

Das **Institut für Küstenforschung** am Helmholtz-Zentrum Geesthacht ist Projektpartner im KLIMZUG-Projekt RAdOst (Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste). In diesem Rahmen wurde zusammen mit dem Ecologic Institut eine Umfrage bei Entscheidungsträgern an der deutschen Ostseeküste durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass mehr Informationen zum Klimawandel in der Region benötigt werden.

In diesem Handbuch fassen wir den aktuellen Forschungsstand zum bisherigen und künftig möglichen Klimawandel und dessen Folgen für die Ökosysteme zusammen. Grundlage bilden sowohl Erkenntnisse aus dem Norddeutschen Klimabüro als auch der Klimabericht für die Ostseeregion (BACC-Report).

Wenn Sie weiterführende Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Dr. Insa Meinke
Leiterin des Norddeutschen Klimabüros
insa.meinke@hzg.de
Telefon: 04152 87-1868
für „Klimawandel im Ostseeraum“

und an

Dr. Marcus Reckermann
Leiter des Internationalen BALTEX-Sekretariats
marcus.reckermann@hzg.de
Telefon: 04152 87-1693
für „Ökosysteme der Ostsee im Wandel“

Ostseeküste im Klimawandel

Ein Handbuch zum Forschungsstand



GEFÖRDERT DURCH:





Ostseeküste im Klimawandel

Ein Handbuch zum Forschungsstand

Inhalt

	SEITE		
Hintergrund	8	ÖKOSYSTEME DER OSTSEEKÜSTE IM WANDEL	45
Das Norddeutsche Klimabüro		Landökosysteme	46
und der Norddeutsche Klimaatlas	9	Wachstumsperioden und Ausbreitungsgrenzen	46
Das Internationale BALTEX-Sekretariat		Änderungen der Wachstumsbedingungen	48
und der Klimabericht für den Ostseeraum	12	Seen und Flüsse	50
Globaler Klimawandel – vom Menschen verursacht	15	Marine Ökosysteme	52
		Marine Säugetiere	54
KLIMAWANDEL AN DER OSTSEEKÜSTE	19	Fische	56
Bisherige Klimaänderungen	21	Änderungen der Lebensbedingungen	58
Bisherige Klimaänderungen im Jahresmittel	21	Wasserqualität im Klimawandel	60
Bisherige Klimaänderungen in den Jahreszeiten	24		
Meeresspiegel, Sturmfluten und Erosion	26		
Mögliche Klimaänderungen bis 2100	31		
Mögliche zukünftige Änderungen im Jahresmittel	35		
Mögliche zukünftige Änderungen in den Jahreszeiten	35		
Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten	40		



Hintergrund

Die wissenschaftlichen Grundlagen des vorliegenden Handbuchs basieren auf verschiedenen Informationsprodukten des Norddeutschen Klimabüros sowie dem Klimabericht für den Ostseeraum (BACC-Report), koordiniert durch das Internationale BALTEX-Sekretariat.

Die Informationsprodukte repräsentieren den aktuellen Forschungsstand zum Klimawandel im Ostseeraum. Sie leiten Informationen, die in öffentlich nutzbaren Klimarechnungen vorliegen, für die deutsche Ostseeküste ab und bündeln Wissen, das begutachtet und in Fachzeitschriften veröffentlicht wurde. Nachfolgend werden diese Informationsangebote zusammen mit den jeweiligen Einrichtungen kurz vorgestellt.

Das Norddeutsche Klimabüro und der Norddeutsche Klimaatlas

→ Das **Norddeutsche Klimabüro** ist Partner für Klimafragen in Norddeutschland und wurde 2006 am Institut für Küstenforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht gegründet und später durch den KlimaCampus Hamburg erweitert. Küstenschutz, Landwirtschaft und Tourismus sind Beispiele für Bereiche, die vom Wetter beeinflusst werden und sich an den Klimawandel anpassen müssen. Das Norddeutsche Klimabüro bündelt Forschungsergebnisse zum Klimawandel in Norddeutschland und bereitet sie für Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung auf.

Ein Informationsangebot des Norddeutschen Klimabüros ist der **Norddeutsche Klimaatlas**. Dieser Internetatlas informiert über den aktuellen Forschungsstand zum möglichen künftigen Klimawandel in Norddeutschland. Grundlage des Norddeutschen Klimaatlas sind für Norddeutschland verfügbare Klimarechnungen, die mit dynamischen regionalen Klimarechenmodellen von verschiedenen Forschungseinrichtungen durchgeführt wurden. In die regionalen Klimarechenmodelle sind jeweils unterschiedliche Szenarien zukünftiger Treibhausgaskonzentrationen eingegangen, die vom UN-Weltklimarat IPCC erstellt wurden. Bisher sind insgesamt 12 regionale Klimaszenarien in den Klimaatlas eingegangen. Diese wurden für Norddeutschland ausgewertet und in Form von Karten und kurzen Beschreibungen aufbereitet. Der Klimaatlas ist interaktiv konzipiert: Nutzer können sich anzeigen lassen, wie sich beispielsweise die Temperatur, der Niederschlag oder der Wind in bestimmten Regionen, wie z. B. an der deutschen Ostseeküste, zu bestimmten Jahreszeiten künftig ändern kann. Die in diesem Handbuch vorgestellten Ergebnisse zu möglichen zukünftigen Klimaänderungen bis 2100 stammen aus dem Norddeutschen Klimaatlas. Ergebnisse zu bisherigen Klimaänderungen

stammen größtenteils aus dem Klimabericht für den Ostseeraum (siehe nächstes Kapitel) sowie teilweise aus dem Klimabericht für die Metropolregion Hamburg, den das Norddeutsche Klimabüro koordiniert hat. Informationen zu Ostseewasserständen und Erosion stammen zusätzlich aus dem KFKI-Sonderheft „Die Wasserstände an der Ostseeküste“.¹

Weitere Informationen:

www.norddeutsches-klimabuero.de

www.norddeutscher-klimaatlas.de

Dr. Insa Meinke

Leiterin des Norddeutschen Klimabüros

Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH

Max-Planck-Straße 1 · 21502 Geesthacht

Telefon: 04152 87-1868 · Telefax: 04152 87-41868

insa.meinke@hzg.de



www.norddeutscher-klimaatlas.de

¹Von Storch, H., und M. Claussen (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg, Springer Verlag, 2011, 321 S.

