind, und könnte das ganze Ökosystem und auch das des Wattenmeeres grundlegend verändern.

Neben den Veränderungen des Artenspektrums sind auch Veränderungen von Strukturen und Lebensräumen zu erwarten. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Arten, die im Wattenmeer eine sehr hohe Bedeutung als „Bioingenieure“ haben, verschwinden, sich in ihrer Bedeutung verändern oder hinzukommen. Wenn beispielsweise Wattwürmer verschwinden würden, hätte dies dramatische Auswirkungen auf Stabilität, Durchmischung und Sauerstoffversorgung des Wattbodens. Würden Organismen ausfallen, die zur Dünenbildung führen oder die Stabilität der Dünen beeinflussen, könnte dies dramatische Auswirkungen auf die Dünen haben.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen die unmittelbaren und mittelbaren Konsequenzen des Klimawandels auf und machen deutlich, dass in vielerlei Hinsicht das Wattenmeer mit seinen charakteristischen Arten am Ende dieses Jahrhunderts deutlich verändert sein wird.

Zu den Folgen des Klimawandels kommen z.B. die Konsequenzen der Globalisierung aufgrund der künstlichen Einschleppung gebietsfremder Arten sowie andere Folgen menschlicher Aktivitäten durch Nutzungen und Belastungen der Lebensräume hinzu. Alles zusammen kann eine deutliche Veränderung in der Artenzusammensetzung und in der Funktionsweise des Ökosystems nach sich ziehen.

Aus dem Vorgenannten wird aber auch deutlich, wie schwierig es ist, konkrete Aussagen über die künftigen Entwicklungen im biologischen Bereich zu machen. Im Rahmen dieser Grenzen wird im Folgenden dennoch für einige Gruppen von Lebewesen versucht, plausible Annahmen spezifisch zu beschreiben.

Auswirkungen auf Pflanzen

Das Verbreitungsmuster der meisten Tier- und Pflanzenarten der Welt ist durch das Klima bestimmt. Bestimmende Parameter hinsichtlich der Verbreitung von Pflanzen sind Temperatur und Niederschlag. Infolgedessen ist auch die Verbreitung der europäischen Salzwiesen- und Dünenvegetation eng mit den vorherrschenden Klimabedingungen korreliert. Eine Verschiebung des Verbreitungsgebietes ist eine häufig beschriebene Reaktion auf sich verändernde Umweltbedingungen. Grundsätzlich dürfte dies im Wattenmeer vor allem bei jenen Pflanzenarten erkennbar werden, die hier an ihrer Verbreitungsgrenze leben. Zusätzlich ist anzunehmen, dass es zu einer Zunahme von wärmeliebenden und stickstoffliebenden Arten sowie von Kulturfolgern kommt, wohingegen Arten mit nördlichem und atlantischem Verbreitungsschwerpunkt abnehmen werden.

Für den deutschen Küstenraum liegt eine detaillierte Untersuchung vor, die aufzeigt, wie sich der Klimawandel auf die Arealveränderungen typischer Küstenpflanzen auswirken kann. Zugrunde gelegt wurde zwei Temperaturszenarien: 1,5 und 2,5 °C Temperaturanstieg bis zum Jahr 2050. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Areale vieler Küstenpflanzen Richtung Norden verschieben werden. Für Arten, die durch niedrige Wintertemperaturen limitiert sind, wird eine Ostverlagerung prognostiziert. Viele Salzwiesen-, Primärdünen- und Weißdünenpflanzen haben die Möglichkeit, sich aufgrund der Schwimmfähigkeit der Samen, einer Verbreitung durch Zugvögel oder durch Winddrift zu verbreiten und so neue Areale zu besiedeln. Insgesamt wird gefolgert, dass bei den Küstenpflanzen bei den verwendeten Szenarien kein Rückgang der dominanten Arten bis zum Jahr 2050 zu erwarten ist. Für den Zeitraum danach muss jedoch mit Arealverschiebungen gerechnet werden.

Für die Krähenbeerenheide, deren Vorkommen in den Braundünen schon heute weitgehend auf die kühleren, nach Norden exponierten Dünenhänge beschränkt ist, kann es bei ungünstigen Bedingungen schon bis zum Jahr 2050 zu einer deutlichen Arealverschiebung nach Norden und damit zu einem Aussterben der Art im Wattenmeer kommen. Mit dem Verschwinden der Krähenbeere wird sich das Bild der Dünenlandschaften auf den Inseln drastisch verändern. Schon jetzt zeigen die Krähenbeerenbestände in heißen Sommern deutliche Trockenschäden. Für das in der unteren Salzwiese wachsende Andelgras wird aus englischen Untersuchungen ebenfalls ein Rückgang prognostiziert.

Gleichzeitig wandern andere, häufig bisher mehr südlich verbreitete Arten, in das Gebiet ein. Dazu gehören zum Beispiel der Gelbe Hornklee oder die Strandwolfsmilch, die sich an unseren Küsten etablieren und Indikatoren für den Klimawandel sind. Aufgrund der Trägheit, mit der viele Pflanzenarten auf den Klimawandel reagieren können, ist dennoch eine Abnahme der Pflanzendiversität möglich.

Weitere Veränderungen der Konkurrenzgefüge wird es auch durch die steigende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre geben. So wird die Wuchsleistung von C3-Pflanzen, das sind die meisten Salzwiesenpflanzen, stärker durch die verbesserte CO₂-Verfügbarkeit ansteigen, als dies für C4-Pflanzen wie das Schlickgras (*Spartina anglica*) der Fall ist. Möglicherweise wird das Schlickgras daher seine Konkurrenzkraft einbüßen.

Temperaturerhöhungen werden auch Auswirkungen auf die Stickstoff-Mineralisierung in den Salzwiesenböden haben. Davon profitieren Pflanzen mit einem hohen Stickstoff-Aufnahme- und -Speichervermögen wie die Strandquecke (*Elytrigia athericus*) und die Portulak-Keilmelde (*Atriplex portulacoides*). Die Förderung des Wachstums dieser Arten kann eine Verdrängung von kleinwüchsigen und einjährigen Pflanzenarten der Salzwiese zur Folge haben.

Auswirkungen auf Vögel

Eine wachsende Zahl von Überflutungen der Salzwiesen im Sommer könnte eine Reihe der typischen Brutvögel des Wattenmeeres gefährden. So konnte in einer wattenmeerweiten Untersuchung gezeigt werden, dass die Häufigkeit besonders hoch auflaufender Fluten in den Sommermonaten zugenommen hat und in die Zeit des Schlupfes der Küken fällt. Da sich die meisten Brutplätze der Austernfischer in dem Bereich befinden, der besonders stark von diesen Fluten betroffen ist, wird gefolgert,



Abb. 30: Die Brutplätze des Austernfischers sind bei einer wachsenden Zahl von Überflutungen gefährdet. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

dass dieser Zusammenhang den Bruterfolg so stark beeinträchtigt, dass auch hierdurch die Brutbestände bereits heute abnehmen. Dies ist ein Effekt, der sich künftig verstärken könnte und auch weitere Arten betrifft.

Auch eine Verkleinerung bestimmter als Brutgebiet genutzter Lebensräume wie der Salzwiesen und Primärdünen führt zu einer Verringerung der Bestände. Dies betrifft vor allem jene Arten, bei denen die verfügbaren Brutplätze schon heute begrenzend wirken.

In der Summe der beiden vorgenannten Effekte erscheint es aus heutiger Sicht wahrscheinlich, dass Arten wie Zwergseeschwalbe, Sandregenpfeifer und Seeregenpfeifer ohne Gegenmaßnahmen ganz aus dem Wattenmeer verschwinden könnten. Aufgrund einer Modellrechnung wird bei fortschreitender Klimaerwärmung auch prognostiziert, dass die Brutgebiete im Wattenmeer von Austernfischer, Säbelschnäbler und Rotschenkel bis zum Ende dieses Jahrhunderts geräumt werden.

Dramatische Effekte sind auch bei den das Wattenmeer auf dem Zug nutzenden und in der Arktis brütenden Wat- und Wasservögeln zu erwarten. Diese Vogelgruppe prägt heute das Wattenmeer in besonderer Weise. Reaktionen können sich bei Zugvögeln beispielsweise in einem früheren Brutbeginn, einem späteren Abzug aus den Brutgebieten im Herbst sowie in sich ändernden brutbiologischen Parametern zeigen .

Ein Beispiel für mögliche Effekte zeigt sich bei den im Herbst und Frühjahr in der Wattenmeer-Region rastenden Nonnengänsen. Sie ziehen im Frühjahr bereits heute rund vier Wochen später in die Brutgebiete und legen anders als früher im Bereich der Ostsee keinen Zwischenstopp mehr ein. Der spätere Abzug wird auf innerartliche Konkurrenz in den traditionellen Zwischenstoppgebieten zurückgeführt, da diese durch andere Nonnengänse blockiert sind. Gleichzeitig haben sich die Gänse nährstoffreiche Nahrungsressourcen in der Wattenmeer-Region erschlossen und ihre Zugstrategie geändert. Für die Art ist das in diesem Beispiel bislang eine positive

Entwicklung, denn sie erreichen die Brutgebiete noch immer zum optimalen Zeitpunkt.

Steigende Wassertemperaturen und mildere Winter haben dazu beigetragen, dass Miesmuscheln im Wattenmeer keine ausreichende Anzahl an Nachkommen mehr zeigen und ihre Bestände zurückgehen. Diese Änderung zeigt schon heute Auswirkungen auf muschelfressende Vogelarten. Austernfischer (die auch über ihre Brutplätze betroffen sind, vgl. oben), Eiderenten und Knutts nehmen in ihren Beständen ab.

Insgesamt wird der Verlust an Wattflächen wahrscheinlich weniger zu einem Verschwinden der auf das Wattenmeer angewiesenen Zugvogelarten als vielmehr zu einer erheblichen Reduktion ihrer Populationsgröße führen. Dies deshalb, weil ein Ausweichen auf andere geeignete Gebiete nicht möglich ist, da solche in einer mit dem Wattenmeer vergleichbaren Größe auf dem Zugweg nicht vorhanden sind. Künftig wird sich dieses Problem sogar noch verschärfen, weil die klimawandelbedingte Verringerung der Wattflächen ja auch die anderen ohnehin schon viel kleineren Wattgebiete entlang des Zugweges betreffen wird.

Auswirkungen auf die Unterwasserwelt

Für den Bereich der Nordsee zeigen die seit gut 150 Jahren regelmäßig durchgeführten Messungen einen Anstieg der Wassertemperatur. Insbesondere die Temperaturen in den Sommermonaten haben zugenommen. Diese Entwicklung hat zusammen mit der Ausprägung der Winter entscheidenden Einfluss auf die Räuber-Beute-Beziehungen im aquatischen Bereich. Fische, Muscheln, planktische und benthische Organismen reagieren je nach Art mehr oder weniger empfindlich hinsichtlich ihrer individuellen Anpassungsfähigkeit und ihrer Entwicklungsstadien auf sich ändernde Temperaturen. Insbesondere die Entwicklung des Planktons als Primärproduzent und Nahrungsgrundlage spielt eine Schlüsselrolle in der Nahrungskette, sie ist neben der Temperaturentwicklung allerdings von weiteren Faktoren abhängig wie dem Nährstoffangebot und CO₂-Gehalt des Meerwassers. Das Zooplankton wird von den höheren Temperaturen profitieren und dabei den Fraßdruck auf das Phytoplankton erhöhen, was sich wiederum – im Zusammenhang mit einer möglichen Reduktion der Nährstoffeinleitungen aus den Flüssen – auf dessen Frühlingsblüte auswirken wird.

Temperaturveränderungen haben unmittelbare Auswirkungen auf das Wechselspiel zwischen Konkurrenten, Prädatoren, Symbionten und Parasiten. Es beeinflusst na-

türlich auch die Möglichkeit neuer Arten, sich im Wattenmeergebiet dauerhaft und erfolgreich zu etablieren.

Bisher gelten insbesondere Eiswinter als wichtiger Faktor für Miesmuscheln, um erfolgreich Larven zu rekrutieren, da sich bei tiefen Temperaturen und längeren Frostperioden die Fressfeinde in deutlich geringerer Zahl vermehren. Werden diese kalten Winter künftig durch steigende Temperaturen nur noch selten bis gar nicht mehr stattfinden, so werden eingewanderte oder eingeschleppte Arten, die meist aus wärmeren Regionen stammen, an Konkurrenzkraft zunehmen.

Langjährige Untersuchungen im niederländischen Wattenmeer zeigen eine Zunahme der makrozoobenthischen Arten und damit verbunden der Artendichte. Mildere Winter haben im Bereich des Balgzandes zu einer Zunahme der Artenzahl geführt, auch bei temperaturempfindlichen heimischen Arten von Muscheln, Würmern und Krebstieren.

Es ist davon auszugehen, dass eingeschleppte oder eingewanderte Arten („Neobiota“) wie die Pazifische Auster, die Australische Seepocke und die Amerikanische Pantoffelschnecke als endobenthische Arten im Sub- und Eulitoral an Bedeutung gewinnen und das Aussehen und die Vielfalt der heimischen Miesmuschelbänke noch stärker als bisher beeinflussen werden. Untersuchungen gehen davon aus, dass es dadurch zu einem Anstieg der Gesamtfiltrationsleistung im Wattenmeer kommen wird. Bislang ist ein Anstieg der Artenvielfalt von Algen und Wirbellosen in den Riffen von Miesmuscheln und Pazifischen Austern festzustellen. Inwieweit sich dies bei einem Anstieg der Temperatur, einer möglichen Reduzierung der Nährstoffeinträge und der Veränderung der Sedimentstruktur – aufgrund von mit dem Meeresspiegelanstieg zusammenhängenden hydrologischen Prozessen – fortsetzen oder verändern wird, ist ungewiss. Es wird befürchtet, dass regionale Besonderheiten durch die verstärkte Ansiedlung von eingeschleppten gebietsfremden Arten langfristig verschwinden. Bei einer Zunahme der ständig wasserbedeckten Bereiche auf Kosten der Wattflächen ist zu erwarten, dass sich dort insbesondere für die wärmeliebenderen Neobiota neue Rückzugsräume entwickeln.

Wie sich die Kombination aus Meeresspiegel- und Temperaturanstieg auf die im Wasser, auf und im Meeresboden lebenden Arten und Lebensgemeinschaften letzten Endes auswirken kann, ist nur schwer zu prognostizieren. Laborversuche mit einer Auswahl an am Meeresboden lebenden Arten zeigten, dass insbesondere Wattwürmer

auf eine längere Überflutungsdauer mit einer Zunahme junger Individuen positiv reagierten, wohingegen ein Temperaturanstieg bei ihnen keine messbaren Effekte auslöste – im Gegensatz zu den Herz- und Sandklaffmuscheln, bei denen das Körperwicht abnahm. Diese Untersuchungen sind jedoch nur bedingt auf reale Situationen im Watt übertragbar, da hier viele weitere Faktoren wie Nahrungsverfügbarkeit, Nahrungskonkurrenz und Prädatorendruck eine Rolle spielen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ein Vergleich der biologischen Besiedlung im Sylter Wattenmeer mit derjenigen in den Watten der wärmeren französischen Atlantikküste durchgeführt. Der Vergleich zeigt, dass allein durch moderate Temperaturerhöhung wie um 1,5 bis 2,5 °C keine wesentlichen Veränderungen zu erwarten sind. Die relativ hohe Übereinstimmung in der biologischen Besiedlung kann durch die hohe physiologische Toleranzbreite der Organismen des Gezeitenbereiches erklärt werden. Wer hier leben kann, ist gegenüber geringen klimatischen Veränderungen

unempfindlich. Diese Interpretation wird durch die Beobachtung gestützt, dass Unterschiede zuerst in der oberen Salzwiesenzone bzw. in der untersten Wattzone auftreten, also jeweils dort, wo der Einfluss des Gezeitenwechsels am geringsten ist. Im Bereich des mittleren Hochwassers war dagegen eine weitgehende Übereinstimmung zwischen dem Sylter Wattenmeer und den Watten der französischen Atlantikküste festzustellen. Die Besiedlungsfolge in der Gezeitenzone bleibt entsprechend bei moderaten Temperaturschwankungen gleich, ebenso wie die dominanten Arten. Leichte Veränderungen im Artenspektrum sind danach nur im obersten Bereich der Salzwiesen und im untersten Bereich der Watten zu erwarten. Dies beinhaltet eine Tendenz zur Zunahme der Artenvielfalt.

Da viele im Meeresboden lebende Arten eine wichtige Bedeutung für die Wat- und Wasservögel als Nahrungsgrundlage haben, ist es von besonderer Bedeutung, ob die für sie als Nahrungsraum dienenden Wattflächen erhalten bleiben oder im Umfang abnehmen. Dazu kommt,



Abb. 31: Die eingeschleppte Pazifische Auster hat sich im Wattenmeer inzwischen stark ausgebreitet und große Austernriffe gebildet. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

dass ein steigender Meeresspiegelanstieg und damit verbundene hydrologische und morphologische Prozesse die Zusammensetzung der Sedimente dahingehend verändern können, dass nicht mehr ausreichend Feinsedimente im inneren Wattenmeer abgelagert werden und sich somit auch aus diesem Grund die Artenzusammensetzung und -dichte verändert. Dies kann wiederum zur Folge haben, dass das Nahrungsangebot für die auf die Wattflächen angewiesenen Vögel noch über das durch die Flächenreduktion verursachte Maß hinaus abnimmt und damit auch deren Bestand negativ beeinflusst wird.