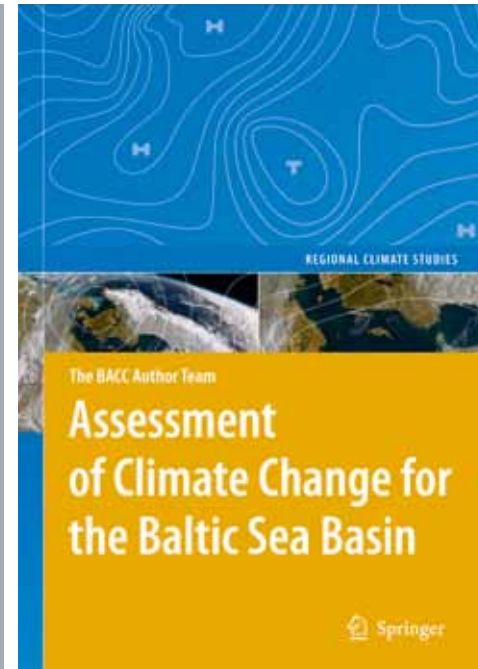
KFKI (Hrsg.): Die Wasserstände an der Ostseeküste, Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel, Die Küste, Heft 66, 2003, 331 S.

Das Internationale BALTEX-Sekretariat und der Klimabericht für den Ostseeraum

→ **BALTEX** (The Baltic Sea Experiment) ist ein internationales Forschungsnetzwerk für den Ostseeraum. Die Analyse und Modellierung der physikalischen, chemischen und biologischen Umwelt unter den Bedingungen des Klimawandels steht im Mittelpunkt des Programms, an dem sich Wissenschaftler aus dem gesamten Einzugsgebiet der Ostsee beteiligen. Hierbei stehen Fragen im Vordergrund wie: Wie ändern sich Niederschläge und Abflussmengen der Flüsse in der Zukunft? Was sind die Auswirkungen auf Ökosysteme und Infrastruktur? Welche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten des Systems gibt es?

Das BALTEX-Sekretariat mit Sitz am Helmholtz-Zentrum Geesthacht hat die Erstellung eines englischsprachigen Klimaberichts für den Ostseeraum koordiniert, zu dem über 80 Wissenschaftler aus 13 Ländern beigetragen haben. Dieser Klimabericht (der BACC-Report) ist 2008 unter dem Titel „Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin“ im Springer Verlag erschienen und fasst den aktuellen Wissensstand zum Klimawandel im Ostseeraum zusammen. Die in diesem Handbuch vorgestellten Erkenntnisse zum bereits beobachteten Klimawandel sowie zu den Veränderungen in den Ökosystemen an Land und in der Ostsee stammen aus diesem Bericht.

Dr. Marcus Reckermann
Leiter des Internationalen BALTEX-Sekretariats
Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
Max-Planck-Straße 1 · 21502 Geesthacht
Telefon: 04152 87-1693 · Telefax: 04152 87-1730
www.baltex-research.eu





Globaler Klimawandel – vom Menschen verursacht

Das weltweite Klima ändert sich: Nach dem letzten Sachstandsbericht des UN-Weltklimarates IPCC (2007) hat sich die globale mittlere Temperatur im letzten Jahrhundert um ca. 0,8 °C erhöht und die Schneedecke hat sich allein auf der Nordhalbkugel um etwa 2 Mio. km² reduziert. Der globale mittlere Meeresspiegel ist im selben Zeitraum um ca. 20 cm angestiegen. Je nach Region kann sich der Klimawandel jedoch sehr unterschiedlich ausprägen. Unter Klima verstehen wir dabei die langfristige Wetterstatistik einer Region. Damit ein möglichst vollständiges Bild des Klimas entsteht, muss ein langer Zeitraum als Datengrundlage für die Auswertungen zugrunde liegen. Man geht davon aus, dass innerhalb von 30 Jahren ein großer Teil der Wetterabläufe erfasst wird, die an dem jeweiligen Ort auftreten können.

Bisherige Klimaänderungen sind ohne menschlichen Einfluss nicht erklärbar

→ Bisherige Klimaänderungen können durch lange Messreihen an Wetterstationen belegt werden. Im letzten Jahrhundert hat sich unser Klima weltweit verändert. Insbesondere die Erwärmung kann mit sehr großer Wahrscheinlichkeit dem menschlichen Einfluss zugeordnet werden: Versuche, die weltweite Erwärmung des letzten Jahrhunderts mit mathematischen Klimamodellen zu berechnen, scheitern, solange diesen Simulationen ausschließlich natürliche Faktoren zugrunde gelegt werden. Wird jedoch zusätzlich der menschliche Einfluss berücksichtigt, kann die Erwärmung innerhalb des letzten Jahrhunderts durch Klimamodelle gut abgebildet werden. Natürliche Faktoren allein reichen also nicht aus, um die Erwärmung innerhalb des letzten Jahrhunderts zu erklären. Dieses gelingt nur dann, wenn der menschliche Einfluss als Ursache für die Erwärmung mit berücksichtigt wird.





1



KLIMAWANDEL AN DER OSTSEEKÜSTE

Aus der geographischen Lage ergibt sich für die Ostsee ein Jahreszeitenklima. Aufgrund der großräumigen Ausdehnung wird das Klima der Ostsee als Übergangsklima zwischen maritim und kontinental bezeichnet. Der ozeanische Einfluss nimmt von Südwest nach Nord und Ost ab. An der deutschen Ostseeküste dämpft der ozeanische Einfluss den Jahresgang der Klimatelemente (z. B. Temperatur und Niederschlag). Die Winter sind meist mäßig kalt und die Sommer bisher meistens mild.

Bisherige Klimaänderungen

Bisherige Klimaänderungen im Jahresmittel

Die Ostseeküste hat sich erwärmt

→ Der Ostseeraum hat sich im vergangenen Jahrhundert bereits um etwa 0,85 °C erwärmt. Damit liegt die Erwärmung leicht über dem weltweiten Durchschnitt. Die Veränderungen im Ostseeraum sind jedoch regional unterschiedlich: So betrug der Anstieg der Lufttemperatur im Norden etwa 1 °C, in der südlichen Ostsee rund 0,7 °C. Die Erwärmung ist vor allem durch hohe Tagesminimumtemperaturen charakterisiert. Mit der Erwärmung hat sich auch die Häufigkeit extremer Temperaturen verändert. In einem Jahr gibt es heute an der deutschen Ostseeküste etwa zehn Sommertage (wärmer als 25 °C) mehr und etwa 20 Frosttage weniger als in den 1950er Jahren.

Innerhalb des 20. Jahrhunderts hat zudem die Niederschlagsmenge in Nordeuropa zugenommen. Diese Zunahme ist innerhalb des Ostseeinzugsgebietes in Schweden und an der östlichen Ostseeküste am stärksten.

Bewölkung und Strahlung schwanken

→ Trotz Erwärmung ist es nicht überall sonniger geworden: Bewölkung und Sonneneinstrahlung weisen starke Schwankungen von Region zu Region, innerhalb der Jahreszeiten und von Jahrzehnt zu Jahrzehnt auf. Von 1971 bis 2000 hat die jährliche Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern um etwa 50 bis 100 Stunden zugenommen, während sie in Schleswig-Holstein etwa im selben Maße abgenommen hat. Legt man Messungen aus einem längeren Zeitraum von 1951 bis 2000 zugrunde, sind diese Trends jedoch nicht ausgeprägt.

Bisher schwankt das Windklima im normalen Bereich

→ Luftdruckmessungen in Südkandinavien zeigen bisher keine langfristigen Änderungen im Sturmklima. Zwar gibt es immer wieder Jahre in Folge, in denen es zu mehr Stürmen und höheren Windgeschwindigkeiten kommt. Diesen folgen dann jedoch wieder Zeiträume, in denen Häufigkeit und Intensität schwächer ausfallen. Auch an der deutschen Ostseeküste gibt es bisher keine systematischen Änderungen im Sturmklima.

Dem gegenüber steht die Entwicklung der Sturmschäden, die durchaus zugenommen haben. Dies ist jedoch auf die zunehmende Verwundbarkeit der Gesellschaft durch Stürme zurückzuführen: Inzwischen gibt es viel mehr Gebäude, die durch Stürme beschädigt werden können. Außerdem ist heute eine viel stärker entwickelte Infrastruktur den Stürmen ausgesetzt. Aus diesen Gründen kommt es heute bei Stürmen zu größeren Schäden, obwohl sich die Windverhältnisse langfristig bisher nicht geändert haben.



Bisherige Klimaänderungen in den Jahreszeiten

Erwärmung vor allem im Frühjahr, weniger Sommerregen

→ Insgesamt hat sich der Ostseeraum bisher am stärksten in den Frühlingmonaten erwärmt. Während im nördlichen Ostseeinzugsgebiet der Niederschlag ganzjährig zugenommen hat, wurde für die südliche Ostseeküste ein deutlicher Rückgang des Niederschlags im Sommer beobachtet.

Mehr Starkregen im Winter

→ Im Winter hat die Niederschlagsmenge im gesamten Ostseeraum am stärksten zugenommen, vor allem in Norwegen, Dänemark und Deutschland. Auch winterliche Starkregen sind deutlich häufiger geworden. Dies gilt vor allem für den deutschen und den skandinavischen Ostseeraum. Ein erhöhter Eintrag von Flusswasser in die Ostsee wurde dennoch bisher nicht festgestellt.



Weniger Eis im Meer

→ Der Klimawandel hat auch Einfluss auf die Eisbedeckung der Ostsee. Meereis bildet sich in der Ostsee typischerweise im November (frühestens im Oktober) in den flachen Küstengebieten des Bottnischen Meerbusens. Die maximale Eisbedeckung wird meistens im Februar oder März erreicht. Je nach Region hat sich der Zeitraum, in dem die Ostsee innerhalb eines Jahres zufriert, im letzten Jahrhundert um etwa 14 bis 44 Tage verkürzt. Dies ist vor allem auf das verfrühte Schmelzen des Eises im Frühjahr zurückzuführen.



Meeresspiegel, Sturmfluten und Erosion

Steigender Meeresspiegel – häufigere Sturmfluten

→ Für die deutsche Ostseeküste ist neben diesen atmosphärischen Änderungen auch die Entwicklung von Wasserständen von großer Bedeutung. Wie stark sich Sturmfluthöhen an der deutschen Ostseeküste ändern, hängt in erster Linie vom Meeresspiegelanstieg und von den Windverhältnissen in der südwestlichen und zentralen Ostsee ab. Da sich die Windverhältnisse über der Ostsee mit dem Klimawandel bisher nicht systematisch verändert haben, laufen Sturmfluten heute windbedingt nicht höher auf als vor 100 Jahren.

Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren weltweit durchschnittlich etwa zwei Dezimeter angestiegen. An der südlichen Ostseeküste ist der mittlere Wasserstand im selben Zeitraum ca. 14 cm angestiegen. Weil Sturmfluten heute durch den Meeresspiegelanstieg ein höheres Ausgangsniveau vorfinden, werden hohe Wasserstände, die laut Klassifikation als Sturmflut gewertet werden, heute häufiger erreicht als vor 100 Jahren. Somit hat die Sturmfluthäufigkeit im letzten Jahrhundert zugenommen, wobei dies hauptsächlich auf die Zunahme der leichten Sturmfluten (1 m bis 1,25 m über NN) zurückzuführen ist. Insgesamt laufen höchste Wasserstände bisher jedoch nicht höher auf. So sind die Wasserstände der sehr schweren Ostseesturmflut von 1872 bis heute an keinem Pegel an der deutschen Ostseeküste überschritten worden.





Küstenerosion – ein normaler Prozess

→ An der südwestlichen Ostseeküste werden Sande und andere lockere Sedimente stark abgetragen. Vor allem an Küsten, die zur Hauptströmungsrichtung hin exponiert sind, ist die Erosion besonders stark ausgeprägt. An der deutschen Ostseeküste werden hauptsächlich die Steilküsten erodiert. Diese Steilufer umfassen in Schleswig-Holstein etwa 30 % der Küstenlinie, in Mecklenburg-Vorpommern sind es etwa 36 %. An der Kieler Bucht, auf Rügen und Usedom sowie östlich von Rostock kommt es zu einer mittleren Erosion von etwa 20 bis 40 cm pro Jahr.

Den Steilküsten schließen sich Flachküsten mit Strandwällen und Dünen oder Küstenschutzbauwerken an. Die Sande werden je nach Wind- und Wellenverhältnissen parallel zur Küstenlinie verfrachtet und an geeigneter Stelle zu Stränden, Sandwällen und Sandhaken aufgeworfen. Insgesamt hat die deutsche Ostseeküste eine negative Sedimentbilanz. Es wird also bezogen auf ein Jahr mehr Material abgetragen als angelagert. 70 % der Flachküsten Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns unterliegen einem Erosionstrend. Nur an 30 % der Ostseeküste in Deutschland liegt eine positive bzw. ausgeglichene Sedimentbilanz vor.

Ein steigender Meeresspiegel verschiebt das gesamte Küstenprofil landeinwärts. Gravierende Änderungen träten auf, wenn sich das Strandprofil versteilen oder sich die Sedimentzufuhr verringern würde. Dies könnte bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg der Fall sein.