Auch für Fische und Krebstiere hat der Gezeitenbereich eine wichtige Funktion als Nahrungshabitat. Für einige Fischarten wie etwa die Scholle spielt das Wattenmeer eine entscheidende Rolle, da sich hier die Larven und Jungstadien aufhalten. Veränderungen im Nahrungsangebot und im zur Verfügung stehenden Lebensraum werden sich auch hier entscheidend auswirken. Hinzu kommt, dass unklar ist, wie Fischeier und -larven auf einen dauerhaften Temperaturanstieg reagieren, etwa ob es zu Verschiebungen in Räuber-Beute-Verhältnissen kommt. Arten, die nur eine geringe Toleranz gegenüber höheren Wassertemperaturen haben, werden in nördlicher Richtung aus dem Wattenmeer verdrängt werden, wohingegen schon jetzt festzustellen ist, dass wärmeliebendere Arten wie Sardinen, Sardellen und Meeräschen in das Wattenmeer einwandern.

Eine Änderung der Wassertemperatur kann biologische Prozesse wie Vermehrungszeitpunkt, Larvenwuchs und Wanderungen von der Nordsee ins innere Wattenmeer beeinflussen; damit kann auch die Synchronizität mit den Nahrungsressourcen beeinträchtigt werden. Höhere Wintertemperaturen können dazu führen, dass Larven aufgrund beschleunigter Embryonalentwicklung zu einem Zeitpunkt schlüpfen, an dem die Aufwuchsbedingungen hinsichtlich des Nahrungsangebotes nicht optimal sind. Räuber-Beute-Beziehungen können aus dem Gleichgewicht geraten, da die Nahrung zum erforderlichen Zeitpunkt nicht (mehr) oder nicht in der benötigten Größe vorhanden ist.

6.2 Das gemäßigte Wattenmeer-Szenario (M50 und M100)

Grundlage für das gemäßigte Szenario ist die Annahme, dass zeitnah bedeutende globale Klimaschutzmaßnahmen zur Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen umgesetzt werden. In diesem Fall rechnet das IPCC

(2013) mit einem moderaten, sich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts abflachenden Temperaturanstieg (s. RCP4.5 in Tab. 4).

Das gemäßigte Szenario bis 2050 (M50):

Zur Mitte des Jahrhunderts liegen die Luft- und Wassertemperaturen etwa um 1,4 °C höher als noch zu Beginn dieses Jahrhunderts, während sich die Wind- und Niederschlagsverhältnisse kaum geändert haben. Es kommt nur noch in Ausnahmen zu Eiswintern mit einem Zufrieren großer Teile des Wattenmeeres.

Der mittlere Meeresspiegel (MTw) ist insgesamt um etwa 0,2 m bzw. durchschnittlich um 4 mm pro Jahr angestiegen. Dies entspricht in etwa einer Verdoppelung des Meeresspiegelanstieges im letzten Jahrhundert. Infolge der höheren Wasserstände bzw. größeren Wassertiefen an der Außenküste nimmt hier die hydrologische Belastung durch Seegang zu. Der mittlere Tidenhub (MThb) hat unwesentlich um 0,02 m zugenommen, während auch die Windstau- und Seegangverhältnisse stabil geblieben sind.

Die Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges hat zu einer verstärkten Erosion der Außenküsten (einschl. der Ebb-Deltas) geführt. Das hier freigesetzte Material hat dazu beigetragen, dass die Wattflächen den mittleren Meeresspiegelanstieg insgesamt durch Akkumulation ausgeglichen haben. Die Salzwiesen haben ihre relative Höhenlage zum Meeresspiegel durch verstärkte Akkumulation leicht vergrößert, die Fläche ist weiter angewachsen. In morphologischer Hinsicht ist der Charakter des Wattenmeeres bei leichter Flächenabnahme weitgehend unverändert. Entsprechend haben sich auch Flora und Fauna in diesem Szenario bis Mitte des Jahrhunderts – jedenfalls aus geomorphologischen Gründen – nicht wesentlich geändert. Da Luft- und Wassertemperaturen um 1,4 °C zugenommen haben, sind dadurch jedoch im obersten Bereich der Salzwiesen, im untersten Bereich der Watten sowie im Unterwasserbereich leichte Veränderungen im Artenspektrum erfolgt. Die Verringerung von Eiswintern führt ebenfalls zu einer Verschiebung von Arten. Die Abfolge der Besiedlung in der Gezeitenzone bleibt grundsätzlich gleich oder doch sehr ähnlich, ebenso wie die dominanten Arten. Im Unterwasserbereich kann es jedoch auch zu Veränderungen bei den dominanten Arten kommen.

Das gemäßigte Szenario bis 2100 (M100):

Zum Ende dieses Jahrhunderts liegen die Luft- und Wassertemperaturen um etwa 1,8 °C höher als zu Beginn dieses Jahrhunderts bzw. nochmals um 0,4 °C höher als um 2050. Der Anstieg hat sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts verlangsamt. Die Wind- und Niederschlagsver-

hältnisse haben sich dagegen kaum geändert. Es kommt nicht mehr oder nur in extremen Ausnahmen zu Eiswintern mit einem Zufrieren großer Teile des Wattenmeeres.

In der Folge des weiteren Temperaturanstieges verstärkt sich der jährliche MTw-Anstieg auf etwa 6 mm, wodurch das MTw um 2100 insgesamt 0,5 m höher als im Ausgangsjahr 2000 steht. Infolge der zunehmenden Wassertiefen an der Außenküste nimmt hier die hydrologische Belastung durch Seegang weiter zu. Der MThb hat insgesamt um 0,05 m zugenommen. Der leicht erhöhte Tidenhub führt entsprechend zu einem höheren Energieeintrag durch Tideströmungen in das Wattenmeer. Die Windstau- und Seegangverhältnisse haben sich nicht signifikant geändert.

In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts reicht das an der Außenküste verstärkt freigesetzte Material nicht mehr aus, um die Wattflächen stabil zu halten. Die mittlere Höhenlage der trockenfallenden Wattflächen zum MTw nimmt ebenso ab wie deren Flächengröße (um etwa 15%). Die Umströmungen der Inseln und Halligen nehmen zu und die Wattbereiche im Umfeld der Inseln und Halligen werden abgetragen. Die subtidalen (ständig wasserbedeckten) Flächen nehmen entsprechend zu, weshalb - trotz leichter Tidenhubzunahme - nicht mit

Erosionen bzw. Ausräumungen in den Rinnen zu rechnen ist. Obwohl die Salzwiesen den Meeresspiegelanstieg in der Höhe ausgleichen konnten und weiter angewachsen sind, hat deren Fläche auf den Inseln durch Kantenerosion leicht abgenommen. Zusammengefasst geraten die morphologischen Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zunehmend aus dem bisherigen Zustand und zugleich verringert sich auch die Gesamtfläche des Wattenmeeres durch verstärkte Erosionen an der Außenküste.

Größere Veränderungen von Flora und Fauna sind aufgrund der höheren Temperaturen vor allem im Unterwasserbereich sowie durch die geomorphologischen Veränderungen eingetreten. So kommt es im Bereich der kaum noch auftretenden Übergangslbensräume wie Quellerwiesen und Primärdünen zu einem starken Rückgang und zu einem Verschwinden von Arten. Auch der Wegfall der Eiswinter führt zu einer stärkeren Verschiebung von Arten. Die Verringerung der Wattflächen und Salzwiesen sowie die geringere Verfügbarkeit von sicheren Brutplätzen haben zu einer Reduktion der Populationsgröße der für das Wattenmeer typischen Arten geführt. Einige Brutvogelarten wie Zwergseeschwalbe, Sand- und Seeregenpfeifer, die auf besonders betroffene Habitate angewiesen sind, sind stark reduziert.



Abb. 32: Ein Seeregenpfeifer auf seinem Gelege - werden die sicheren Brutplätze knapp, ist die Art bedroht. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

6.3 Das gesteigerte Wattenmeer-Szenario (G50 und G100)

Grundlage für das höhere Szenario ist die Annahme, dass zeitnah keine signifikanten globalen Klimaschutzmaßnahmen zur Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen umgesetzt werden. In diesem Fall rechnet das IPCC (2013) mit einem starken und in der zweiten Jahrhunderthälfte ungebrochenen Temperaturanstieg (s. RCP8.5 in Tab. 4).

Das gesteigerte Szenario bis 2050 (G50):

Zur Mitte des Jahrhunderts liegen die Luft- und Wassertemperaturen etwa um 1,8 °C über denen des Jahres 2000, während die Niederschlags- und Windverhältnisse sich kaum geändert haben. Es kommt nicht mehr oder nur als extreme Ausnahme zu Eiswintern mit einem Zufrieren großer Teile des Wattenmeeres.

Der mittlere Meeresspiegel (MTw) ist insgesamt um etwa 0,3 m bzw. durchschnittlich um 6 mm pro Jahr angestiegen. Dies entspricht in etwa einer Verdreifachung des Meeresspiegelanstiegs im letzten Jahrhundert. Infolge der zunehmenden Wassertiefen an der Außenküste nimmt hier die hydrologische Belastung durch Seegang zu. Der mittlere Tidenhub (MThb) hat geringfügig um 0,03 m zugenommen, während die Windstau- und Seegangverhältnisse stabil geblieben sind.

Die starke Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges hat zu einer starken Erosion der Außenküsten (einschließlich der Ebb-Deltas) geführt. Obwohl somit vermehrt Material an der Außenküste freigesetzt wird, reichen diese Mengen nicht aus, um den Meeresspiegelanstieg auf den Wattflächen auszugleichen. Die mittlere Höhenlage der trockenfallenden Wattflächen zum MTw nimmt ebenso ab wie deren Flächengröße (um etwa 15%). Die Umströmungen der Inseln und Halligen nehmen zu und die Wattbereiche im Umfeld der Inseln und Halligen werden abgetragen. Die subtidalen Flächen nehmen entsprechend zu, weshalb – trotz leichter Tidenhubzunahme – nicht mit Erosionen bzw. Ausräumungen in den Rinnen zu rechnen ist. Die Salzwiesen gleichen den Meeresspiegelanstieg durch vermehrte Sedimentation in der Höhe aus. Es kommt aber zu Kantenerosion und somit zu einer Abnahme der Vorlandflächen, besonders auf den Inseln. Zusammengefasst geraten die morphologischen Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres aus dem bisherigen Zustand und die Gesamtfläche des Wattenmeeres verringert sich durch starke Erosionen an der Außenküste.

Obwohl Luft- und Wassertemperaturen um 1,8 °C zugenommen haben, sind dadurch nur im obersten

Bereich der Salzwiesen, im untersten Bereich der Watten sowie im Unterwasserbereich leichte Veränderungen im Artenspektrum erfolgt. Die Abfolge der Besiedlung in der Gezeitenzone bleibt grundsätzlich gleich oder doch sehr ähnlich, ebenso wie die dominanten Arten, doch der Wegfall der Eiswinter führt zu einer stärkeren Verschiebung von Arten. Im Unterwasserbereich kommt es zu Veränderungen bei den dominanten Arten. Der Verlust an Wattflächen und Salzwiesen hat dagegen bereits zu Mitte des Jahrhunderts erhebliche Auswirkungen auf Flora und Fauna. Der Flächenverlust hat dabei im Bereich der Übergangszonen Quellerwiesen und Primärdünen zu einem starken Rückgang und zu einem Verschwinden von Arten sowie zu einer Reduktion der Populationsgröße der auf die betreffenden Lebensräume angewiesenen Arten geführt, zum Beispiel bei den das Wattenmeer prägenden Brut- und Rastvögeln.

Das gesteigerte Szenario bis 2100 (G100):

Zum Ende dieses Jahrhunderts liegen die Luft- und Wassertemperaturen um 3,7 °C höher als zu Beginn dieses Jahrhunderts bzw. nochmals um 1,7 °C höher als um 2050. Die Niederschläge nehmen über das Jahr genommen leicht zu, wobei die Winterniederschläge signifikant um bis zu 30% zu- und die Sommerniederschläge entsprechend abnehmen. Dies hat für die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung der Küstenniederungen starke Konsequenzen. Zum Ende des Jahrhunderts ist mit leicht zunehmenden mittleren und extremen Windgeschwindigkeiten zu rechnen. Es kommt nicht mehr zu Eiswintern mit einem Zufrieren großer Teile des Wattenmeeres.

In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts verstärkt sich der jährliche MTw-Anstieg auf etwa 10 mm, wodurch das MTw um 2100 insgesamt 0,8 m höher als im Basisjahr 2000 steht. Infolge der stark zunehmenden Wassertiefen an der Außenküste nimmt hier die hydrologische Belastung durch Seegang signifikant zu. Der MThb hat insgesamt um 0,08 m zugenommen. Der erhöhte Tidenhub führt entsprechend zu einem höheren Energieeintrag durch Tideströmungen in das Wattenmeer. Die geänderten Windverhältnisse haben dazu geführt, dass die im Sturmseegang enthaltene Energie leicht angestiegen ist, während der Windstau um ca. 0,4 m zugenommen hat. Die maximalen Sturmflutwasserstände können somit um etwa 1,2 m höher auflaufen als zu Beginn des Jahrhunderts. Entsprechend nehmen die hydrologischen Energieeinträge in das Wattenmeer durch Triftströmungen zu.

Die bereits zur Mitte des Jahrhunderts begonnene morphologische Entwicklung setzt sich deutlich verstärkt fort. Die Außenküste weicht überall und teilweise sehr stark



Abb. 33: Bei einem Temperaturanstieg um 3,7 °C bis zum Ende dieses Jahrhunderts (Szenario G100) würden die Rast- und Aufzuchtplätze der Kegelrobben stark eingeschränkt. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

zurück. Die Wattflächen tauchen verstärkt unter dem Meeresspiegel ab, wodurch ihre Flächengröße um etwa 75% abnimmt, entsprechend vergrößert sich die Subtidalfläche. Die Umströmungen der Inseln und Halligen nehmen stark zu und die Wattbereiche im Umfeld der Inseln und Halligen werden stark abgetragen. Da das Tideprisma somit mehr Strömungsraum im ständig wasserbedeckten Bereich hat, nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten in den Tiderinnen (mit Ausnahme der Seegats) ab und es kommt hier zur Sedimentation. Die Salzwiesen sind in einigen Bereichen durch zunehmende Akkumulation in der Lage, den Meeresspiegelanstieg auszugleichen, trotzdem gibt es auch hier vermehrt regelmäßige und höhere Überflutungen, während die hydrologischen Belastungen auf die Salzwiesen und damit die Kantenerosion stark zunehmen. Entsprechend verringern sich die Salzwiesenflächen zum Ende des Jahrhunderts deutlich. Zusammengefasst ist zum Ende des Jahrhunderts eine morphologische Systemänderung von wattflächendominierten Tidebecken zu flachwasserdominierten Bereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Gesamtfläche des Wattenmeeres bereits weit vorangeschritten. Aufgrund der größeren Wassertiefen ist an den Küsten und Küstenschutzanlagen mit einer Zunah-

me der hydrologischen Belastung durch (Sturm-)Seegang zu rechnen.

In biologischer Hinsicht verstärkt sich die ungünstige Entwicklung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts erheblich. Eine sehr starke Abnahme der das Wattenmeer eigentlich prägenden Arten ist eingetreten, sowohl bei der Zahl der Arten wie bei der Größe der Bestände. Dies liegt stark an den geomorphologischen Veränderungen, aber auch an einer temperaturbedingten Verdrängung der heutigen Flora und Fauna zugunsten wärmeliebender Arten.

Für Seehunde und Kegelrobben bedeutet dies, dass deren Liege-, Ruhe- und Aufzuchtplätze stark eingeschränkt sind. Das Wattenmeer wird dann nur noch in erheblich verringertem Maß die heutige Funktion eines lebenswichtigen Aufenthaltsorts für viele arktisbewohnende Arten von Watvögeln erfüllen. Auch die typischen Brutvögel sind stark betroffen und ihre Zahl reduziert. Einige Arten wie Zwergseeschwalbe, Sand- und Seeregenpfeifer sind ganz verschwunden, da sie auf besonders betroffene Habitate angewiesen sind.

6.4 Synthese

Beide Szenarien beschreiben künftige Entwicklungen, in denen sich das Wattenmeer – ohne entsprechende Anpassungsmaßnahmen – im hydromorphologischen und biologischen Sinne stark wandeln wird. Der Unterschied zwischen beiden Szenarien ist im Wesentlichen der Zeitfaktor (Tab. 5). Während im gemäßigten Szenario erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts mit stärkeren Änderungen zu rechnen ist, finden im gesteigerten Szenario schon zu Mitte des Jahrhunderts signifikante Änderungen statt. Dabei ist die Feststellung wichtig, dass die Änderungen sich in den anschließenden Jahrhunderten, die in dieser Strategie nicht berücksichtigt werden, wahrscheinlich fortsetzen werden.