Mögliche Klimaänderungen bis 2100

Klimaszenarien

→ Klimaszenarien stellen plausible zukünftige Entwicklungen des Klimas bei unterschiedlichen Treibhausgaskonzentrationen dar. Sie werden erarbeitet, weil Vorhersagen für einen längeren Zeitraum nicht möglich sind. Klimaszenarien zeigen, wie sich die Wetterstatistik in einer Region langfristig ändern kann, wenn menschliche Aktivitäten künftig die Treibhausgaskonzentrationen auf bestimmte Weise beeinflussen. Aus heutiger Sicht erscheint ein großes Spektrum gesellschaftlicher Entwicklungen plausibel. Deshalb ist heute ungewiss, wie hoch die Treibhausgaskonzentrationen künftig tatsächlich sein werden. Für Klimaszenarien werden darum unterschiedliche Treibhausgaskonzentrationen zugrunde gelegt. Der UN-Klimarat IPCC empfiehlt, mindestens sechs so genannte Markerszenarien für Treibhausgaskonzentrationen zu berücksichtigen, um das mögliche Spektrum der künftigen gesellschaftlichen Entwicklung möglichst weitgehend zu umfassen. Deshalb können zukünftige Klimaänderungen nur als Spannbreiten angegeben werden.

Klimawandel kann sich künftig weltweit noch verstärken

→ Geht man von den künftig möglichen Treibhausgaskonzentrationen aus, die der UN-Klimarat IPCC zugrunde legt, müssen wir bis zum Ende des Jahrhunderts verglichen mit heute mit einer weltweiten durchschnittlichen Er-

wärmung von etwa 2 bis 4,7 °C rechnen. Verglichen mit der Erwärmung des letzten Jahrhunderts kann sich die Erderwärmung im nächsten Jahrhundert also etwa um das Sechsfache verstärken, günstigstenfalls würde sie sich „nur“ verdoppeln. Bisher bekannte Wechselwirkungen des Klimasystems weisen darauf hin, dass die Erwärmung noch stärker ausfallen könnte, wenn sich bestimmte Prozesse verstärken. Zu diesen Prozessen trägt beispielsweise das Meereis als Teil des Strahlungshaushaltes bei: Seine weiße Oberfläche reflektiert einen großen Teil der einfallenden Strahlung zurück in das Weltall. Je mehr Eis jedoch geschmolzen ist, desto stärker kommt die dunkle Oberfläche des Ozeanwasserkörpers zum Vorschein. Die eisfreie dunklere Meeresoberfläche reflektiert viel weniger Strahlung, wodurch sie sich und die Atmosphäre zusätzlich erwärmt.

Klimawandel und Klimafolgen sind regional unterschiedlich

→ Die Zahlen des UN-Klimarates IPCC spiegeln einen möglichen Wandel des Klimas im globalen Durchschnitt wider. Schon jetzt zeigt sich, dass sich die Polargebiete stärker erwärmen als übrige Gebiete der Erde und Landoberflächen schneller als Ozeane. Hinzu kommt, dass sich Klimaänderungen von Region zu Region unterschiedlich ausprägen. Beispielsweise ist ein ohnehin trockener Standort stärker von abnehmendem Niederschlag betroffen als eine niederschlagsreiche Region. Auch kultur- und naturräumliche Gegebenheiten wirken sich auf die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel aus.

Nachfolgend fassen wir zusammen, mit welchen Änderungen wir künftig an der Ostseeküste rechnen müssen. Die Ergebnisse stammen weitgehend aus dem Norddeutschen Klimaatlas, den das Norddeutsche Klimabüro auf der Basis von derzeit zwölf regionalen Klimaszenarien erstellt hat, um den aktuellen Wissensstand zum möglichen zukünftigen Klimawandel in Norddeutschland im Internet verfügbar zu machen (www.norddeutscher-klimaatlas.de).





Mögliche zukünftige Änderungen im Jahresmittel

Beschleunigte Erwärmung und stärkere Niederschläge

→ An der deutschen Ostseeküste müssen wir schon innerhalb der nächsten 30 Jahre mit einer Erwärmung von weiteren 0,5 bis 1,1 °C rechnen. Dies verdeutlicht, dass sich auch bei uns künftig die Erwärmung verstärken kann, denn eine Erwärmung dieser Größenordnung hat in der Vergangenheit etwa 100 Jahre gebraucht. Bis zum Ende des Jahrhunderts sind Erwärmungen zwischen 2,1 und 4,8 °C an der deutschen Ostseeküste plausibel. Außerdem weisen Klimarechnungen auf eine Zunahme des Niederschlages an der Ostseeküste hin. Bis zum Ende des Jahrhunderts erscheint eine Zunahme von bis zu 8% plausibel.

Mögliche zukünftige Änderungen in den Jahreszeiten

Stärkste Erwärmung im Sommer plausibel

→ Im Sommer ist an der Ostseeküste künftig mit der stärksten Erwärmung zu rechnen. Die Klimaszenarien weisen bis Ende des Jahrhunderts auf eine mögliche Erwärmung von etwa 1,9 bis 5,1 °C hin. Durch die Erwärmung ist schon innerhalb der nächsten 30 Jahre mit bis zu vier zusätzlichen Sommertagen pro Jahr zu rechnen, an denen das Thermometer über 25 °C steigt. Bis zum Ende des Jahrhunderts kann es dann verglichen mit heute sogar sieben bis 38 zusätzliche Sommertage an der Ostseeküste geben.

Künftig noch weniger Regen im Sommer möglich

→ Im Gegensatz zum ganzjährigen Durchschnitt lassen die Klimarechnungen für den Sommer künftig weniger Regen plausibel erscheinen. Bis Ende des Jahrhunderts kann an der Ostseeküste im Vergleich zu heute etwa sechs bis 38% weniger Regen fallen. Auch die Anzahl der Regentage im Sommer kann bis dahin um drei bis 17 Tage abnehmen.

Erwärmung im Winter auch weiterhin zu erwarten

→ Auch im Winter kann es an der Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts etwa 1,9 bis 4,8 °C wärmer werden. Mit dieser mittleren Erwärmung würde sich auch die Anzahl der Frosttage in Norddeutschland künftig stark reduzieren: In den nächsten 30 Jahren kann es pro Jahr bereits neun bis 23 Frosttage weniger geben. Bis zum Ende des Jahrhunderts werden sie wahrscheinlich noch seltener: Im Vergleich zu heute kann sich die Anzahl dann um etwa 18 bis 50 Frosttage verringern.

Weniger Sonnenstunden zu erwarten

→ In den Wintermonaten muss zudem mit einer deutlichen Abnahme der Sonnenstunden gerechnet werden. Bis Ende des Jahrhunderts könnten sich die Anzahl der Sonnenstunden um 12 bis 27% verringern. Auch fürs Frühjahr weisen die Klimaszenarien darauf hin, dass sich die Sonnenscheindauer verkürzen kann. In den Sommermonaten und im Herbst ist die Änderung der Sonnenscheindauer unklar, da einige Klimarechenmodelle eine Zu-, andere eine Abnahme zeigen.