Die Szenarien zeigen sowohl für den Küstenschutz infolge erhöhter hydrologischer Belastungen der Küsten und Küstenschutzanlagen wie auch für den Naturschutz durch Abnahme und Veränderungen der das Wattenmeer prägenden Strukturen, Funktionen und Biodiversität die Herausforderungen auf, die auf das Land zukommen, um das Wattenmeer in seiner Einzigartigkeit und mit seiner charakteristischen Dynamik entsprechend der Nationalpark-Zielsetzung und der Weltnaturerbe-Anerkennung und in seiner Funktion für den Schutz der Küste und für den Menschen zu erhalten. In diesem Sinne werden in den nächsten Kapiteln Möglichkeiten der nachhaltigen Anpassung aufgezeigt.

	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts		Quellen
	gemäßigt (M50)	gesteigert (G50)	gemäßigt (M100)	gesteigert (G100)	
Klimaprojektionen					
Zunahme Lufttemperatur (oC)	1,4	1,8	2,0	3,7	2
Zunahme Wassertemperatur (oC)	1,4	1,8	2,0	3,7	1
Änderung Sturmintensität	o	o	o	+	3
Änderung Sommerniederschläge	o	o	o	--	3
Änderung Winterniederschläge	o	o	o	++	3
Hydrologische und morphologische Projektionen und Szenarien (von den Klimaprojektionen abgeleitet)					
Anstieg mittlerer Meeresspiegel (m)	0,2	0,3	0,5	0,8	2
Anstiegsrate mittlerer Meeresspiegel (mm/a)	4	6	6	10	2
Zunahme mittlerer Tidenhub MThb (m)	0,02	0,06	0,03	0,16	4
Zunahme Sturmflutwasserstände (m)	0,2	0,3	0,5	1,2	5
Änderung Seegang	o	o	o	+	6
Vorhandensein bzw. Intensität von Eiswintern	-	--	--	---	3
Änderung Erosion der Außenküste	+	++	++	+++	7
Änderung Ebb-Deltavolumen	-	-	-	--	8
Änderung Tiderinnenvolumen	o	o	o	--	8
Änderung der Fläche des Sublitorals (%)	0	30	30	150	8
Sedimentakkumulation auf den Wattflächen (mm/a)	4	5	5	5	1
Änderung der Fläche der Watten (%)	0	-15	-15	-75	8
Sedimentakkumulation auf den Salzwiesen (mm/a)	6	8	8	10	1, 9, 10
Größe der Salzwiesenfläche	+	o	-	--	1
Legende zu den Klimaprojektionen sowie zu den hydrologischen und morphologischen Projektionen und Szenarien: - = Abnahme, -- = starke Abnahme, --- = sehr starke Abnahme; o = Keine oder geringe Änderung; + = Zunahme, ++ = starke Zunahme, +++ = sehr starke Zunahme					
Biologische Szenarien (von den oben genannten Projektionen und Szenarien abgeleitet)					
Pflanzen (Salzwiesen und Dünen)	o	x	x	xxx	1
Vögel (Brut- und Rastvögel)	o	x	xx	xxx	1
Unterwasserwelt (Eu- und Sublitoral)	o	x	xx	xxx	1
Legende zu den biologischen Szenarien: o = keine oder geringe Veränderung, x = leichte Veränderung, xx = starke Veränderung, xxx = sehr starke Veränderung (die Veränderungen können sowohl Artenzunahmen als auch Artenabnahmen als auch Artenverschiebungen beinhalten)					
Quellen: 1 = Expertenschätzung; 2 = IPCC 2013; 3 = www.norddeutscher-klimaatlas.de; 4 = Hein et al. (2014); 5 = Woth et al. (2006), Gaslokova et al. (2013); 6 = Grabemann et al. (2014), Groll et al. (2014); 7 = Bruun (1962); 8 = Dissanayake et al. (2012), 9 = Suchrow et al. (2012), 10 = Stock (2011).					

Tab. 5: Änderung relevanter Klimakennwerte und abgeleiteter abiotischer und biotischer Parameter als Experteneinschätzung für die Wattenmeer-Szenarien M und G

7. Bewertung der Szenarien und Anpassungsoptionen

7.1 Bewertung der Szenarien

Bewertung der Szenarien aus Sicht des Küstenschutzes

Die in den Szenarien aufgezeigten hydro-morphologischen Änderungen im Wattenmeer führen in unterschiedlichem Ausmaß und zeitlich versetzt zu Konsequenzen für die langfristige Gewährleistung des Schutzes der Küstenbewohner vor Sturmfluten und gegen Landabbruch. Nachfolgend werden relevante Konsequenzen für den Küstenschutz thematisch und, soweit angebracht, regional aufgelistet:

- In Abhängigkeit vom Szenario werden ab Mitte (G-Szenario) bzw. zu Ende (M-Szenario) dieses Jahrhunderts infolge größerer Wassertiefen die hydrologischen Belastungen durch Sturmseeegang auf Küstenhochwasserschutzbauwerke auf den Inseln und Halligen sowie an der Festlandsküste zunehmen. Entsprechend nimmt die Hochwassergefahr für die Küstenniederungen und Halligwarften zu.
- In Abhängigkeit vom Szenario werden die Sturmflutwasserstände an den Küstenhochwasserschutzanlagen zu Mitte des Jahrhunderts um 0,2 bis 0,3 m sowie bis Ende des Jahrhunderts um 0,5 bis 1,2 m zunehmen. Beim Versagen dieser Anlagen ist somit auch mit größeren Wassertiefen in den überfluteten Bereichen zu rechnen, allerdings nicht in dem Maße, wie die Sturmflutwasserstände ansteigen. Größere Wassertiefen in den Küstenniederungen erschweren die Katastrophenabwehr und führen zu einer Zunahme der Schadenserwartungen im Katastrophenfall.
- Die Westküsten der Inseln werden bereits im M-Szenario ab Mitte des Jahrhunderts zunehmend erodieren, dann auch an Stellen, die heute noch stabil sind. Hierdurch erhöht sich die Gefahr von Inseldurchbrüchen auf Sylt und Amrum. Diese ungünstige Entwicklung verschärft sich entsprechend zu Ende des Jahrhunderts bzw. im G-Szenario.
- Die Ostküsten von Sylt und Amrum sowie die sandigen Küsten von Föhr und dem westlichen Eiderstedt werden einer ähnlichen erosiven Entwicklung unterliegen, was entsprechend zu zunehmenden Gefährdungen für die dort vorhandenen sozio-ökonomischen Nutzungen führen wird.
- Die Halligen werden in beiden Szenarien künftig öfter überflutet, was hier durch vermehrten Sedimenteintrag zu einem stärkeren Höhenwachstum führen wird. Allerdings wird dieses in keinem Szenario ausreichen, um

den schnelleren Meeresspiegelanstieg auszugleichen. Entsprechend werden mögliche sozio-ökonomische Nutzungen auf den Halligen bereits zu Mitte (G-Szenario) bzw. zu Ende dieses Jahrhunderts (M-Szenario) eingeschränkt.

- Um die Halligen herum können die Wattsockel bereits im M-Szenario ab Mitte des Jahrhunderts durch erhöhte Turbulenzen lokal erodieren. Hierdurch nehmen die Höhenunterschiede zwischen Watt und Hallig und damit die hydrologischen Belastungen der Halligen zu.
- Durch die größeren Wassertiefen wie auch durch die Zunahme des Höhenunterschiedes zwischen Salzwiese und vorgelagertem Watt infolge der unterschiedlichen Sedimentationsraten werden im G-Szenario zu Mitte des Jahrhunderts und im M-Szenario zu Ende des Jahrhunderts die hydrologischen Belastungen in der Übergangszone zwischen Watt und Salzwiese zunehmen. Die Folge ist Kantenerosion und abnehmende Tiefe (Breite) der Salzwiesen. Bei Unterschreiten einer Tiefe von etwa 200 m wird ihre Schutzwirkung (Verringerung der hydrologischen Belastungen während Sturmfluten) für die dahinterliegenden Küstenschutzbauwerke entsprechend abnehmen, wodurch diese im Sturmflutfall zunehmend belastet werden.
- Die stärkeren hydrologischen Belastungen infolge größerer Wassertiefen im Wattenmeer werden ab Mitte (G-Szenario) bzw. zu Ende (M-Szenario) dieses Jahrhunderts den Küstenschutzbauwerken (Deiche, Warften, Deckwerke, Buhnen, Lahnungen, Sandaufspülungen, usw.) verstärkt zusetzen, was zu Beeinträchtigungen ihrer Funktionalität (Unterhaltungszustand) und damit zu einer Zunahme der Versagenswahrscheinlichkeit im Belastungsfall führen wird.

Zusammenfassend sind – bis auf zunehmende Erosionen an den sandigen Küsten der Inseln und im direkten Umfeld der Halligen – im M-Szenario zu Mitte des Jahrhunderts noch keine signifikanten negativen Konsequenzen für den Küstenschutz zu erwarten. Beeinträchtigungen für die Sicherheit der Küstenbewohner werden im M-Szenario im Laufe der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts wahrscheinlich. Im G-Szenario muss dagegen bereits zu Mitte des Jahrhunderts von negativen Konsequenzen für den Küstenschutz bzw. von Beeinträchtigungen der Sicherheit der Küstenbewohner infolge von Sturmfluten und Landabbruch ausgegangen werden.

Die Bewertung aus Sicht des Küstenschutzes zeigt auf, dass zur langfristigen Gewährleistung der heutigen

Sicherheitsstandards der Küstenbevölkerung spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts – bei gleichbleibenden Techniken und Verfahren – zusätzlicher Aufwand erforderlich wird. Dies betrifft alle Aspekte des Küstenschutzes wie Bauwerksunterhaltung, Sandersatzmaßnahmen, Vorlandarbeiten und Anpassungen von Hochwasserschutzanlagen. Entsprechend würden die Kosten für den Küstenschutz infolge des anthropogenen Klimawandels und die dadurch bedingten hydro-morphologischen Änderungen im Wattenmeer früher oder später sehr stark zunehmen. Daraus leitet sich die Herausforderung ab, diesen zu erwartenden zusätzlichen technischen und finanziellen Aufwand durch gezielte und nachhaltige Maßnahmen zur Verringerung der negativen morphologischen Änderungen (Struktur und Funktion) im Wattenmeer zu minimieren.

Bewertung der Szenarien aus Sicht des Naturschutzes

Im Wattenmeer hat gemäß Nationalparkgesetz die natürliche Entwicklung Vorrang: „Es ist ein möglichst ungestörter Ablauf der Naturvorgänge zu gewährleisten. Der Nationalpark ist als Lebensstätte der dort natürlich vorkommenden Tier- und Pflanzenarten und der zwischen diesen Arten und den Lebensstätten bestehenden Beziehungen zu erhalten. Die Gesamtheit der Natur in ihrer natürlichen Entwicklung mit allen Pflanzen, Tieren und Ökosystemen besitzt einen zu schützenden Eigenwert.“

Dieser Grundgedanke ist seit 1991 auch das gemeinsame Leitprinzip der trilateralen Wattenmeerpoltik. Der darauf basierende gemeinsame Schutz des Wattenmeeres führte zur Anerkennung als Weltnaturerbe der UNESCO und hat dadurch auch eine globale Dimension.

Im Kern bedeutet dies, dass jegliches Management des Nationalparks sich in erster Linie darauf beschränken soll, der Natur den nötigen Freiraum zu verschaffen, um sich nach ihren eigenen Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln. Es ist also quasi Sache der Natur, zu „entscheiden“ wo ein Priel verläuft, wo eine Sandbank liegt oder wo nicht, ob eine Primärdüne auf dem Strand wächst oder wieder vergeht, wo und wie sich eine Insel neu entwickelt, oder ob in einer Salzwiese mehr Austernfischer oder mehr Rotschenkel brüten. Für diese Natur treffen wir Menschen also keine unbegründeten Entscheidungen. Wir müssen weder festlegen, welche Art von Naturzustand wir konservieren wollen, noch brauchen wir Pflegemaßnahmen, um mit ihnen einen bestimmten Zustand in der Natur zu bewahren.

Dieses „Hands-off-Management“ ist die oberste Maxime des Naturschutzes bei der Bewertung der Szenarien. Die

erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten, Lebensgemeinschaften und ihre Lebensräume sind komplex, nur ansatzweise verstanden und daher nur schwer zu bewerten. Im Einzelfall kann es sogar unklar sein, ob sich eine bestimmte Maßnahme eher positiv, neutral oder eher negativ auf die Natur des Wattenmeeres auswirkt. Eine fachlich gut begründete Maßnahme – und dies ist die Mindestanforderung für jedes Handeln – kann sich in ihrer Wirkung anders darstellen als erwartet oder nachteilige Auswirkungen auf einzelne Ökosystemkomponenten haben.

Der grundsätzliche Vorrang der natürlichen Entwicklung kann jedoch in der Praxis aus mehreren Gründen eingeschränkt sein. Solche Gründe ergeben sich vorrangig aus den für den Küstenschutz erforderlichen Maßnahmen. Einschränkungen des Zieles der ungestörten Entwicklung resultieren aber auch aus weiteren Vorgaben des Nationalparkgesetzes, nämlich unzumutbare Beeinträchtigungen der Interessen und herkömmlichen Nutzungen der einheimischen Bevölkerung zu vermeiden und andere Nutzungsinteressen mit dem Schutzzweck im Allgemeinen und im Einzelfall gerecht abzuwägen.

Der spezielle Artenschutz kann ausnahmsweise Vorrang vor der natürlichen Entwicklung haben, wenn z.B. für eine im Wattenmeer vorkommende Art auf internationaler Ebene eine Bedrohung entsteht und wir damit eine Verantwortung für diese Art tragen, die über die Region des Wattenmeeres hinausreicht. Ein Beispiel hierfür ist das Artenschutzprojekt für die Lachseeschwalbe. Auch die Rücknahme von früheren Eingriffen kann Vorrang bekommen, wenn nur so etwa Salzwiesen renaturiert oder günstige Umweltbedingungen für die Rückkehr verdrängter oder dezimierter Arten und Lebensräume geschaffen werden können.

Für die Bewertung der Szenarien bedeutet dies zunächst, dass korrigierende Eingriffe nicht erforderlich sind, solange das Wattenmeer ohne substanzielle Verluste hinsichtlich seiner Funktionen und seiner Größe mit den Folgen des menschengemachten und beschleunigten Meeresspiegelanstiegs auch alleine zurechtkommt.

Dies könnte für das gemäßigte Szenario (M-Szenario) noch bis zur Mitte des Jahrhunderts zutreffen. In dem Zeitraum danach sind jedoch auch im M-Szenario derart deutliche Veränderungen zu erwarten, wie sie für das gesteigerte Szenario (G-Szenario) schon vor 2050 vorherzusehen sind. Das Wattenmeer würde in seinen entscheidenden Werten geschädigt und zunehmend degradiert werden.

Einige der bei den Szenarien postulierten biologischen Veränderungen müssen auch hingenommen werden. So gibt es – außer durch global funktionierenden Klimaschutz – bei den nachfolgend beschriebenen Veränderungen keine vorstellbaren Gegenmaßnahmen:

- Der Wegfall von Eiswintern mit dem Ausbleiben eines längeren Zufrierens der Wattflächen und der damit zusammenhängenden Verschiebung des Artenspektrums.
- Die zunehmende Nordausdehnung wärmeliebender Arten sowie die Abwanderung kälteliebender Arten in den Norden aufgrund von Temperaturänderungen sowie das Auftreten neuer Krankheitserreger und Parasiten und deren nicht vorhersehbare Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung.
- Die wahrscheinlich zurückgehende Ansiedlung von Mies- und anderen Muscheln bei steigenden Wassertemperaturen und milden Wintern sowie die Abnahme ihrer Bestände und die nachfolgenden negativen Auswirkungen auf muschelfressende Vogelarten.
- Steigende CO₂-Emission führt zur Versauerung der Meere und hat auch weitreichende Auswirkungen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse im Wattenmeer.

Andere Veränderungen können und sollen aus Sicht des Naturschutzes mit geeigneten Gegenmaßnahmen zumindest minimiert werden. Dazu zählt beispielsweise der Verlust von Wattflächen, Salzwiesen, Stränden und Dünen, der auch erhebliche negative Auswirkungen auf die Areal- und Populationsgröße von Flora und Fauna hätte.

Um langfristig den in den Szenarien aufgezeigten negativen Auswirkungen auf die Strukturen und Funktionen des Wattenmeeres entgegenzuwirken, sind entsprechend des M-Szenarios spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts, vorbeugend vermutlich aber auch schon vorher, und im Fall des G-Szenarios auch schon in der ersten Hälfte des Jahrhunderts Maßnahmen zu ergreifen, die die Strukturen und Funktionen und die Integrität des Wattenmeeres gewährleisten. Dazu wird es weiterhin gehören, dem Wattenmeer in erster Linie Raum für eine eigenständige Entwicklung zu bieten und dafür sicherzustellen, dass eventuelle Maßnahmen nicht mehr als notwendig eingreifen und möglichst naturnah ausgeführt werden.

Die durch den Klimawandel verursachten Änderungen und die in den Szenarien geschilderten Auswirkungen werden nicht so rasch eintreten, dass nicht ausreichend

Zeit bleibt, die Entwicklung zu beobachten. In dieser Zeit können durch kleinere Projekte, Versuche und Pilotmaßnahmen jene Erfahrungen gesammelt werden, um die letztlich wahrscheinlich erforderlich werdenden großmaßstäblichen Maßnahmen vorbereiten zu können. In diesem Sinne ist es aus Naturschutzsicht sinnvoll, die Maßnahmen in kurzfristige kleinere und langfristige größere zu differenzieren. Es ergibt sich daraus auch, dass wissenschaftlich begleitete Pilotprojekte, wenn sie plausibel sind und keine irreparablen Veränderungen schaffen („No-Regret-Maßnahmen“) schon für sich genommen eine notwendige Komponente der Strategie sind.

Die Bewertung aus Sicht des Naturschutzes zeigt auf, dass zur Erhaltung des Nationalparks und Weltnaturerbes Wattenmeer erheblicher zusätzlicher Aufwand erforderlich wird. Die zu ergreifenden Maßnahmen sollten möglichst sowohl den Zielen des Küstenschutzes als auch den Zielen des Naturschutzes dienen. Damit kann der zusätzlich erforderliche Aufwand mehreren Zwecken dienen.

7.2 Rahmen für die Beurteilung von Anpassungsoptionen und der daraus folgenden Maßnahmen

Die nachfolgenden Rahmenbedingungen orientieren sich an dem Leitbild und den Zielen dieser Strategie. Sie sind Grundlage für die Beurteilung der allgemein formulierten Anpassungsoptionen in dieser Strategie und der später zu konkretisierenden Maßnahmen. Gemeinsam getragene Entscheidungen leben von unterschiedlichen gesellschaftlichen Einflüssen, haben eine große Akzeptanz und damit eine nachhaltige Wirkung.

Bei geplanten Maßnahmen sind deshalb – in einem angemessenen Verhältnis zu Größe, Komplexität und Betroffenheit – ein rechtzeitiger Dialog vor der konkreten Planung sowie eine aktive Mitwirkung der Interessensvertreter erforderlich. Diese Strategie beschreibt hierfür den Rahmen. Bei der Abwägung zwischen verschiedenen Maßnahmen bzw. Varianten sind diejenigen zu bevorzugen, die dem gemeinsamen Ziel der Sicherheit der Menschen vor Sturmfluten und dem Schutz des Weltnaturerbes und Nationalparks Wattenmeer am besten dienen.

1. Das Sedimentdefizit des Wattenmeeres darf nicht vergrößert werden

Die Szenarien für die Zeit bis 2050 bzw. 2100 zeigen auf, dass durch den Meeresspiegelanstieg mit zunehmenden Sedimentdefiziten im Wattenmeer gerechnet

werden muss. Sedimententnahmen innerhalb des Wattenmeeres würden deshalb zu einem zusätzlichen Bedarf an Sediment führen. Zwar könnten sich Entnahmestellen im Wattenmeer unter Umständen wieder schnell mit Sedimenten füllen, dieses Sediment würde jedoch an anderer Stelle zusätzlich fehlen. Deshalb sollen die Anpassungsoptionen und Maßnahmen weder direkt noch indirekt dazu führen, dass dem Wattenmeer-System Sediment entzogen wird.

2. Natürliche Prozesse zulassen und fördern

Anpassungsoptionen und Maßnahmen, die dem Naturgeschehen nicht entgegenstehen, erhöhen die dynamische Entwicklungsmöglichkeit und damit die natürliche Anpassungsfähigkeit (Resilienz) des Wattenmeeres im Klimawandel. Maßnahmen, die sich als Störfaktor in der natürlichen Dynamik darstellen, ziehen negative Folgen nach sich z. B. Lee-Erosion und Verlust der Naturwerte. Deshalb sind Anpassungsoptionen und Maßnahmen zu wählen, die sich in die natürlichen Prozesse und Entwicklungen einfügen.

3. Neue oder ungewöhnliche Lösungen in die Planung einbeziehen

Zusätzlich zur Umsetzung von bewährten Maßnahmen soll zukünftig verstärkt auch die Entwicklung von neuen Ideen zur Anpassung gefördert werden. Insbesondere im Rahmen von Pilotprojekten sollen innovative Maßnahmen und Konzepte ermöglicht werden, um die Wissensbasis für ökologisch, sozial und wirtschaftlich nachhaltige Entscheidungen zu erweitern. Begriffe wie „Wachsen mit dem Meer“ oder „Mit dem Wasser leben“ symbolisieren dabei Offenheit.

4. Regionale und lokale Aspekte mit internationalen Erfahrungen verbinden

Auch innerhalb des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres gibt es große Unterschiede, so dass Anpassungsoptionen und Maßnahmen am Festland, an Inseln und Halligen sowie nördlich bzw. südlich der Eider sehr unterschiedlich sein können. Örtliche Besonderheiten sind zu berücksichtigen. Zugleich sollen aber auch Erfahrungen von vergleichbaren Küstengebieten im internationalen Raum ausgewertet und berücksichtigt werden.



Abb. 34: Sandaufspülungen zur Stabilisierung einer Uferlinie sind ein Beispiel für eine No-Regret-Maßnahme. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

5. Synergien nutzen

Anpassungsoptionen und Maßnahmen sollen Synergien mit möglichst vielen öffentlichen Interessen erzielen. Dabei stehen die Sicherheit der Menschen sowie der Schutz und die Integrität des Wattenmeeres im Vordergrund. Je nach Maßnahme können auch Vorteile für den Tourismus oder die Naherholung, für die Kommunen vor Ort, für die Wasserwirtschaft, für eine nachhaltige Landwirtschaft und Fischerei oder für die Energiewende entstehen.

6. No-regret-Maßnahmen bevorzugen

Aufgrund der großen Bandbreiten bzw. Unsicherheiten in den Szenarien für die Zeit bis 2050 bzw. 2100 sind solche Anpassungsoptionen und Maßnahmen zu bevorzugen, die auch dann noch einen gesellschaftlichen Nutzen haben, wenn der Klimawandel stärker oder schwächer ausfällt als erwartet, und mit denen im Fall von Irrtümern in den Szenarien kein irreparabler Schaden entsteht. Ein Beispiel für eine No-regret-Maßnahme ist eine Sandaufspülung zur Stabilisierung einer Uferlinie. Fällt der Meeresspiegelanstieg schwächer aus, ist die Wirkungsdauer entsprechend länger. Ist der Meeresspiegelanstieg stärker als erwartet, verringert sich zwar die Wirkungsdauer, sie ist aber trotzdem gegeben.

7.3 Anpassungsoptionen

Dieses Kapitel beschreibt Optionen einer zukünftigen Klimaanpassung im schleswig-holsteinischen Wattenmeer, um den negativen Konsequenzen, die sich infolge der Szenarien ergeben würden, entgegen zu wirken. Dabei wurde die für das deutsch-dänisch-niederländische Wattenmeer formulierte Klimaanpassungsstrategie berücksichtigt. Die Ausarbeitung von konkreten Anpassungsmaßnahmen bleibt der späteren Planung vorbehalten.

Die entscheidende Anpassungsoption zum Ausgleich des zu erwartenden Sedimentdefizits im Wattenmeer ist ein Sediment-Management. Verbesserungen beim technischen Hochwasserschutz sind als weitere Anpassungsoptionen erforderlich. Diese Optionen orientieren sich an den Rahmenbedingungen und werden in den folgenden Abschnitten ausgeführt.

Kommunikation, Raumplanung, archäologische Denkmalpflege und Bildung sollten die Strategie als Querschnittsaufgabe in der Umsetzung von Beginn an begleiten.

7.3.1 Anpassungsoption: Wachsen mit dem Meer – alles dreht sich um das Sediment

Unter der Voraussetzung, dass das Wattenmeer in seiner Größe und in seinen Funktionen erhalten bleiben und der Schutz der Menschen gewährleistet werden soll, ist es erforderlich, das durch den Meeresspiegelanstieg entstehende Sedimentdefizit auszugleichen. Je nach Szenario kann schon zur Mitte des Jahrhunderts ein maßgebliches Sanddefizit eintreten. Daher ist der Import von natürlichen Sedimenten z.B. von Sand aus der vorgelagerten Nordsee in das Wattenmeer in Form eines Sedimentmanagements nach heutigen Erkenntnissen die wichtigste Anpassungsoption.

Eine solche Anpassungsoption erhält das Wattenmeer großflächig als Naturraum so naturnah wie dies unter den Bedingungen des Klimawandels bzw. des beschleunigten Meeresspiegelanstieges möglich ist und wirkt zugleich im Sinne eines flächenhaften Küstenschutzes. Feste Strukturen zur Festlegung von Tidebecken sind grundsätzlich keine Option, da sie großflächig keinen Sedimentgewinn bringen. Auch handelt es sich beim Sedimentmanagement um eine No-Regret-Option, da der erforderliche Umfang der Maßnahmen flexibel an die Anforderungen, d.h. vor allem die Anstiegsrate des Meeresspiegels, angepasst werden kann.

Die nachfolgend beschriebenen Aspekte sind für das Sediment-Management besonders wichtig:

Externe Sedimentquellen: In der Nordsee sind neue Sandentnahmegebiete zu erkunden und zu erschließen. Diese müssen außerhalb des Sedimentsystems des Wattenmeeres und damit jenseits der 15m-Tiefenlinie liegen. Damit wird gewährleistet, dass durch die Entnahme das Sedimentdefizit im Wattenmeer selbst nicht erhöht und auch kein Sediment entnommen wird, dass sonst auf natürliche Weise in das Wattenmeer getragen würde. Entnahmegebiete müssen danach ausgewählt und so genutzt werden, dass die geringstmöglichen ökologischen Schäden an den Entnahmestellen entstehen. Zugleich sollen zur Einsparung von Kosten und zur Minimierung von Emissionen die Transportwege so kurz wie möglich gehalten werden. Weitere wichtige Prüfkriterien für die Entnahme sind Korngröße und -zusammensetzung. Neben der Entnahme von Sediment aus der Nordsee sollten Möglichkeiten geprüft werden, externes Material zu nutzen, das bei Baumaßnahmen (wie zum Beispiel der Erweiterung des Nord-Ostsee-Kanals) verfügbar wird. Bedingungen sind, dass das anfallende Sediment unbelastet ist und den natürlichen Verhältnissen im Wattenmeer weitestgehend entspricht.

Großflächige Optionen: Der wahrscheinlich einfachste, günstigste und am wenigsten in die natürlichen Prozesse eingreifende Weg zur Einbringung des Sedimentes ist es, dieses konzentriert an solchen Stellen einzubringen, von denen aus die dynamischen Kräfte des Wattenmeeres selbst für eine Versorgung der Gebiete mit „Sandhunger“ sorgen. Hierfür erscheint aus heutiger Sicht besonders das Einbringen in das Ebbdelta der verschiedenen Tidebecken und/oder an die Außenküste zielführend. Nach bisherigem Kenntnisstand ist damit zu rechnen, dass dort ausgebrachtes Sediment letztlich in alle Bereiche der Tidebecken mit „Sandhunger“, also auch bis auf die Wattflächen und Salzwiesen, gelangt. Damit verursacht diese Option wahrscheinlich die geringsten ökologischen Beeinträchtigungen. Es sind hierzu jedoch noch Erkenntnisse zu gewinnen, wie sich das Sediment tatsächlich im Wattenmeer verteilt.

Lokale Optionen: An kritischen Stellen kann es erforderlich sein, ein lokales Sanddefizit bzw. eine lokale Erosions-

stelle durch Sandaufspülungen auszugleichen. Bisherige Beispiele hierfür sind die Westküste von Sylt und die Föhrer Südküste. Die vor Sylt in den vergangenen Jahrzehnten aufgespülten Sandmengen (Abb. 35) haben vermutlich bereits zur Stabilisierung des nordfriesischen Wattenmeeres beigetragen. Weiterhin kann es erforderlich sein, durch Erosion gefährdete Bauwerke auch durch Sedimentmanagement zu schützen. Alternativ zu konstruktiven Schutzmaßnahmen, wie z. B. Buhnen, kann dies also auch durch Sedimentumlagerung oder Sedimenteintrbringung erfolgen. In Abhängigkeit von den örtlichen Risiken und den ökologischen Verhältnissen können ggf. Sedimenteintrbringungen Alternativen zum Lahnungsbau zur Sicherung von Abbruchkanten oder zur Sicherung von Halligrändern mit geringer Abbruchtendenz sein. Sedimenteintrbringungen können auch für eine Vermeidung von Umströmungen von Inseln und Halligen sowie für die Anlage von Hochwasserschutzdünen geeignet sein. Auf jeden Fall ist der Einsatz von Sediment geeignet, den ökologischen Belangen des Naturraums Wattenmeer besser gerecht zu werden als starre technische Bauweisen. Deshalb sollten sie dort wo möglich stets als Option geprüft werden.

Wo bestehende Schutzbauwerke die Anpassung an den Meeresspiegelanstieg behindern und negative Wirkungen z. B. durch Lee-Erosion zeigen, kann es sinnvoll sein, die entsprechenden Anlagen zurück- oder umzubauen.

Bei lokalen Sedimentmanagementmaßnahmen ist sicherzustellen, dass die Entwässerung der Küstenniederungen nicht beeinträchtigt wird.

Auf den **Halligen** ist ein Mitwachsen der Flächen mit dem Meeresspiegel durch Maßnahmen zu fördern, die hinreichend viele Überflutungen mit hinreichender Menge an absetzbarem Sediment auf der Hallig begünstigen. Hierbei spielt die Gestaltung der Regionaldeiche und Deckwerke eine wesentliche Rolle. Weitere Anpassungsmöglichkeiten können in der Steuerung des Sielbetriebs oder in der Form der Landbewirtschaftung liegen. Bei den Halligkanten sollte geprüft werden, ob es Bereiche gibt, an denen alternativ zu weiterem Ausbau der Kanten auch Sedimentzugaben ggf. kombiniert mit Lahnungen die Schutzfunktion übernehmen können. Zusätzlich würde eine solche Maßnahme den Höhenunterschied zwischen Watt und Halligoberfläche reduzieren, was den Sedimenteintrag auf den Halligen fördern würde.

Auf **Sänden und Stränden sowie in Dünengebieten** ist der Schutz von Primärdünen und den sich daraus entwickelnden Weißdünen zu ermöglichen, da diese wie ein natürlicher Sandfang fungieren. Sie tragen somit auch

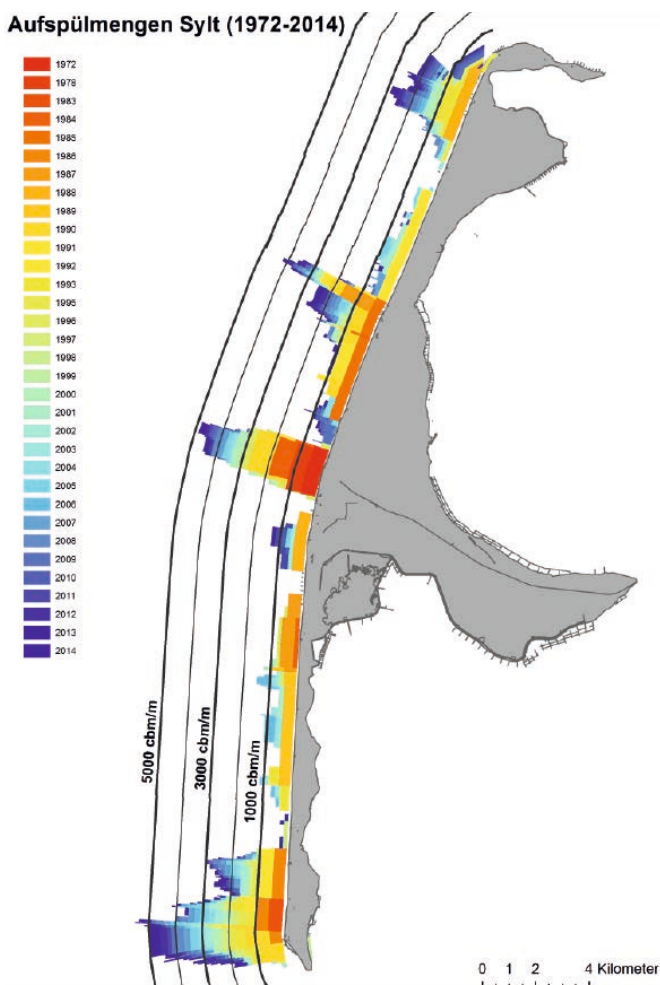


Abb. 35: Sand, der in den vergangenen Jahrzehnten vor Sylt aufgespült wurde, hat wahrscheinlich bereits einen Beitrag zur Stabilisierung des nordfriesischen Wattenmeeres geleistet.

dazu bei, dass diese Gebiete mit dem Meeresspiegelanstieg mitwachsen können. Der natürliche Sedimenttransport spielt eine wichtige Rolle bei dem Mitwachsen dieser Lebensräume. Deshalb sollten biotechnische Maßnahmen zur Festlegung von Sand nur dort erfolgen, wo Siedlungen geschützt oder die Verweildauer von Sandaufspülungen erhöht werden. An Stellen, wo dies ohne Gefährdung von Siedlungen möglich ist, sollen auch lokale „wash-over“ mit dem damit einhergehenden Sandtransport zugelassen werden.