Künftig deutlich mehr Regen im Winter zu erwarten

→ Im Gegensatz zum Sommer rechnen wir in den Wintermonaten mit einer deutlichen Zunahme des Niederschlags. Ab Mitte des 21. Jahrhunderts stimmen alle derzeit berücksichtigten Klimarechnungen in dieser Entwicklung an

der deutschen Ostseeküste überein. Bis zum Ende des Jahrhunderts kann der Niederschlag im Winter sogar um etwa 11 bis 38% zunehmen.

Schnee kann zur Seltenheit werden

→ Da sich aufgrund der Erwärmung der Schneeanteil stark reduzieren kann, ist damit zu rechnen, dass Niederschläge hauptsächlich als Regen fallen werden. So lassen die Klimaszenarien vermuten, dass es schon in 40 Jahren an der deutschen Ostseeküste im Mittel etwa drei Schneetage weniger pro Jahr geben wird als heute. Dieser Trend würde sich mit der zu erwartenden Erwärmung bis 2100 weiter fortsetzen. Dann könnte Schnee eine Seltenheit werden. Trotzdem sind weiße Weihnachten auch Ende des Jahrhunderts nicht auszuschließen, nur werden sie wahrscheinlich sehr viel seltener eintreten.



Stärkere Überschwemmungen möglich

→ Im Ostseeraum kann sich durch die zu erwartende Niederschlagszunahme der winterliche Abfluss in Flüssen verstärken. Durch geringere und frühere Schneeschmelze kann sich zudem das Maximum des Abflusses der Flüsse, die in die Ostsee münden, verfrühen. Statt eines erhöhten Maximums kann sich aufgrund der höheren Winterniederschlagsmengen der winterliche Abfluss insgesamt erhöhen. Dies kann verstärkt zu winterlichen Hochwassern führen.

Weniger Eis im Meer

→ Verschiedene Studien zeigen, dass deutliche Änderungen in der Eisbedeckung der Ostsee zu erwarten sind. Dies betrifft die Ausdehnung der Eisdecke, die Dicke der Eisschicht sowie die Dauer, in der Eis auf der Ostsee vorhanden ist. So kann das mit Eis bedeckte Gebiet in der Ostsee bis Ende des Jahrhunderts im Vergleich zu heute um etwa 57 bis 70% schrumpfen. Der Bottnische Meerbusen, weite Teile des Finnischen Meerbusens sowie Teile des Rigaischen Meerbusens könnten dann meist eisfrei sein. Der Zeitraum, in dem Eis auf der Ostsee vorhanden wäre, würde sich bis Ende des Jahrhunderts in den nördlichen Teilen der Ostsee um ein bis zwei Monate und in der zentralen Ostsee um zwei bis drei Monate verkürzen. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die Ostsee bis Ende des Jahrhunderts komplett eisfrei sein wird.

Künftig stärkere Winde möglich

→ Obwohl sich das Windklima an der deutschen Ostseeküste bisher nicht systematisch geändert hat, weisen Klimarechnungen für die Zukunft darauf hin, dass die Stürme im Winter stärker werden können. Wintersturmgeschwindigkeiten können an der Ostseeküste bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 14% zunehmen. Ähnliche Änderungen zeigen die Klimaszenarien auch für die mittleren Windgeschwindigkeiten. Insgesamt ist jedoch die

Spannbreite bei den möglichen zukünftigen Änderungen des Windklimas sehr groß. Dies lässt vermuten, dass auch künftig natürliche Schwankungen eine Rolle spielen und dass die Änderungen stark von den tatsächlich eintretenden Treibhausgaskonzentrationen abhängen werden.

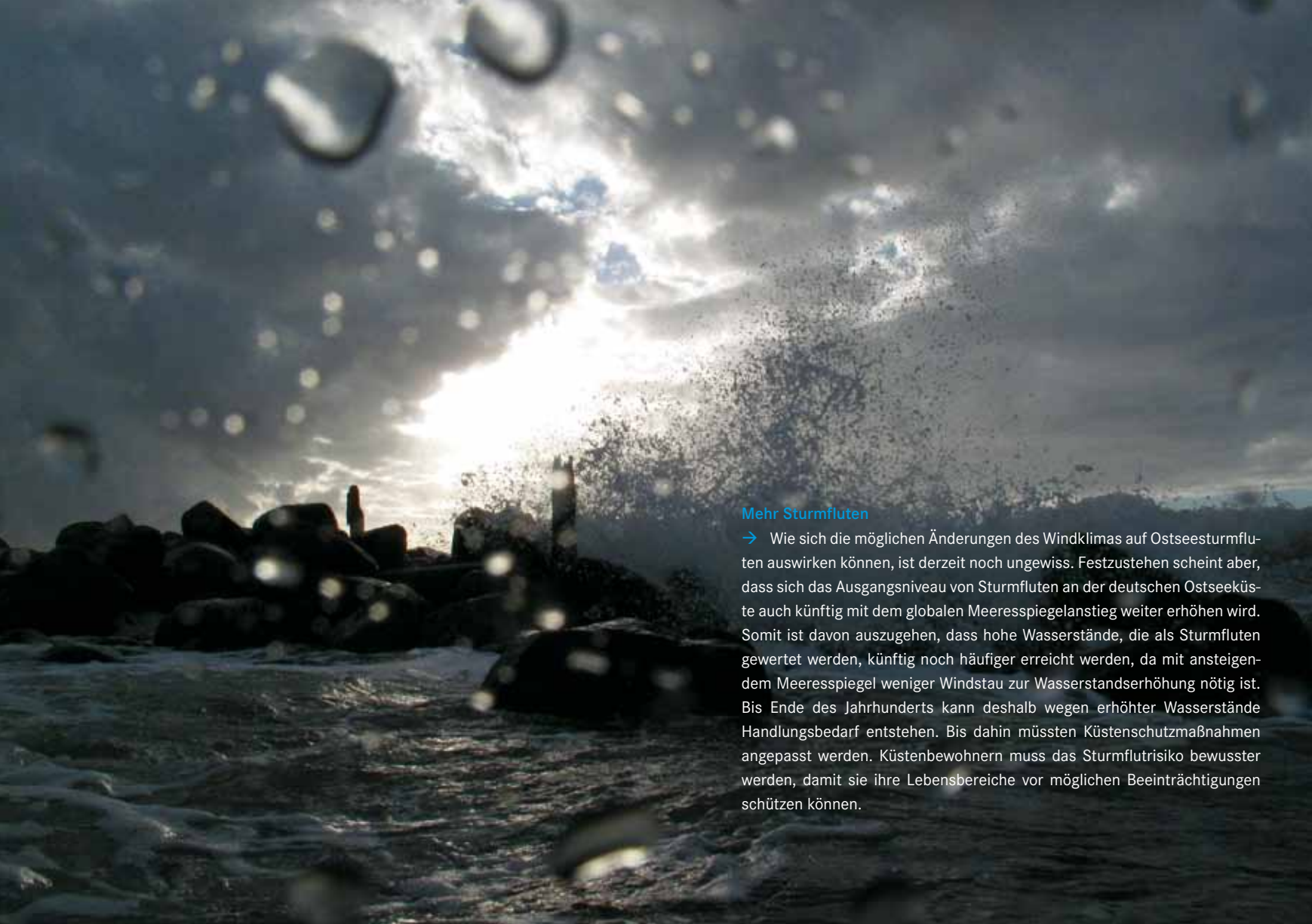


Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten

Beschleunigter Meeresspiegelanstieg möglich

→ Klimarechnungen für die Zukunft weisen darauf hin, dass der Meeresspiegel weltweit künftig stärker ansteigen kann als bisher. In den letzten Jahrzehnten ist der globale Meeresspiegel durchschnittlich bereits stärker angestiegen als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Schriebe man die derzeitige Anstiegsrate auf 100 Jahre linear fort, läge der Meeresspiegelanstieg bei etwa drei Dezimetern. Der UN-Weltklimarat IPCC erwartet bis Ende des 21. Jahrhunderts einen Meeresspiegelanstieg von etwa zwei bis sechs Dezimetern. Das bedeutet, dass sich die durchschnittliche bisherige Anstiegsrate des letzten Jahrhunderts (zwei Dezimeter) im nächsten Jahrhundert verdreifachen kann, mindestens aber gleich bleibt. Bis 2030 könnte der Meeresspiegel im weltweiten Durchschnitt verglichen mit heute etwa ein bis zwei Dezimeter ansteigen. Außerdem können sich Schmelzprozesse in den großen Eisschilden Grönlands und der Antarktis so verstärken, dass sie den globalen Meeresspiegel zusätzlich ansteigen lassen. Insgesamt ist dann laut Bericht des UN-Weltklimarates IPCC ein weltweiter Meeresspiegelanstieg von zwei bis acht Dezimetern bis zum Ende des 21. Jahrhunderts plausibel. An der deutschen Ostseeküste ist bisher keine Beschleunigung im Meeresspiegelanstieg erkennbar. Szenarien zum künftigen regionalen Meeresspiegelanstieg in der Ostsee sind jedoch noch nicht vorhanden. Trotzdem ist anzunehmen, dass der globale Meeresspiegelanstieg sich auch künftig auf die Wasserstände der südwestlichen Ostseeküste auswirken wird.





Mehr Sturmfluten

→ Wie sich die möglichen Änderungen des Windklimas auf Ostseesturmfluten auswirken können, ist derzeit noch ungewiss. Festzustehen scheint aber, dass sich das Ausgangsniveau von Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste auch künftig mit dem globalen Meeresspiegelanstieg weiter erhöhen wird. Somit ist davon auszugehen, dass hohe Wasserstände, die als Sturmfluten gewertet werden, künftig noch häufiger erreicht werden, da mit ansteigendem Meeresspiegel weniger Windstau zur Wasserstandserhöhung nötig ist. Bis Ende des Jahrhunderts kann deshalb wegen erhöhter Wasserstände Handlungsbedarf entstehen. Bis dahin müssten Küstenschutzmaßnahmen angepasst werden. Küstenbewohnern muss das Sturmflutrisiko bewusster werden, damit sie ihre Lebensbereiche vor möglichen Beeinträchtigungen schützen können.



2

.....

ÖKOSYSTEME DER OSTSEEKÜSTE IM WANDEL

Landökosysteme

Wachstumsperioden und Ausbreitungsgrenzen

Verlängerte Wachstumsperiode

→ Die bisherigen Klimaänderungen haben sich bereits auf die Vegetation ausgewirkt. In Nordeuropa, speziell im südlichen Ostseeraum, setzt seit mehreren Jahrzehnten der Frühling früher und der Herbst später ein. Hufplattich und Haselnuss blühen heute 10 bis 20 Tage früher als noch vor 50 Jahren, und die Blattentfaltung der Moorbirke erfolgt heute zwei bis drei Wochen früher. Für die Johannisbeere, die Vogelbeere und die Vogelkirsche wurde eine Verlängerung der Wachstumsperiode um etwa zwei Wochen gegenüber den späten 60er Jahren nachgewiesen. Eine weitere Verlängerung der Vegetationsperioden ist in den kommenden Jahrzehnten zu erwarten.

Verschiebung der Ausbreitungsgrenzen nach Norden und Osten

→ Jede Art lebt innerhalb spezifischer Ausbreitungsgrenzen, in denen für sie günstige Umweltbedingungen herrschen. Neben klimatischen Bedingungen sind jedoch auch andere vom Menschen verursachte Faktoren wie z. B. die Landnutzung und die Zerschneidung von Lebensräumen entscheidend für die Ausbreitung von Arten. Für die südliche Ostseeküste ist eine Verschiebung der Lebensräume nach Norden und Osten beobachtet worden. Das Auftreten von Stechpalmen, Zwergfledermäusen und einigen Vogelarten in diesen Regionen ist ein erstes Beispiel hierfür. Zugvögel können ihre Zugbahnen

entsprechend den klimatischen Bedingungen ändern oder in besonders milden Wintern standorttreu bleiben. Dieses wurde für den Schwan, den Haubentaucher und die Graugans bereits beobachtet. Für die Zukunft kann durch die fortschreitende Erwärmung eine weitere nord- und ostwärtige Ausbreitung bzw. Wanderung von Arten erwartet werden.



Änderungen der Wachstumsbedingungen

Stresstoleranz gegenüber Änderungen der Umwelt

→ Pflanzen und Tiere haben die Fähigkeit, sich in gewissen Grenzen an neue Umweltbedingungen anzupassen. Wird eine Toleranzschwelle überschritten, spricht man von Stress. Eine langsame, allmähliche Erwärmung dürfte für die meisten Pflanzen und Tiere geringeren Stress bedeuten als die erwartete deutlich zunehmende Trockenheit im Sommer. Auch würde eine Zunahme von extremen Wetterereignissen starken Stress auslösen. So kann z. B. für manche Pflanzen eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Frostschäden eine Begleiterscheinung des Klimawandels sein.