Für die Erhaltung der **Salzwiesen** spielen eine ausreichende Sedimentzufuhr und eine natürlich ausgebildete Vegetation eine Schlüsselrolle bei der Anpassung an den steigenden Meeresspiegel. Dies sollte weiterhin überwiegend durch Maßnahmen realisiert werden, die sich in das natürliche System einfügen. Lahnungsfelder sind auch weiterhin das Mittel der Wahl, da sie Sedimentationsprozesse in den Feldern fördern. Die Ausführung und Unterhaltung sollte sich an dem natürlichen System orientieren und einen natürlichen Übergang zwischen den Lebensräumen ermöglichen und keine Barrieren, z.B. für Jungvögel, darstellen.

Wo die natürlichen Gegebenheiten eine entsprechende Entwicklung zulassen, sollten vor scharliegenden Deichen die Möglichkeiten zur Förderung der Entwicklung von Vorland bzw. Salzwiesen durch Lahnungsbau geprüft werden.

7.3.2 Anpassungsoption: Sicherer Hochwasserschutz für die Menschen

Bei steigendem Meeresspiegel und damit auch höher auflaufenden Sturmfluten werden Anpassungen bzw. Verbesserungen der Küstenhochwasserschutzanlagen, insbesondere der Deiche erforderlich. Die folgenden Aspekte sind hierfür besonders wichtig.

Deiche und konstruktive Hochwasserschutzanlagen wie z. B. Sperrwerke sind vorausschauend und flexibel hinsichtlich des steigenden Meeresspiegels anzupassen. Ein Beispiel hierfür ist das Profil eines Klimadeiches, der für Landesschutzdeiche eine Baureserve für einen stärker ansteigenden Meeresspiegel vorsieht (Abb. 36). Zur Wahrung der Integrität des Wattenmeeres sind Verstärkungsmaßnahmen an Küstenhochwasserschutzanlagen nach Möglichkeit so zu gestalten, dass kein zusätzlicher Flächenverbrauch im Wattenmeer erfolgt und die ökologischen Beeinträchtigungen minimiert werden. Ein Bei-

spiel ist die Gewährleistung einer ökologischen Durchgängigkeit von Bauwerken wie Siele und Schöpfwerken für wandernde Fische, wo dies naturräumlich möglich und sinnvoll ist.

Es kann sinnvoll sein, **die zweite Deichlinie** zu verstärken, um die im Falle eines Bruchs der ersten Deichlinie überfluteten Flächen und damit die zu erwartenden Schäden zu begrenzen. Hierbei sind die Größe und Nutzung der Köge zu berücksichtigen.

Raumordnerische sowie städte- und bauleitplanerische Regelungen sind zur weiteren Schadensminimierung im Sinne eines Risikomanagements insbesondere bei neuen Planungen zu treffen. Neben Nutzungsbeschränkungen in besonders gefährdeten Bereichen kann dies die Anlage von Warften derzeit außer auf den Halligen auch in der Hafencity Hamburg, das Vorsehen von Verschotungen und Schutzräumen in besonders hochwassergefährdeten Bereichen (Beispiel Halligen) oder auch das Höherlegen von Straßen und Bahndämmen in Kögen zur Überflutungsbegrenzung sein. Hierfür sind innovative und nachhaltige Konzepte zu entwickeln.

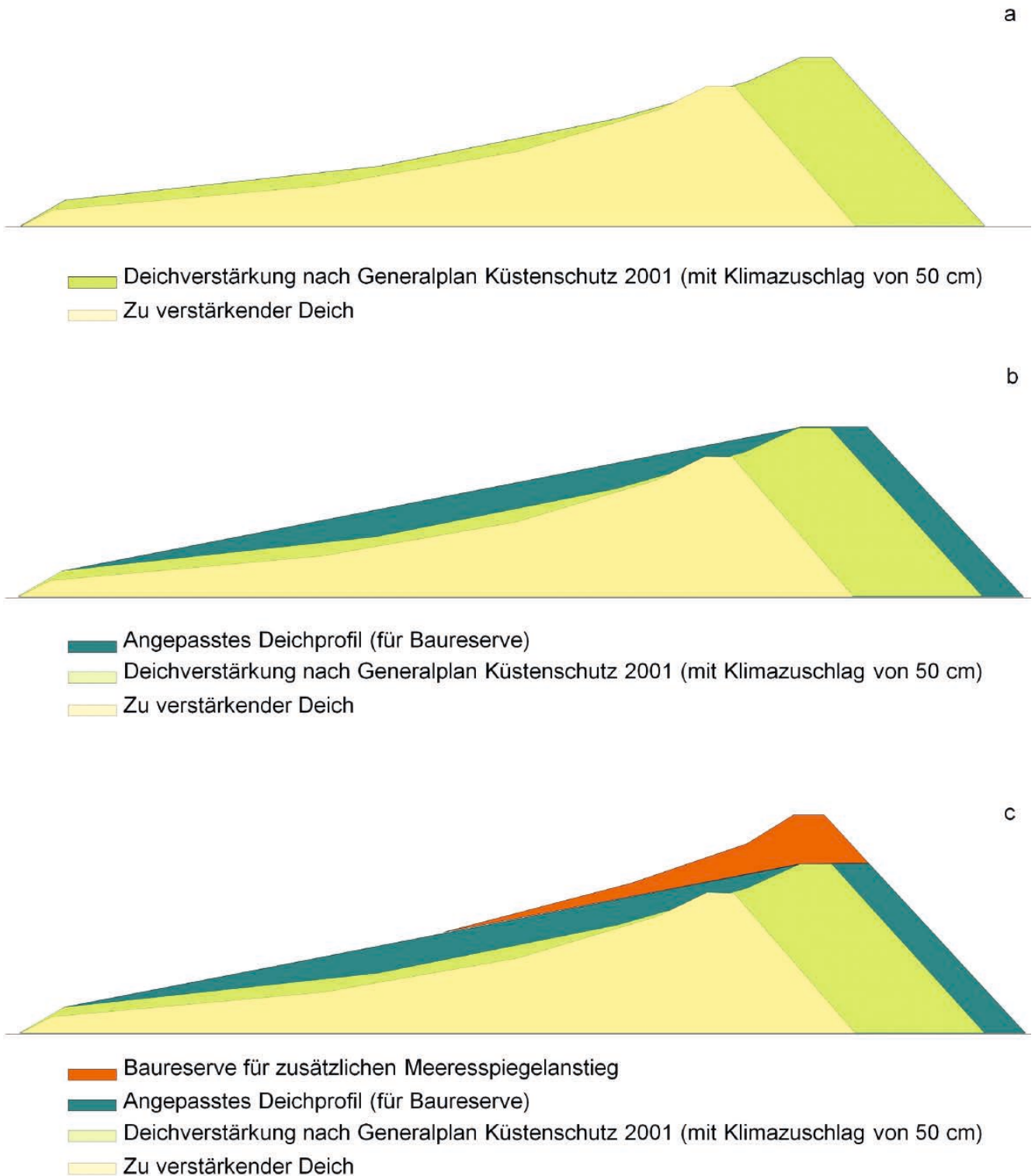


Abb. 36: Nach dem Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein sind zu verstärkende Landesschutzdeiche zusätzlich zum Klimazuschlag (a) mit einem abgeflachten Deichprofil und einer verbreiterten Deichkrone zu versehen (b), damit eine Baureserve (c) für eventuelle künftige Verstärkungen gewährleistet ist.

8. Kenntnislücken, Forschungsbedarf und Datenbereitstellung

Die Erstellung der Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100 erfolgte auf der Grundlage vorhandenen Wissens sowie daraus entwickelten möglichen Projektionen in die Zukunft. Bei der flächendeckenden und fachlich übergreifenden Betrachtung wurden jedoch Kenntnislücken erkennbar, aus denen sich Bedarf an Forschung, Entwicklung und Monitoring ergibt, der in diesem Kapitel beschrieben wird.

Es wird Wert darauf gelegt, dass Forschung und Entwicklung sowie das Monitoring auch erforderlich sind, um den Anforderungen der relevanten EU-Richtlinien wie z.B. der Meeresstrategierahmenrichtlinie, der Wasserrahmenrichtlinie, der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, der FFH-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie zu entsprechen, ebenso wie dem dänisch-deutsch-niederländischen Wattenmeerplan und der Wertsetzung entsprechend des „Außergewöhnlichen Universellen Wertes“ des Wattenmeeres, wie er durch die Anerkennung als Weltnaturerbe bestätigt wurde. Synergien werden sichergestellt durch Abgleich mit dem von Bund und Küstenländern erarbeiteten marinen Monitoringprogramm.

In der Zukunft können regelmäßig erstellte Bilanzen dabei helfen, einzuschätzen, wie zutreffend die Annahmen hinsichtlich der in Kap. 6 beschriebenen Szenarien waren und welche Entwicklung nach neuestem Kenntnisstand zu erwarten ist. Wenn es erforderlich wird, kann so rechtzeitig gegengesteuert werden und Maßnahmen können entsprechend angepasst werden.

Dafür ist es notwendig, Daten nach allgemein anerkannten Regeln der Technik normiert zu erfassen und diese ebenso wie ältere Datenbestände fachübergreifend und normengerecht (das heißt, entsprechend der einheitlichen Europäischen Geodateninfrastruktur, Infrastructure for Spatial Information in Europe, INSPIRE-Richtlinie) bereitzustellen.

8.1 Morphologische Grundlagen

Derzeit werden Veränderungen im Wattenmeer auf Basis eines Vergleichs der verfügbaren Vermessungsdaten dargestellt. Schwierigkeiten hinsichtlich der Bewertung bestehen aufgrund der Qualität der Vermessungsverfahren und einer fehlenden zeitgleichen Vermessung des gesamten Wattenmeeres, weshalb eine Darstellung im Allgemeinen nur örtlich begrenzt erfolgt. Eine Projektion auf die zukünftige morphologische Entwicklung des Wattenmeeres unter Berücksichtigung der in Kap. 6 beschrie-

benen Szenarien ist mit den im LKN-SH zur Verfügung stehenden Werkzeugen noch nicht möglich.

Das gemeinsame Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) der in der Küstenforschung tätigen Verwaltungen des Bundes und der Länder hat unter anderem im Rahmen seines Projektes „AufMod“ (Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht, 2009 - 2012) Datenbanken und Werkzeuge entwickelt (z.B. flossen die Ergebnisse in die Weiterentwicklung der Software Gismo, Geographisches Informationssystem für die Modellerstellung ein), die in der Lage sind, die vorhandenen Vermessungsdaten unterschiedlicher Herkunft flächendeckend und qualitätsgesichert aufzuarbeiten und topographische Abbildungen des Meeresbodens (Bathymetrien) aus vorhandenen Daten zu erstellen. Diese Werkzeuge können für zukünftige Analysen eingesetzt werden, wenn die entsprechende IT-Infrastruktur dafür geschaffen wird.

Damit die Daten zukünftig leichter zusammengeführt werden können, wäre ein Konzept zur Datenerfassung und -auswertung nach möglichst einheitlichen Qualitätskriterien hilfreich.

Die Analysen der mithilfe der genannten Werkzeugen erstellten Bathymetrien können Aufschluss geben über Verlagerungen, Höhen- und Tiefenänderungen, Flächen- und Volumenentwicklung der Strukturen z.B. des Watts und der Tidebecken. Damit lässt sich die bisherige morphologische Entwicklung und Dynamik ermitteln. Als Beispiel kann die Beschreibung der Folgen der Vordeichung der Nordstrander Bucht im Rahmen der Beweissicherung herangezogen werden.

So kann anhand der erstellten Bathymetrien und Informationen aus dem Küstenschutz-informationssystem (KIS) untersucht werden, ob und wie künstliche Eingriffe wie Dämme, Buhnen, Lahnungen und Deckwerke zu morphologischen Änderungen im Umfeld führen. Damit werden die Voraussetzungen für eine anschließende Bewertung nach naturschutz- und küstenschutzfachlichen Kriterien geschaffen.

Um Aussagen zur Entwicklung des Wattenmeeres auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Klimaszenarien treffen zu können, ist ein morphodynamisches Wattenmeermodell, welches auch ökologische und biologische Komponenten betrachtet, notwendig. Dieses kann, sofern die Kapazitäten und Kompetenzen im LKN-SH nicht ausreichen, durch externe Partner erarbeitet werden. Die



Abb. 37: Das Höhenwachstum einer Salzwiese lässt sich mittels des Sedimentations-Messbalkens dokumentieren. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Grundlagen dafür müssten im Rahmen eines abgestimmten Monitoringkonzeptes ermittelt werden. Wesentliche Parameter sind hier mindestens der Sedimenthaushalt (Bilanz der Zu- und Abfuhr für das gesamte schleswig-holsteinische Wattenmeer sowie für die Tidebecken) sowie die Trübung und die Strömungsgeschwindigkeiten. In diesem Zusammenhang ist eine flächendeckende Kartierung der Sedimente nach Lage und Tiefe sowohl im Wattenmeer als auch in der angrenzenden Nordsee erforderlich. Weiterhin ist der Einfluss der Korngröße auf die morphologischen Prozesse zu untersuchen.

Für den Schutz der Küsten und die Erhaltung des Wattenmeeres im Sinne eines „Mitwachsens mit dem Meeresspiegel“ werden in der Zukunft erhöhte Sedimentbedarfe erwartet. Es stellt sich daher die Frage, wo Sandentnahmen ohne negative Beeinflussung des Wattenmeeres erfolgen können und wo es ein entsprechendes Sandangebot seewärtig ca. der 15 m-Tiefenlinie in der angrenzenden Nordsee gibt. Um die seewärtige Schnittstelle

des Wattenmeeres zur Nordsee ausreichend beschreiben zu können, müssen die Sedimenttransportprozesse in der Deutschen Bucht, wie in „AufMod“ auch hinsichtlich eines steigenden Meeresspiegels simuliert, als Bilanz für das schleswig-holsteinische Wattenmeer erstellt werden.

Im Zusammenhang mit den Halligen ist von besonderem Interesse, wie diese mit dem Meeresspiegel mitwachsen können. Aufbauend auf den Ergebnissen der Projekte „ZukunftHallig“ (2010-2014) und „SAHall“ (Sediment-Akkumulation Halligen, 2007-2012) sind weitere Untersuchungen zur Sedimentation auf den Halligen nach Sturmfluten sinnvoll. Auch die Auswirkungen von bestehenden sowie möglichen künftigen Bauwerken auf die Sedimentation sollten untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk sollte auf der Frage liegen, welche Möglichkeiten es gibt, einen zusätzlichen Sedimenteintrag zu gewährleisten, so dass in der Summe der Maßnahmen die Halligen mitwachsen und damit auch hinsichtlich der Naturwerte erhalten sowie bewohnbar bleiben.

In dem laufenden Projekt SAMOWatt (**S**atellitendaten für ein **M**onitoring im **W**att) werden Verfahren für die Fernerkundung des Wattenmeeres entwickelt. Dabei werden optische Satellitendaten mit Daten von Radarsatelliten verschnitten, um ein übergreifendes Klassifikationsverfahren für die Wattenmeeroberfläche zu entwickeln. Spezielle Datenerhebungen im Wattenmeer und Informationen aus dem laufenden Monitoring dienen dazu, die entwickelten Verfahren zu kalibrieren und zu prüfen. Möglichkeiten zur Erkennung von Großalgen, Seegräsern, Muschelbänken sowie Sedimenten und Oberflächenstrukturen werden bereits untersucht. Nach Ablauf des Projektes im Sommer 2015 kann der weitere Bedarf für satellitengestütztes Monitoring anhand der Ergebnisse formuliert werden. Von besonderem Interesse ist beispielsweise die Frage, ob Sedimentakkumulationen in Watt und in welchen Tideeinzugsgebieten auftreten.

8.2 Hydrologische Grundlagen

Um die hydrologischen Daten zur Einschätzung der Entwicklung im Wattenmeer effektiv nutzen zu können, müssen diese systematisch erfasst und ausgewertet sowie mit den älteren Datensätzen in Beziehung gebracht und dargestellt werden. Ein Konzept dafür fehlt bislang. Die vorhandenen Messstellen und Parameter sollten außerdem über die Monitoring-Anforderungen hinaus auch die Verifikation eines morphodynamischen Modells ermöglichen.

Da es derzeit beispielsweise keine Beobachtung der Wassertemperatur im schleswig-holsteinischen Wattenmeer gibt, fehlen Daten zu diesem Parameter. Will man die Frage nach der Temperaturentwicklung beantworten, ist es unumgänglich, hierfür mindestens eine Messstelle einzurichten. Diese sollte in Zusammenhang mit dem Wasserstand (in Pegelnähe) die Temperatur an bis zu drei Temperaturfühlern in festgelegten Tiefen messen.

Derzeit nicht zu erklären ist, weshalb der Tidehub in den vergangenen Jahrzehnten im Verhältnis zum Meeresspiegel stark gestiegen ist, dieser Anstieg Untersuchungen zufolge zukünftig aber nur 10% des Meeresspiegelanstiegs betragen wird. Auch diese Entwicklung kann nur durch einen höheren Forschungsaufwand näher beleuchtet werden.

Im Rahmen des Projektes „ZukunftHallig“, das unter anderem die Erosions- und Sedimentationsprozesse im Bereich der Halligen zum Gegenstand hatte, sind

Messstellen (Pegel, Seegang) eingerichtet worden, die erhalten bleiben müssen, wenn sie weiterhin grundlegende Erkenntnisse liefern sollen.