CO₂ ist Nahrung für Pflanzen, aber Wasser setzt Limits

→ Der CO₂-Anstieg in der Atmosphäre hat neben dem Treibhauseffekt und den daraus resultierenden ansteigenden Temperaturen auch einen direkten Einfluss auf den Stoffwechsel von Pflanzen. Kohlendioxid wird bei der Photosynthese in Biomasse eingebaut. Eine erhöhte CO₂-Konzentration wirkt sich daher zunächst positiv auf das Pflanzenwachstum aus.

Bei Wasser- oder Nährstoffmangel können die Pflanzen die erhöhte CO₂-Zufuhr jedoch nicht nutzen. Bei länger andauernden Trockenphasen, wie sie künftig im Sommer an der südlichen Ostseeküste auftreten können, schließen die Pflanzen ihre Blattoberflächen, durch die CO₂ aufgenommen wird, um die Verdunstung zu minimieren. Die Pflanzen reduzieren die Photosynthese und setzen CO₂ durch Atmung frei.

Untersuchungen an verschiedenen Baumarten zeigen, dass im südlichen Ostseebereich die Wasserverfügbarkeit den entscheidenden Faktor für das Wachstum darstellt. Eine Erhöhung der Temperatur allein hat dort geringere Auswirkungen. Dies gilt insbesondere für die Kiefer und die Fichte,



aber auch für Eiche und Buche. Längere Trockenphasen vergrößern zudem die Gefahr von Waldbränden.

Auf der anderen Seite kann auch der erwartete stärkere Niederschlag im Herbst und Winter eine Herausforderung für Pflanzen darstellen: Staunässe im Boden durch erhöhte Niederschlagsmengen kann zu Sauerstoffarmut, veränderten Nährstoffbedingungen und zu Wurzelschäden führen.

Eine weitere direkte Auswirkung der erhöhten CO₂-Konzentration ist ein Übersäuern von Böden und Gewässern mit größtenteils negativen Auswirkungen für die dort lebenden Organismen.

Der Waldbestand könnte profitieren

→ Trotz der genannten negativen Auswirkungen zeigen Simulationen des Baumbestands eine leichte Zunahme von + 8 % an der südlichen Ostseeküste. Dieser Zuwachs wäre im nördlichen Skandinavien jedoch erheblich größer (+ 22 %), da dort die Wasserknappheit ein weitaus geringeres Problem darstellt als im Süden. In diesen Simulationen sind Änderungen der Landnutzung oder eine höhere Anfälligkeit für Baumkrankheiten und Parasiten in einem wärmeren Klima jedoch nicht berücksichtigt.



Für Seen und Flüsse ist der Einfluss des Klimawandels aufgrund einer geringen Anzahl von Studien und einer komplizierten Verkettung von Ursache und Wirkung noch nicht so gut belegt wie für die Landökosysteme. Aufgrund einiger Studien aus den vergangenen Jahrzehnten lassen sich jedoch vorsichtige Aussagen machen:

Verschiebungen in Artenzusammensetzung und Abfolge

→ Ein früheres Aufbrechen des Eises in Seen und Flüssen und eine insgesamt längere eisfreie Periode im Jahr können zu Verschiebungen in der Artenzusammensetzung und Abfolge von einzelligen, im Wasser schwebenden Algen (Phytoplankton) führen. Nach einer Reihe von milden Wintern ist in einem norddeutschen See ein Wechsel der dominanten Frühjahrsarten beobachtet worden. Stickstoffautarke und Wärme liebende Blaualgen könnten in Zukunft einen zunehmend beherrschenden Anteil des Phytoplanktons in Seen ausmachen. Auch sind Veränderungen in Fischbeständen beobachtet worden, die mit einer veränderten Zusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons (Kleinkrebse) im Frühjahr in Verbindung gebracht werden. Für die Zukunft kann erwartet werden, dass Kaltwasserfische verschwinden und der Anteil von Warmwasserfischen allmählich zunehmen wird. Auch hier muss der Einfluss nicht klimatischer Faktoren, z. B. die Belastung der Gewässer mit Schad- und Nährstoffen, berücksichtigt werden. Durch die intensive Landwirtschaft im südlichen Ostseeraum sind Seen und Flüsse größtenteils überdüngt, und es ist zurzeit noch unklar, inwieweit sich der Klimawandel hier auswirkt. Einige Studien weisen jedoch auf eine mögliche Verschärfung der Überdüngungssituation in einem wärmeren Klima hin.

Marine Ökosysteme

Die Ostsee beherbergt eine Vielzahl verschiedener Organismengruppen, die durch ihre Funktion im Ökosystem miteinander verknüpft sind. Der Klimawandel hat die marinen Ökosysteme der Ostsee bereits beeinflusst, jedoch sind viele Zusammenhänge noch unklar. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst.



Marine Säugetiere

Gefährdete Aufzuchtgebiete für Ostsee-Ringelrobbe, bessere Bedingungen für südliche Arten

→ In der Ostsee leben mit Schweinswal, Seehund, Ostsee-Ringelrobbe und Kegelrobbe noch einige marine Säugerarten. All diese Arten sind in den letzten Jahrhunderten durch Jagd stark dezimiert worden, so dass heute nur noch vergleichsweise geringe Bestände übrig sind. Nur der Schweinswal und vereinzelt die Kegelrobbe und der Seehund kommen in der südlichen Ostsee vor. Für die Ostsee-Ringelrobbe ist festes Eis für die Aufzucht der Jungen notwendig. Die möglicherweise drastische Abnahme der winterlichen Eisfläche in der nördlichen Ostsee kann demnach für diese Art während des 21. Jahrhunderts zu Problemen führen. Andererseits könnten Seehund, Kegelrobbe und Schweinswal von einer Erwärmung profitieren, da in der Vergangenheit ein Rückgang dieser Arten häufig mit harten Wintern einherging.



Fische

Überfischung und Klimawandel beeinflussen Fischbestände

→ In der Ostsee gibt es mit Dorsch, Sprotte und Hering drei kommerziell wichtige Fischarten. Diese drei Arten unterliegen einem komplexen Abhängigkeitsgefüge untereinander und sind einem hohen Fischereidruck ausgesetzt.

Die Fischbestände in der Ostsee zeigen seit langer Zeit starke Schwankungen, und einige Arten wie z. B. der Stör sind in der Ostsee ausgestorben, vermutlich durch eine Kombination von ungünstigen Umweltbedingungen und Überfischung. Neben der Fischerei werden die Bestände von Faktoren reguliert, die mittelbar oder unmittelbar vom Klima gesteuert werden. Im Vergleich zur ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts haben die Anlandungen von Dorsch, Sprotte und Hering in den 1960er und 70er Jahren stark zugenommen, was einerseits auf eine drastische Verringerung der Anzahl von marinen Säugern, also Robben, Seehunden und Schweinswalen, andererseits auf eine verstärkte Nährstoffzufuhr in die Ostsee und somit verbesserte Futterbedingungen zurückgeführt wird.