8.3 Biologische Grundlagen

Die im Rahmen des trilateralen Beobachtungs-Programmes (Trilateral Monitoring and Assessment Program, TMAP, seit 1994) gemessenen Parameter sollen bereits die Auswirkungen des Klimawandels als „Issue of concern“ berücksichtigen. Die Ergebnisse werden seit Jahren in Qualitäts-Zustandsberichten dargestellt und bewertet. Dieses Programm bildet eine langjährige Datengrundlage und kann über das weitere Monitoring hinaus auch im Hinblick auf neue Fragestellungen aus der Wattenmeerstrategie 2100 erweitert werden.

Das Vorhandensein, die Qualität, die Verfügbarkeit und die Vielfalt von wattenmeer-typischen Lebensräumen, von Nahrungsgebieten sowie von Brut-, Rast- und Mauserplätzen ist die unbedingte Voraussetzung für die Erhaltung der Biodiversität im Wattenmeer. Nach den in Kap. 6 beschriebenen Szenarien sind jedoch erhebliche Auswirkungen auf diese Lebensräume und ihre Qualität zu erwarten. Als Grundlage für Beurteilungen und mögliche Maßnahmen müssen diese Veränderungen durch Monitoring begleitet werden und Forschungsprojekte müssen zu einem tieferen Verständnis der jeweils ursächlichen Prozesse beitragen. Forschungsbedarf besteht besonders zu den Fragen, zu denen in den Szenarien lediglich eine Experteneinschätzung vorgenommen werden konnte.

Das Wattenmeer weist seit Jahren eine Zunahme gebietsfremder und teils invasiver Arten auf. Bei vielen dieser Arten gibt es keine oder nur eine unzureichende Kenntnis über die Einwanderungswege (die nur teilweise durch den Klimawandel bedingt sind), ihre Verbreitung im Gebiet und die Auswirkung auf andere Arten, Artengemeinschaften und Lebensräume. Um dies zu beheben und ggf. Maßnahmen zu ermöglichen, ist eine Monitoring-Konzeption und sind Forschungsarbeiten zum Verständnis dieser Prozesse erforderlich.

Von hoher Bedeutung dürfte auch die durch den Klimawandel bedingte Erhöhung des Stoffumsatzes sein. So haben nach eigenen Beobachtungen Biofilme überwiegend aus Kieselalgen bestehend im Watt zugenommen. Mehr noch als Großalgen und Seegras tragen diese Biofilme zum Stoffumsatz im Wattenmeer bei. Da Veränderungen der Dichte und der Syntheseleistung dieser

Biofilme sich auf das ganze Ökosystem auswirken, müssen die entsprechenden Veränderungen beobachtet und durch Forschung erklärt werden.

Von Bedeutung für die Zukunft sind auch Entwicklungen in Gebieten, in denen in der Vergangenheit hinter dem Deich aus verschiedenen Gründen ein Salzwasser-Einfluss hergestellt wurde. Um die damit einhergehende Entwicklung in biologischer wie geomorphologischer Hinsicht zu verstehen und zu beurteilen empfiehlt sich z.B. eine Untersuchung sowie ein Monitoring des Salzwasserbiotopes im Beltringharder Koog.

Es ist wahrscheinlich, dass ein Teil der vorgenannten und weitere Fragen im Zusammenhang mit den kommenden Veränderungen im biologischen Bereich am besten im Rahmen einer komplexen Verbundforschung aufgegriffen werden können. Auf der Basis von Feldversuchen, Fernerkundung und Kartierung sowie in Kombination mit Modellierungen könnten durch diese die Veränderungen des Ökosystems betrachtet, modelliert und soweit möglich erklärt werden.

8.4 Begleitende Projekte

Begleitend zur Erarbeitung der Strategie Wattenmeer wurden mehrere Projekte initiiert, deren Ergebnisse in das Strategiepapier bzw. in die nachfolgend zu erarbeitenden Fachpläne einfließen sollen.

Bei der **KliGlobWatt-Studie** (Klima-Anpassung im Wattenmeer; eine internationale Übersicht) handelt es sich um eine Kooperation zwischen dem MELUR-SH und dem WWF-Deutschland. Mit dem Ziel, einen Beitrag zur langfristigen Erhaltung des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres zu leisten, wird eine weltweite Recherche nach Fallbeispielen von Klima-Anpassungsmaßnahmen an naturräumlich vergleichbaren sandigen bzw. „weichen“ Küsten durchgeführt. Nach einem definierten Schema einschließlich einer sog. Stärken-Schwächen-Analyse werden etwa 15 Steckbriefe erstellt, zum Beispiel von der Mega-Sandaufspülung „Zandmotor“ in den Niederlanden oder vom Ausdeichungsprojekt „Wallasea Island“ in England. Mit der Studie sollen Wissen, praktische Erfahrungen und mögliche Lösungen für das Wattenmeer von Schleswig-Holstein verfügbar gemacht werden.



Abb. 38: Zwischen dem 1987 eingedeichten Beltringharder Koog und dem Wattenmeer bestehen enge ökologische Wechselbeziehungen. Um die Entwicklungen in den Salz- und Süßwasserbiotopen besser zu verstehen, empfiehlt sich eine langfristige Beobachtung und Dokumentation. (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Zur verbesserten Einschätzung der langfristigen morphologischen Stabilität des Wattenmeeres im Klimawandel findet eine weitere Kooperation **SH-TREND** (Simulation der morphologischen Langzeittrends in tidalen Systemen der Westküste von Schleswig-Holstein) zwischen dem MELUR-SH und dem Institut für Ostseeforschung Warnemünde statt. Für vorgegebene Meeresspiegelanstiegs- und Windänderungsszenarien werden für zwei Tidebecken im Wattenmeer von Schleswig-Holstein Projektionen zur künftigen morphologischen Entwicklung erstellt (Abb. 39). Die morphologischen Trends werden mit Hilfe des prozessorientierten Modells GETM und des semi-empirischen Modells ASMITA berechnet. Das Projekt findet im Rahmen einer trilateralen Zusammenarbeit zwischen MELUR-SH, Rijkswaterstaat (NL) und Kystdirektoratet (DK) über mögliche morphologische Änderungen im Wattenmeer aufgrund des Klimawandels statt. Durch diese Zusammenarbeit ist die Nutzung der jeweils aktuellsten Modellversionen ebenso gewährleistet wie die Berücksichtigung von internationalen Erkenntnissen zur Hydro- und Morphodynamik des Wattenmeeres.

8.5 Übergreifende Ansätze

In den vorgenannten Abschnitten ist zwar zunächst eine sektorale Betrachtung der Erfordernisse aus morphologischer, hydrologischer und biologischer Sicht gewählt worden, doch sollte es sich bei zukünftigen Forschungsprojekten wo immer möglich und sinnvoll um fachintegrierte Forschung handeln. So sollten beispielsweise Untersuchungen mit dem Ziel der Erhaltung der Halligen und der dortigen Salzwiesen und Vogelvorkommen mit Blick auf eine bestmögliche Integration zwischen den Anliegen des Küstenschutzes, des Naturschutzes, der Interessen der Bewohnerinnen und Bewohner sowie des Tourismus angepackt werden.

Weiterhin wird an dieser Stelle ausdrücklich auf die Vorteile einer intensiven Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen und Fachverwaltung hingewiesen. Gemeinsame Datengrundlagen und Auswertemethoden bzw. Modelle ermöglichen vielfältige Synergieeffekte, insbesondere in der angewandten Forschung. Weiterhin bedingen knappe Personal- und Finanzressourcen ein eng abgestimmtes Vorgehen.

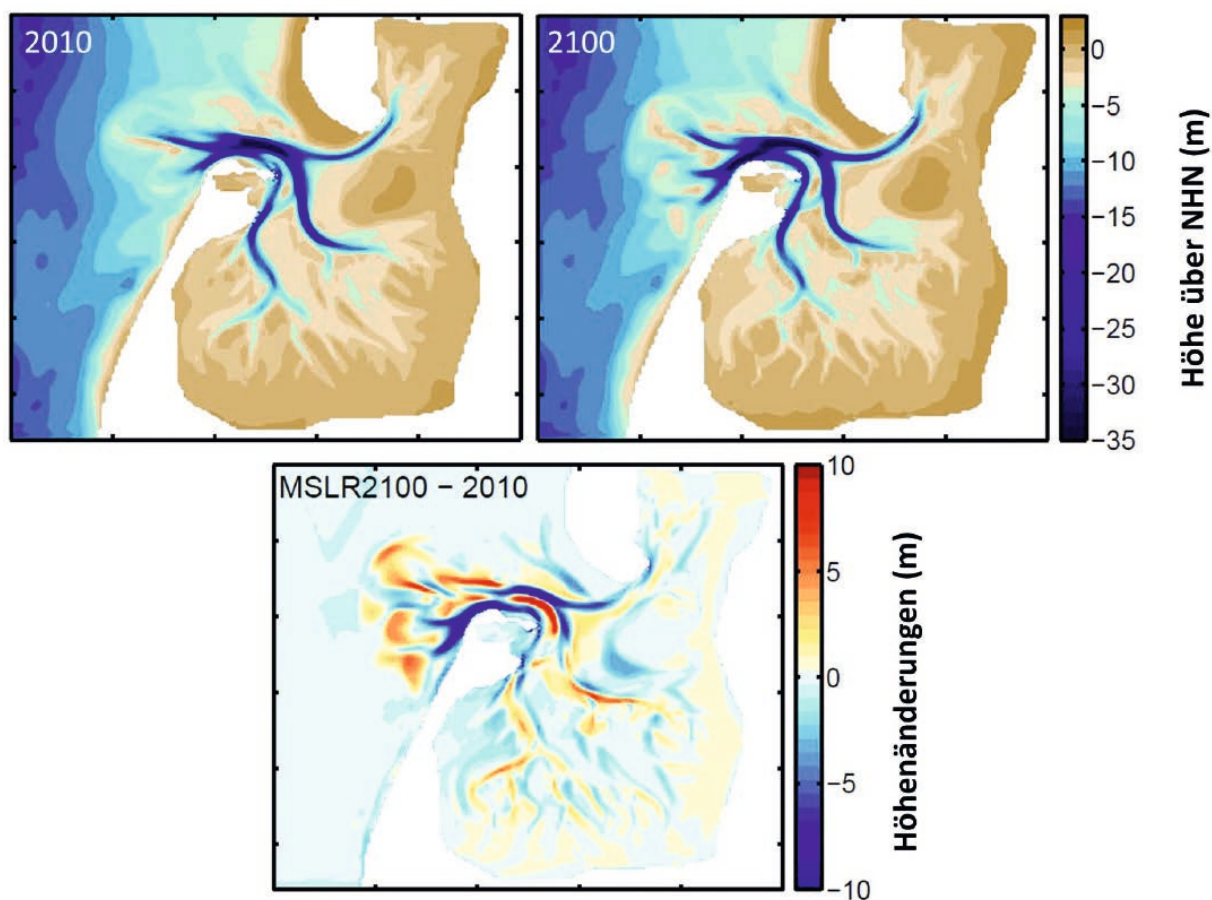


Abb. 39: Ergebnisse SH-TREND; simulierte Topographien der Jahrgänge 2010 und 2100 für das Tidebecken Lister Tief nördlich von Sylt (oben) sowie die berechneten Höhenänderungen zwischen 2010 und 2100 für ein moderates Meeresspiegelszenario (unten).

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Klimawandel wird Folgen für das Wattenmeer und den Küstenschutz haben. Um darauf vorbereitet zu sein, hat das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein im Jahr 2012 eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe aus Vertretern der staatlichen Verwaltung und von Nicht-Regierungsorganisationen ins Leben gerufen, um gemeinsam eine Klimaanpassungs-Strategie für das Wattenmeer mit Blick auf die nächsten 100 Jahre zu entwickeln.

In vertrauensvoller und konstruktiver Zusammenarbeit sind von den Beteiligten die Funktion und Bedeutung des Wattenmeeres beschrieben, Leitbild und Ziele entwickelt und der Betrachtungsraum festgelegt worden. Die abiotischen und biotischen Grundlagen wurden umfassend dargestellt sowie der Kulturraum Wattenmeer beschrieben.

Grundlage dieser Strategie bildet das verfügbare und wissenschaftlich akzeptierte Wissen. Trotzdem sind viele Fragen ohne Antwort geblieben. Daraus wurden Kenntnislücken aufgezeigt und Forschungsbedarfe formuliert. Wissenschaftlich abgesicherte Daten sind und bleiben unerlässlich für eine fundierte Beurteilung der Lage bis hin zur Vermeidung oder Umsetzung von Maßnahmen im Nationalpark und Weltnaturerbe Wattenmeer mit seinen Inseln und Halligen.

Projektionen und Szenarien zur Klimaentwicklung und deren Auswirkungen wurden gemeinsam erarbeitet und in vier plausiblen Beschreibungen möglicher Zukunftsbilder dargestellt. Die Bewertung dieser Zukunftsbilder zeigt auf, dass zur langfristigen Gewährleistung der heutigen Sicherheitsstandards der Küstenbevölkerung sowie zur Erhaltung der ökologischen Strukturen und Funktionen (Integrität) des Wattenmeeres spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts Maßnahmen zu ergreifen und schon heute vorzubereiten sind.

Als Rahmen für die Entwicklung von konkreten Maßnahmen wurden auf der Basis eines gemeinsamen Verständnisses der Prozesse im Wattenmeer und vor dem Hintergrund von Rahmenbedingungen nachfolgende Anpassungsoptionen ermittelt.

- **Sediment-Management:** Voraussetzung für die Erhaltung des Wattenmeeres in seiner Einzigartigkeit und mit seiner charakteristischen Dynamik sowie für den Schutz der Küste ist es, das durch den Meeresspiegelanstieg entstehende Sedimentdefizit im Wattenmeer auszugleichen. Das „Wachsen mit dem Meer“

spielt somit eine entscheidende Rolle für die hydro-morphodynamische Entwicklung des Wattenmeeres und damit für den Naturhaushalt und die Stabilität der Küsten. Daher ist das Einbringen von Sand aus der vorgelagerten Nordsee nach heutigen Erkenntnissen die wichtigste Anpassungsoption. Während dies die entscheidende großräumige Anpassungsoption ist, kann Sedimentmanagement auch helfen, bei lokalem Anpassungsbedarf die Maßnahmen so zu gestalten, dass sie den gemeinsamen Zielen gerecht werden.

- **Technischer Hochwasserschutz:** Darüber hinaus bleibt es erforderlich, Anpassungen und Verbesserungen im Küstenhochwasserschutz, insbesondere der Deiche, vorzunehmen. Dies können althergebrachte, aber auch angepasste und neue Maßnahmen im technischen Hochwasserschutz sein. Hierfür ist auch auf Erfahrungen und Möglichkeiten aus anderen Bereichen des Wattenmeeres und vergleichbarer Küstenabschnitte zurückzugreifen.
- Schließlich müssen **Kommunikation, Raumplanung, Denkmalschutz und Bewusstseinsbildung** die Strategie als Querschnittsaufgaben in der Umsetzung von Beginn an begleiten.

Auf überwiegender Fläche wird jedoch im Wattenmeer eine natürliche Entwicklung wesentlich für die Erhaltung des Ökosystems mit seinen Strukturen und Funktionen, auch für den Küstenschutz, sein. Die Natur im Wattenmeer wird in einem bestimmten Umfang eigene Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel entwickeln. Das Wattenmeer ist daher nicht unmittelbar in Gefahr, d.h. kurz- bis mittelfristig sind wahrscheinlich keine Anpassungsmaßnahmen erforderlich, um klimawandelbedingten Sedimentdefiziten im Wattenmeer zu begegnen. Vielmehr besteht ausreichend Zeit, sich auf fachlicher und gesellschaftlicher Ebene mit detaillierten Klimafolgeanpassungen auseinanderzusetzen, Erfahrungen zu sammeln und Erfolgsaussichten abzuschätzen. Aus der Strategie ergeben sich weitere Aktivitäten, um dem Klimawandel effektiv und nachhaltig zu begegnen:

1. **Kompodium.** Für die Umsetzung der Strategie relevantes Wissen über das schleswig-holsteinische Wattenmeer soll in einem **Kompodium** gesammelt, internetbasiert zur Verfügung gestellt und regelmäßig aktualisiert werden.
2. **Überwachungsprogramm.** Naturdaten sind von maßgeblicher Bedeutung für die Früherkennung von Entwicklungen infolge des Klimawandels im Wattenmeer.



Abb. 40: „Häuser auf Stelzen“ auf der Insel Røm (DK) als Beispiel für hochwasserangepasstes Bauen in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen (Foto: J. Hofstede / MELUR)

Darüber hinaus sind sie unentbehrlich für die Planung von nachhaltigen Anpassungsmaßnahmen. In diesem Sinne sollen die bereits bestehenden hydro-morphologischen und biologischen Messprogramme der Natur- und Küstenschutzverwaltung optimiert bzw. weiterentwickelt werden. Diesbezüglich soll auch über die Einrichtung von sog. Referenzflächen nachgedacht werden.

3. **Wattenmeer-Modell.** Für die Ermittlung der morphologischen Entwicklung im Wattenmeer, unter anderem zur Erkennung von Sedimentdefiziten, ist der Aufbau und die Pflege eines Wattenmeer-Modells erforderlich. Wesentlicher Bestandteil des Modells sind digitale Geländemodelle in ausreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung. Derzeit werden Modellzustände rückwirkend für die Jahrgänge 1982, 1992, 2002 und 2012 erstellt. Sie sollen die Grundlage für eine Analyse der bisherigen (natürlichen) Entwicklung im Wattenmeer, in den Tidebecken und in den einzelnen Strukturen bilden. Weitere hydrologische, sedimentologische und biologische Komponenten

sollen eingebaut werden, um somit auch Projektionen zur möglichen künftigen Entwicklung des Wattenmeeres erstellen zu können.

4. **Erstellung eines Sediment-Managementkonzeptes.** Bereits heute nutzt der Küstenschutz für viele Maßnahmen im Wattenmeer Sediment, zum Beispiel für Deichverstärkungen und für die Küstensicherung auf Sylt. Auf der Grundlage der Festlegung, dass Küstenschutzmaßnahmen dem Sedimentdefizit im Wattenmeer keinen Vorschub leisten dürfen, sind zukunftsweisende und nachhaltige Lösungen für diesen Sedimentbedarf zu entwickeln und in einem Managementkonzept festzuschreiben.
5. **Pilotprojekte.** Bereits im Laufe der Erstellung der Strategie Wattenmeer 2100 wurden erste Pilotprojekte durchgeführt oder begonnen. Beispiele sind die Erstellung der digitalen Geländemodelle (s. 3.) sowie die Projekte KliGlobWatt und SH-TREND (Kap. 8). Auch die Suche nach geeigneten Gebieten für Sedimentquellen außerhalb des Wattenmeeres, um dem

zu erwartenden Sedimentdefizit entgegenzutreten, erfolgt bereits. Mithilfe des Wattenmeer-Modells soll weiterhin der Frage nach natürlichem Sedimentimport und -export im Wattenmeer, d.h. der Frage nach natürlichen Sedimentquellen etwa in der Nordsee oder der Tideelbe nachgegangen werden. In den Niederlanden laufen konzeptionelle Vorüberlegungen zur Durchführung einer sehr großen Sedimentaufspülung in einem Ebb-Delta als Pilotprojekt für eine nachhaltige Anpassung an den Klimawandel. Nach derzeitiger Planung soll die Aufspülung ab etwa 2020 durchgeführt werden. Eine möglichst enge Einbindung Schleswig-Holsteins in dieses Pilotprojekt wird angestrebt. Darüber hinaus sollten im schleswig-holsteinischen Wattenmeer eigene Pilotprojekte zum Sedimentmanagement initiiert werden, um Erfahrungen für zukünftige Maßnahmen zu sammeln. Schließlich

sollten in einer Literaturrecherche bisher im Wattenmeer durchgeführte „sandige“ Küstenschutzmaßnahmen daraufhin ausgewertet werden, wie gut mit ihnen Sedimentdefiziten begegnet werden kann.

Der Prozess der Erarbeitung der Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer 2100 von den ersten Ideen bis zum Abschlussbericht zeigt, dass ein gemeinsames Verständnis von Küsten- und Naturschutz für die Entwicklung des Wattenmeeres zum Wohl der Natur und der Menschen vorhanden ist.



Abb 41: Abendstimmung im Watt (Foto: M. Stock / LKN-SH)

Anlage 1: Verwendete Quellen

Kapitel 1

Brundtland-Kommission (United Nations World Commission on Environment and Development) (1987): *Our Common Future / Brundtland Report*. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. (Hrsg.) (2014): Abschlussbericht der AG Niederungen 2050 – Grundlagen für die Ableitung von Anpassungsstrategien in Niederungsgebieten an den Klimawandel. Hemmingstedt.

MELUR-SH (Hrsg.) (2014): Bericht der AG Halligen 2050 – Möglichkeiten zur langfristigen Erhaltung der Halligen im Klimawandel. Kiel.

Kapitel 4

Bantelmann, A. (1966): *Die Landschaftsentwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste, dargestellt am Beispiel Nordfriesland*. In: Die Küste Nr. 14: S. 5-99.

Gemeinsames Wattenmeersekretariat (CWSS), World Heritage Nomination Project Group (WHNPG) (2008): *Nomination of the Dutch-German Wadden Sea as World Heritage Site. / Anmeldung des deutsch-niederländischen Wattenmeeres als Weltnaturerbe*. In: *Wadden Sea Ecosystem* Nr. 24: S. 1-200.

Hofstede, J. L. A. (1999): *Mögliche Auswirkungen eines Klimawandels im Wattenmeer*. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* Nr. 143/4: S. 305-314.

Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und Umweltbundesamt (1998): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 1: Nordfriesisches und Dithmarscher Wattenmeer*. Stuttgart.

MELUR-SH (2013): *Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2012*. Kiel.

Kapitel 5

Arbeitsgruppe Elbeästuar (2011): *Integrierter Bewirtschaftungsplan für das Elbeästuar – Teil A: Gesamtträumliche Betrachtung*. www.natura2000-unterelbe.de/links-Gesamtplan.php

Banck, C. (o. J.): *(Mehr wissen über) Die Halligen – Welten im Widerspruch: Geschichte, Spaziergänge, Chronik, Infoteil*. Wachholtz Taschenführer, Band 3. Neumünster.

Becker, P. (2012): *Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauen*. Vortrag auf dem Bauwirtschaftstag Sachsen-Thüringen, Leipzig, 13. Jan. 2012.

Biosphäre Halligen (2008): *Eine Nachhaltigkeitsstrategie für die Biosphäre Halligen*. Institut Raum & Energie. Wedel. www.halligen.de/index.php?id=403&L=0%-3Fid%3D308

Blew, J., Günther, K., Hälterlein, B., Kleefstra, R., Laursen, K., Scheiffarth, G., 2015. *Progress Report - Trends of Migratory and Wintering Waterbirds in the Wadden Sea 1987/1988 - 2011/2012*. *Wadden Sea Ecosystem* 34, 4-66.

Bundesanstalt für Gewässerkunde, KLIWAS Koordination (Hrsg.) (2014): *Die KLIWAS Nordseeklimatologie für ozeanographische und meteorologische In-Situ Daten*. KLIWAS Schriftenreihe, Heft 59. Koblenz.

Burchard, H., G. Flöser, J. V. Staneva, T. H. Badewien, R. Riethmüller (2008): *Impact of density gradients on net sediment transport into the Wadden Sea*. In: *Journal of Physical Oceanography* Nr. 38: S. 566-587.

Burchard, H., E. Deleersnijder, H. A. Dijkstra, E. Hanert (2008): *On the mathematical stability of stratified flow models with local turbulence closure schemes*. In: *Ocean Dynamics* Nr. 58 (3-4): S. 237-246.

Büttger, H., G. Nehls, S. Witte (2011): *High mortality of Pacific oysters in a cold winter in the North-Frisian Wadden Sea*. In: *Helgoland Marine Research* Nr. 65: S. 525-532.

Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL) (2001): *Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise*. *Wadden Sea Ecosystem* Nr. 13. Wilhelmshaven.

Common Wadden Sea Secretariat (CWSS), World Heritage Nomination Project Group (WHNPG) (2008): *Nomination of the Dutch-German Wadden Sea as World Heritage Site. / Anmeldung des deutsch-niederländischen Wattenmeeres als Weltnaturerbe*. *Wadden Sea Ecosystem* Nr. 24. Wilhelmshaven.

- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Working Group on Landscape and Cultural Heritage (WADCULT) (2008): *Lancewad Plan – Kulturlandschaft und Kulturerbe in der Wattenmeerregion*. Wilhelmshaven.
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (2010): *Wadden Sea Plan 2010*. Eleventh Trilateral Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea. Wilhelmshaven.
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Joint Monitoring Group of Migratory Birds in the Wadden Sea (JMMB) (2013): *Trends of Migratory and Wintering Waterbirds in the Wadden Sea 1987/1988 - 2010/2011*. Wadden Sea Ecosystem Nr. 31. Wilhelmshaven.
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (2014): *Sustainable Tourism in the Wadden Sea / World Heritage Destination. / Nachhaltiger Tourismus in der Destination Weltnaturerbe Wattenmeer*. www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/Meeting_Documents/Conference2014/wadden-sea-tourism-strategy2014-01-27.pdf
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2013): *Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland*. Klima-Presskonferenz des Deutschen Wetterdienstes am 7. Mai 2013 in Berlin.
- DGJ (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch): *Küstengebiet der Nord- und Ostsee*. Hrsg.: Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein. Kiel.
- Diederich, S., G. Nehls, J. van Beusekom, K. Reise (2004): *Introduced Pacific oysters (Crassostrea gigas) in the northern Wadden Sea: Invasion accelerated by warm summers?* In: *Helgoland Marine Research* Nr. 59: S. 97-106.
- Dolch, T., H. C. Hass (2007): *Long-term changes of intertidal and subtidal sediment compositions in a tidal basin in the northern Wadden Sea (SE North Sea)*. In: *Helgoland Marine Research* Nr. 62: S. 3-11.
- Dolch, T., K. Reise (2010): *Long-term displacement of intertidal seagrass and mussel beds by expanding large sandy bedforms in the northern Wadden Sea*. In: *Journal of Sea Research* Nr. 63: S. 93-101.
- Ehlers, J. (1988): *The morphodynamics of the Wadden Sea*. Rotterdam.
- Flemming, B. W., A. Bartholomä (1997): *Response of the Wadden Sea to a rising sea level: a predictive empirical model*. In: *Ocean Dynamics* (früher: *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*) Jg. 49, Nr. 2/3: S. 343-353.
- Göhren, H. (1968): *Triftströmungen im Wattenmeer*. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen der TU Hannover, Heft 30.
- Gönnert, G., J. Jensen, H. v. Storch, S. Thumm, T. Wahl, R. Weisse (2009): *Der Meeresspiegelanstieg – Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung*. In: *Die Küste* Nr. 76: S. 225-256.
- Haversath, J.-B. (1997): *Das Geographische Seminar. Deutschland – Der Norden*. Braunschweig.
- Hingst, H. (1990): *Häuser unter Wanderdünen – Eisenzeitliche Siedlungen im Dünengebiet der Insel Amrum*. In: *Archäologie in Deutschland* Heft 2/1990: S. 28-32.
- Hofstede, J. L. A. (2005): *Danish-German-Dutch Wadden Environments*. In: Koster, E. A. (Hrsg.): *The Physical Geography of Western Europe*. Erschienen in der Reihe *Oxford Regional Environments*, Oxford/New York, S. 185-205.
- Jensen, J. (1984): *Ungewöhnliche Änderungen der mittleren Tidewasserstände an der Nordseeküste*. Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, Heft 83.
- Jensen, J.; Müller-Navarra, S.H. (2008): *Storm surges on the German Coast*. In: *Die Küste* Nr. 74: S. 92-125.
- Knop, F. (1963): *Küsten- und Wattveränderungen Nordfrieslands – Methoden und Ergebnisse ihrer Überwachung*. In: *Die Küste* Nr. 11.
- Köster, R. (1979): *Dreidimensionale Kartierung des Seegrundes vor den Nordfriesischen Inseln*. In: *Sandbewegung im Küstenraum – Rückschau, Ergebnisse und Ausblick: Ein Abschlussbericht*. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Bonn.
- Kramer, J. (1989): *Kein Deich, kein Land, kein Leben – Geschichte des Küstenschutzes an der Nordsee*. Leer.
- Kramer, J., H. Rohde (1992): *Historischer Küstenschutz: Deichbau, Inselschutz und Binnenentwässerung an Nord- und Ostsee*. Hrsg.: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.(DVWK). Stuttgart.

- Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und Umweltbundesamt (1998): *Umweltatlas Wattenmeer – Band 1: Nordfriesisches und Dithmarscher Wattenmeer*. Stuttgart: S. 48 und 72.
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN-SH) (2012): *Fachplan Regiebetrieb des LKN-SH 2012*. Husum.
- Lang, A.C., C. Buschbaum (2010): *Facilitative effects of introduced Pacific oysters on native macroalgae are limited by a secondary invader, the seaweed *Sargassum muticum**. In: *Journal of Sea Research* Nr. 63: S. 119-128.
- Loewe, P., H. Klein, S. Weigelt-Krenz, S. (Hrsg.) (2013): *System Nordsee – 2006 & 2007: Zustand und Entwicklungen*. Berichte des BSH, Nr. 49, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. Hamburg/Rostock.
- Lorenzen, J. (1992): *Die Halligen in alten Abbildungen*. Hrsg.: Foriining for nationale Friiske. Bredstedt.
- Mai, S., A. Bartholomä (2000): *The missing mud flats of the Wadden Sea: a reconstruction of sediments and accommodation space lost in the wake of land reclamation*. In: *Proceedings in Marine Science* Jg. 2: S. 257-272.
- Markert, A., W. Esser, D. Frank, A. Wehrmann, K.-M. Exo (2013): *Habitat change by the formation of alien *Crassostrea*-reefs in the Wadden Sea and its role as feeding sites for waterbirds*. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Nr. 131: S. 41-51.
- Meier, D. (2000): *Landschaftsgeschichte, Siedlungs- und Wirtschaftsweise in der Marsch*. In: Verein für Dithmarscher Landeskunde (Hrsg.): *Geschichte Dithmarschens*. Heide. S.: 71-92.
- Meier, D. (2009): *Die Sturmflut 1825 – Wissenschaftliches Gutachten für das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein*. (unveröffentlicht)
- Meier, D., H. J. Kühn, G. J. Borger (2013): *Der Küstenatlas – Das schleswig-holsteinische Wattenmeer in der Vergangenheit und Gegenwart*. Heide.
- MELUR-SH (2013): *Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2012*. Kiel.
- MELUR-SH (Hrsg.) (2014): *Bericht der Arbeitsgruppe HALLIGEN 2050: Möglichkeiten zur langfristigen Erhaltung der Halligen im Klimawandel*. Kiel.
- Milbradt, P., T. Schonert (2004): *Hydro- und Morphodynamische Simulation unter Berücksichtigung ökologischer Modellkomponenten*. In: Gönnert, G., H. Graßl, D. Kelletat, H. Kunz, B. Probst, H. von Storch, J. Sündermann: *Klimaänderung und Küstenschutz*. Dokumentation des Fachaustauschs „KliKu“ vom 29./30. Nov. 2004: S. 83-93.
- MLUR-SH (Hrsg.) (2007): *Vorlandmanagementkonzept in Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2007*. Kiel.
- Müller, F., O. Fischer (1957): *Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil III: Das Festland. Band 5: Dithmarschen*. Berlin.
- Müller, F., O. Fischer (1957): *Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil II: Die Inseln. Band 5: Amrum*. Berlin.
- Müller, F., O. Fischer (1938): *Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil II: Die Inseln. Band 6: Föhr*. Berlin.
- Müller, F., Fischer, O. (1938): *Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil II: Die Inseln. Band 7: Sylt*. Berlin.
- Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer: *Nationalpark/Nutzungen* <http://www.nationalpark-wattenmeer.de/sh/nationalpark/nutzungen>
- Nehls, G., S. Diederich, D. W. Thieltges, M. Strasser (2006): *Wadden Sea mussel beds invaded by oysters and slipper limpets: competition or climate control?* In: *Helgoland Marine Research* Nr. 60: S. 135-143.
- Probst, B. (1996): *Deichvorlandbewirtschaftung im Wandel der Zeit*. In: *Die Küste* Nr. 58: S. 47-60.
- Quality Status Report 2009 (2009). *Wadden Sea Ecosystem 25*. Trilateral Monitoring and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Reijnders, P. J. H., S. M. J. M. Brasseur, E. H. W. G. Meesters (2010): *Earlier pupping in harbour seals, *Phoca vitulina**. In: *Biology Letters* Nr. 6: S. 854-857.

- Reise, K., A. Schubert (1987): *Macrobenthic turnover in the subtidal Wadden Sea: the Norderaue revisited after 60 years*. In: *Helgoländer Meeresuntersuchungen* (heute: *Helgoland Marine Research*) Nr. 41: S. 69-82.
- Reise, K., J. Kohlus (2008): *Seagrass recovery in the Northern Wadden Sea?* In: *Helgoland Marine Research* Nr. 62: S. 77-84.
- Riesen, W., K. Reise (1982): *Macrobenthos of the subtidal Wadden Sea: revisited after 55 years*. In: *Helgoländer Meeresuntersuchungen* (heute: *Helgoland Marine Research*) Nr. 35: S. 409-423.
- Schmidtke, K.-D. (1992): *Die Entstehung Schleswig-Holsteins*. Neumünster.
- Schuerch, M., T. Dolch, K. Reise, A. T. Vafeidis (2014): *Unravelling interactions between salt marsh evolution and sedimentary processes in the Wadden Sea (southeastern North Sea)*. In: *Progress in Physical Geography*. Nr. 38: S. 691-715.
- Schumacher, J., T. Dolch, K. Reise (2014): *Transitions in sandflat biota since the 1930s: effects of sea-level rise, eutrophication and biological globalization in the tidal bay Königshafen, northern Wadden Sea*. In: *Helgoland Marine Research* Nr. 68: S. 289-298.
- Siefert, W., H. Fahse, F. Miessner, H.-H. Richter, A. Taubert, P. Wieland (1980): *Die Strömungsverhältnisse vor der Westküste Schleswig-Holsteins – Ergebnisse eines KFKI-Messprogramms*. In: *Die Küste* Nr. 35: S. 147-186.
- Stadelmann, R. (2008): *Den Fluten Grenzen setzen – Schleswig-Holstein: Küstenschutz Westküste und Elbe*. Band 1: Nordfriesland. Husum.
- Stadelmann, R. (2010): *Den Fluten Grenzen setzen – Schleswig-Holsteins Küstenschutz / Westküste und Elbe*. Band 2: Dithmarschen und Elbe/Elbmarschen, Inseln Trischen und Helgoland. Husum.
- Stock, M., E. Schrey, A. Kellermann, C. Gätje, K. Eskildsen, M. Feige, G. Fischer, F. Hartmann, V. Knoke, A. Möller, M. Ruth, A. Thiessen, G. Vorberg (1996): *Ökosystemforschung Wattenmeer – Synthesebericht: Grundlagen für einen Nationalparkplan*. Schriftenreihe des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Heft 8. Heide.
- Streif, H. (1989): *Barrier islands, tidal flats and coastal marshes resulting from a relative rise of sea level in East Frisia on the German North Sea coast*. In: van der Linden, W.J.M. et al. (eds.) *Coastal lowlands: Geology and geotechnology*. Kluwer, Dordrecht. pp. 213 – 223.
- Suchrow, S., N. Pohlmann, M. Stock, K. Jensen (2012): *Long-term surface elevation changes in German North Sea salt marshes*. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Nr. 98: S. 71-83.
- Van Beusekom, J. E. E., C. Buschbaum, M. Loebl, P. Martens, K. Reise (2010): *Long-Term Ecological Change in the Northern Wadden Sea*. In: F. Müller, C. Baessler, H. Schubert, S. Klotz (Hrsg.): *Long-Term Ecological Research*. Dordrecht u.a.: S. 145-153.
- Van Roomen, M., K. Laursen, C. van Turnhout, E. van Winden, J. Blew, K. Eskildsen, K. Günther, B. Hälterlein, R. Kleefstra, P. Potel, S. Schrader, G. Luerssen, B. J. Ens (2012): *Signals from the Wadden sea: Population declines dominate among waterbirds depending on intertidal mudflats*. In: *Ocean & Coastal Management* Nr. 68: S. 79-88.

Kapitel 6:

- Beukema, J. J., R. Dekker (2011): *Increasing species richness of the macrozoobenthic fauna on tidal flats of the Wadden Sea by local range expansion and invasion of exotic species*. In: *Helgoland Marine Research* Nr. 65: S. 155-164.
- Bruun, P. (1962): *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. In: *Journal of the Waterways and Harbors Division*. Nr. 88: S. 117-130.
- Buschbaum, C., K. Reise (2010): *Neues Leben im Weltnaturerbe Wattenmeer. Globalisierung unter Wasser*. In: *Biologie in unserer Zeit* Jg. 40, Nr. 3: S. 202-210.
- Colijn, F., H.-U. Fanger (2011): *Klimabedingte Änderungen in aquatischen Ökosystemen: Elbe, Wattenmeer und Nordsee*. In: Storch, H. von, M. Claussen (Hrsg.): *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Heidelberg u.a.: S. 177-194.

- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (1991): *Ministerial Declaration of the 6th Trilateral Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea*. Esbjerg, 13. Nov. 1991.
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL) (2001): *Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise*. Wadden Sea Ecosystem Nr. 13. Wilhelmshaven.
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL) (2005): *Coastal Protection and Sea Level Rise - Solutions for Sustainable Coastal Protection in the Wadden Sea Region*. Wadden Sea Ecosystem Nr. 21. Wilhelmshaven.
www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/cpsl-ii-2005.pdf
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (Hrsg.), Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL) (2010): *Third Report. The role of spatial planning and sediment in coastal risk management*. Wadden Sea Ecosystem Nr. 28. Wilhelmshaven.
www.waddensea-secretariat.org/management/cpsl/cpsl.html
- Common Wadden Sea Secretariat (CWSS) (2014): *Ministerial Council Declaration. 12th Trilateral Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea*. Trilateral Wadden Sea Governmental Council Meeting, Tønder, 5. Feb. 2014.
www.waddensea-secretariat.org/trilateral-governmental-conference-2014
- Dahl, M. (2000): *Mögliche Effekte eines Klimawandels auf die Stickstoffnettomineralisation in Vorlandsalzwiesen*. Kiel, Univ., Diss.
- Dissanayake, D.M.P.K., R. Ranasinghe, J. A. Roelvink (2012): *The morphological response of large tidal inlet/basin systems to relative sea level rise*. In: *Climatic Change* Nr. 113: S. 253-276.
- Drent, J. (2001): *Effects of climatic change on benthic fauna in the Wadden Sea*. In: Dutch national research programme on global air pollution and climate change (2001): *Modelling the impact of climate change on the Wadden Sea*:83-97
- Eichhorn, G., et al. (2009): *Skipping the Baltic: the emergence of a dichotomy of alternative spring migration strategies in Russian barnacle geese*. In: *Journal of Animal Ecology* 78(1): S. 63-72.
- Fujii, T. (2012): *Climate Change, Sea-Level Rise and Implications for Coastal and Estuarine Shoreline Management with Particular Reference to the Ecology of Intertidal Benthic Macrofauna in NW Europe*. In: *Biology* 2012, 1 (3): S. 597-616.
<http://www.mdpi.com/2079-7737/1/3/597>
- Gaslikova L., I. Grabemann, N. Groll (2013): *Changes in North Sea Storm Surge Conditions for Four Transient Future Climate Realizations*. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS)*, Nr. 66 (3): S. 1501-1518.
- Grabemann I., R. Weisse (2008): *Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: an ensemble study*. In: *Ocean Dynamics* Nr. 58: S. 199-212.
- Grinsted, A., J. C. Moore, S. Jevrejeva (2008): *Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD*. In: *Climate Dynamics* Nr. 34 (4): S. 461-472.
- Hofstede, J. L. A. (1999): *Mögliche Auswirkungen eines Klimawandels im Wattenmeer*. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* Nr. 143: S. 305-314.
- Hofstede, J. L. A. (2002): *Morphological responses of Wadden Sea tidal basins to a rise in tidal water levels and tidal range*. In: *Zeitschrift für Geomorphologie* Nr. 46 (1): S. 93 - 108.
- Horton, R., C. Herweijer, C. Rosenzweig, J. Liu, V. Gornitz, A. C. Ruane (2008): *Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method*. In: *Geophysical Research Letters* Nr. 35 (2).
- Hoyme, H., W. Zielke (2001): *Impact of Climate Changes on Wind Behaviour and Water Levels at the German North Sea Coast*. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* Nr. 53 (4): S. 451-458.
- Huntley, B., R. E. Green, Y. C. Collingham, S. G. Willis (2007): *A climatic atlas of European Breeding Birds*. Barcelona.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2013): *Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. Genf. <https://www.ipcc.ch/>
- Jensen, K., W. Härdtle, M. Meyer-Grünefeldt, E. M. Pfeifer, C. Reisdorff, K. Schmidt, S. Schmidt, J. Schrautzer, G. von Oheimb (2011): *Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semi-terrestrischen Ökosystemen*. In: Storch, H. von, M. Claussen (Hrsg.): *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Heidelberg. S. 143-176.
- KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014). *Kursbuch Klimaanpassung - Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg*. Hamburg.
- Lackschewitz, D., I. Menn, K. Reise (2002): *Das marine Ökosystem um Sylt unter veränderten Klimabedingungen*. In: Daschkeit, A., P. Schottes (Hrsg.): *Klimafolgen für Mensch und Küste am Beispiel der Nordseeinsel Sylt*. Berlin u.a.
- Maclean, I. M. D., G. E. Austin, M. M. Rehfish, J. Blew, O. Crowe, S. Delany, K. Devos, B. Deceuninck, K. Günther, K. Laursen, M. Van Roomen, J. Wahl (2008): *Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter*. In: *Global Change Biology* Nr. 14: S. 2489-2500.
- Metzing, D. (2005): *Küstenflora und Klimawandel - Der Einfluss der globalen Erwärmung auf die Gefäßpflanzenflora des deutschen Küstengebietes von Nord- und Ostsee*. Oldenburg, Univ., Diss.
- Metzing, D. (2006): *Natur im Einfluss des Klimawandels - wie verändern sich Flora und Fauna?* In: *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* Nr. 8: S. 30-49.
- Metzing, D. (2010): *Global warming changes the terrestrial flora of the Wadden Sea*. In: Marencic, H., K. Eskildsen, H. Farke, S. Hedtkamp (Hrsg.) (2010): *Science for Nature Conservation and Management: The Wadden Sea Ecosystem and EU Directives*. Proceedings of the 12th International Scientific Wadden Sea Symposium in Wilhelmshaven, Germany, 30 March - 3 April 2009. Wadden Sea Ecosystem Nr. 26, CWSS, Wilhelmshaven: S. 211-215. www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/wse-no-26-proceedings-2009.pdf
- Reise, K. (2005): *Coast of Change: habitat loss and transformations in the Wadden Sea*. In: *Helgoland Marine Research* Nr. 59: S. 9-21.
- Reise, K. (2008): *Nordseeküste: Klimawandel und Welthandel komponieren Lebensgemeinschaften neu*. In: Lozán, J. L., H. Graßl, G. Jendritzky u.a. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken - Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg: S. 63-70.
- Reise, K. (1996): *Wattökologische Folgen bei Änderung von Klima und Küste*. Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste Nr 1: S. 31-45.
- Rösner, H.-U. (2010): *The Guiding Principle for the Wadden Sea: Advantages of a dynamic approach in a changing world*. In: Marencic, H., K. Eskildsen, H. Farke, S. Hedtkamp (Hrsg.) (2010): *Science for Nature Conservation and Management: The Wadden Sea Ecosystem and EU Directives*. Proceedings of the 12th International Scientific Wadden Sea Symposium in Wilhelmshaven, Germany, 30 March - 3 April 2009. Wadden Sea Ecosystem Nr. 26, CWSS, Wilhelmshaven: S. 23-28. www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/wse-no-26-proceedings-2009.pdf
- Ross, P., P. Adam (2013): *Climate Change and Intertidal Wetlands*. *Biology* 2013 2 (1): S. 445-480.
- Stock, M. (2013): *Seltener Pflanzenfund auf dem Nordeeroogsand*. In: *Seevögel* Nr. 34 (4): S. 169.
- Stock, M. (2011): *Patterns in surface elevation change across a temperate salt marsh platform in relation to sea-level rise*. In: *Coastline Report* Nr. 17: S. 33-48.
- Suchrow, S., N. Pohlmann, M. Stock, K. Jensen (2012): *Long-term surface elevation changes in German North Sea salt marshes*. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Nr. 98: S. 71-83.
- Van Beusekom, J. E. E., C. Buschbaum, M. Loebl, P. Martens, K. Reise (2010): *Long-Term Ecological Change in the Northern Wadden Sea*. In: F. Müller, C. Baessler, H. Schubert, S. Klotz (Hrsg.): *Long-Term Ecological Research*. Dordrecht u.a.: S. 145-153.
- Van Beusekom, J. E. E., C. Buschbaum, K. Reise (2012): *Wadden Sea tidal basins and the mediating role of the North Sea in ecological processes: scaling up of management?* In: *Ocean & Coastal Management* Nr. 68: S. 69-78.

Van De Pol, M., B. J. Ens, D. Heg, L. Brouwer u.a. (2010): *Do changes in the frequency, magnitude and timing of extreme climatic events threaten the population viability of coastal birds?* In: *Journal of Applied Ecology* Nr. 47 (4): S. 720-730.

Vermeer, M., S. Rahmstorf (2009): *Global sea level linked to global temperature.* In: *PNAS Early Edition* Jg. 106, Nr. 51: S. 21527-21532.

Woth, K., R. Weisse, H. von Storch (2006): *Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models.* In: *Ocean Dynamics* Nr. 56: S. 3-15.

Kapitel 7

Hofstede, J. L. A. (1990): *Hydro- und Morphodynamik im Tidebereich der Deutschen Bucht.* In: *Berliner Geographische Studien* Nr. 31.

Kapitel 8

Deicke, M., V. Karius, H. von Eynatten (2009): *Bestimmung der Sedimentaufwachsrate auf den Halligen Hooge, Langeness, Nordstrandischmoor und Süde-roog.* Endbericht Sedimentakkumulation Halligen (SAHALL), Univ. Göttingen (unv.).

Heyer, H., K. Schrottke (2013): *AufMod (Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht) - Gemeinsamer Abschlussbericht für das Gesamtprojekt mit Beiträgen aus allen 7 Teilprojekten.*

Jensen, J. (2014): *Entwicklung von nachhaltigen Küstenschutz- und Bewirtschaftungsstrategien für die Halligen unter Berücksichtigung des Klimawandels.* Abschlussbericht zum KFKI-Projekt ZukunftHallig..

Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz des Landes Schleswig-Holstein (LKN-SH) (2011): *Untersuchungen zu den morphologischen Veränderungen im südlichen nordfriesischen Wattenmeer im Zeitraum 1935-2007.*

Anlage 2: Projektstruktur und Projektbeteiligte

Das Projekt wurde mittels einer Projektorganisation, bestehend aus Lenkungsgruppe, Projektgruppe und Projektbeirat, durchgeführt (Abb. 42).

Lenkungsgruppe:

Leiter:	Dietmar Wienholdt	MELUR-SH
Vertreter:	Dr. Bernd Scherer Dr. Johannes Oelerich	MELUR-SH (bis Mai 2014) LKN-SH (ab Juni 2014)
Mitglieder:	Volker Petersen Vera Knoke Dr. Detlef Hansen Dr. Jacobus Hofstede	MELUR-SH MELUR-SH (ab Juni 2014) LKN-SH MELUR-SH (ab August 2014)

Projektbeirat:

Leiter:	Dietmar Wienholdt	MELUR-SH
Vertreter:	Dr. Bernd Scherer Dr. Johannes Oelerich	MELUR-SH (bis Mai 2014) LKN-SH (ab Juni 2014)
Mitglieder:	Prof. Dr. Hans von Storch Prof. Dr. Karen Wiltshire Dr. Jörn Klimant Dieter Harrsen Dr. Hans-Ulrich Rösner Hermann Schultz Annemarie Lübcke Dr. Eckart Schrey Harald Förster Paul Raffelhüschen Natalie Eckelt Manfred Uekermann Dr. Hark Ketelsen Matthias Reimers Jens Enemark Dr. Folkert De Jong Constanze Höfinghoff Frank Ketter Reinhard Schmidt-Moser Volker Petersen Vera Knoke Dr. Johannes Oelerich Dr. Detlef Hansen	Helmholtz-Zentrum Geesthacht Alfred-Wegener-Institut Helgoland Kreis Dithmarschen Kreis Nordfriesland WWF Deutschland NABU Schleswig-Holstein BUND Schleswig-Holstein Verein Jordsand Schutzstation Wattenmeer Insel- und Halligkonferenz Insel- und Halligkonferenz Landschaftszweckverband Sylt Marschenverband Marschenverband Gem. Wattenmeersekretariat (bis Aug. 2014) Gem. Wattenmeersekretariat (ab Sept. 2014) Nordsee Tourismus GmbH (bis Aug. 2014) Nordsee Tourismus GmbH (ab Sept. 2014) MELUR-SH MELUR-SH MELUR-SH LKN-SH (bis Mai 2014) LKN-SH

Projektgruppe:

Leiter:	Dr. Johannes Oelerich	LKN-SH
Vertreter:	Dr. Detlef Hansen	LKN-SH
Mitglieder:	Vera Knoke Maren Bauer Dr. Jacobus Hofstede Dirk van Riesen Frank Barten Birgit Matelski Kirsten Boley-Fleet Dr. Martin Stock Stefan Möller Hans-Dieter Schultz Silvia Gaus Dr. Hans-Ulrich Rösner Natalie Eckelt	MELUR-SH (bis Mai 2014) MELUR-SH (ab Juni 2014) MELUR-SH LKN-SH (bis Oktober 2013) LKN-SH (ab November 2013) LKN-SH LKN-SH LKN-SH LKN-SH LKN-SH Schutzstation Wattenmeer WWF Deutschland Insel- und Halligkonferenz

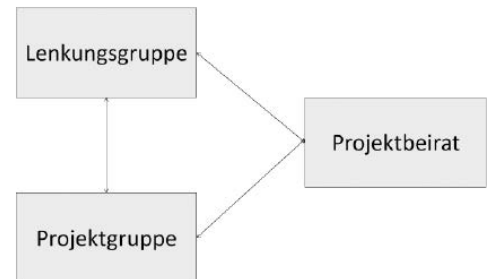


Abb. 42: Projektstruktur zur Erstellung der Strategie für das Wattenmeer 2100



Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein,
Mercatorstraße 3, 24106 Kiel

Bildnachweise:

Titel: Dr. Martin Stock

Innentitel: Dr. Jacobus Hofstede (Abb. 1 bis 5 und 40 sowie S. 4 und S. 86),
Adam Schnabler (Abb. 28), alle anderen Dr. Martin Stock

Gestaltung und Druck:

Schmidt & Klaunig, Kiel
September 2015, Auflage 500

Die Landesregierung im Internet:

<http://www.landesregierung.schleswig-holstein.de>

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Schleswig-Holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zu Gunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung Ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.