In den 1980er Jahren ist für den Dorsch ein starker Einbruch bei den Beständen festgestellt worden, was einerseits durch den hohen Fischereidruck, andererseits aber auch durch ungünstige Umweltbedingungen, die letztendlich klimagesteuert sind, erklärt wird.

Dorsche, wie auch Sprotten und Heringe, laichen in bestimmten Regionen, in denen ihre Eier aufgrund ihres spezifischen Gewichts bis zu einer bestimmten Tiefe absinken. Wenn in dieser Tiefe jedoch sauerstoffarme oder -freie Zonen herrschen, sterben die Eier ab. Diese Zonen haben in den Laichgebieten der Dorsche in den letzten Jahrzehnten zugenommen und somit die „Kinderstube“ des Dorsches verkleinert. Dies ist möglicherweise ein

Grund für die Reduzierung des Dorschbestandes. Auch die enge Nahrungsbeziehung zu Sprotte und Hering sowie Veränderungen bei einigen als Futter wichtigen Zooplanktonarten könnten hier eine Rolle spielen.

Weitaus stärker wirkt sich jedoch derzeit die Fischerei auf die Bestände der kommerziell genutzten Arten aus. Fischereidruck kann Fischpopulationen so dezimieren, dass sie für klimatisch verursachte negative Veränderungen keine Reserven mehr haben.



Änderungen der Lebensbedingungen

Salzgehalt beeinflusst Ökosysteme

→ In der Ostsee ist neben der Temperatur der Salzgehalt von besonderer Bedeutung für die Organismen. Die Ostsee ist ein Brackwassermeer und weist einen starken Gradienten vom Salzwasser im westlichen Ausgang zur Nordsee bis zu annähernd Süßwasserbedingungen in Nordschweden und Finnland auf. In der Vergangenheit hat der Salzgehalt regelmäßig geschwankt, aber ein Trend ist zurzeit nicht zu beobachten. Möglicherweise könnten erhöhte Niederschläge und Flusseinträge im gesamten Ostseegebiet jedoch eine Aussüßung der Ostsee nach sich ziehen. Da viele Arten in der Ostsee an bestimmte Salzgehalte angepasst sind, könnte sich eine Änderung negativ auswirken.



Das Zooplankton in der Ostsee besteht zum größten Teil aus der Gruppe der Ruderfußkrebse (Copepoden) sowie der für die Ostsee typischen Gruppe der Blattfußkrebse (Cladoceren). Diese mikroskopisch kleinen Krebse sind wichtige Bestandteile des Nahrungsnetzes, denn sie ernähren sich einerseits von Phytoplankton (winzige einzellige Algen) und bilden andererseits die wichtigste Nahrungsquelle für Fischlarven und kleine Fische. Klimaänderungen wirken sich auf das Zooplankton hauptsächlich über die Temperatur, den Salzgehalt und die Verfügbarkeit und Zusammensetzung des Phytoplanktons aus.

Der Salzgehalt spielt eine wichtige Rolle in der Verteilung des Zooplanktons. Salzliebende Arten wie z. B. einige Ruderfußkrebse kommen verstärkt in der salzhaltigeren westlichen Ostsee vor, andere Gruppen wie die Blattfußkrebse sind eher an geringere Salzgehalte angepasst. Eine für die kommenden Jahrzehnte angenommene Abnahme des Salzgehaltes in der gesamten Ostsee würde salzliebende Arten in die Nordsee verdrängen, und andere Arten könnten weiter in die südwestliche Ostsee vordringen. Dies könnte sich auch auf die Verbreitung bestimmter Fischarten auswirken.

Auch für bodenlebende Organismen wie Muscheln und Würmer ist der Salzgehalt eine wichtige Umweltbedingung. Bei abnehmenden Salzgehalten ist auch hier mit veränderten Verbreitungszonen und Einwanderung neuer Arten zu rechnen.

Wasserqualität im Klimawandel

Stärkere Überdüngung im Klimawandel?

→ Die Ostsee hat in den letzten Jahrzehnten eine starke Überdüngung erfahren. Ein Großteil des in der Landwirtschaft eingesetzten Stickstoffs und Phosphatdüngers wird über den oberflächlichen Abfluss der Felder in Flüsse ausgewaschen und gelangt auf diesem Weg in die Ostsee. Dies führt insbesondere in den küstennahen Gewässern zu einem Überangebot von Nährstoffen, hauptsächlich von Stickstoff und Phosphor. Dieses Nährstoffüberangebot führt zu verstärkten Algenblüten, so dass sich vom Frühjahr bis in den Herbst das Wasser an den Küsten grün und braun färben kann. Nach einer mehrwöchigen Wachstumsphase sind die überschüssigen Nährstoffe verbraucht. Die einzelligen Algen sterben ab und sinken zu Boden, wo sie von Kleinstlebewesen und Bakterien konsumiert werden. Dabei wird Sauerstoff verbraucht. Eine herabgesetzte Wasserqualität an den Küsten und eine Verschärfung der Sauerstoffsituation in einigen tiefen, sauerstoffarmen Becken der Ostsee, bis hin zu sauerstofffreien Zonen, in denen nur noch einige Bakterienarten überleben können, sind die Folge. Ob diese Prozesse in der Zukunft verstärkt oder abgemildert ablaufen, ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Klimaszenarien zeigen, dass der maximale Abfluss von Flüssen in die Ostsee am Ende des Jahrhunderts früher im Jahr auftreten und die gesamte Abflussmenge leicht ansteigen kann. Demzufolge wäre künftig mit einem erhöhten Stoffeintrag zu rechnen. Für den südlichen, stark landwirtschaftlich geprägten Teil der Ostseeregion ist jedoch davon auszugehen, dass es im Frühjahr und Sommer trockener wird, was einen reduzierten Abfluss und somit reduzierten Nährstoffeintrag nach sich ziehen könnte.



Wird es mehr Blaualgen geben?

→ Blaualgenblüten sind ein typisches Phänomen der offenen Ostsee und einiger geschlossener Buchten. Die Ausprägung dieser Blüten ist von Region zu Region unterschiedlich, ob sie jedoch in den letzten Jahrzehnten zugenommen haben, ist umstritten. Diese „Algen“ sind Bakterien (Cyanobakterien) und wachsen besonders gut im Sommer, wenn andere Algen durch Stickstoffmangel im Wachstum gehemmt sind. Blaualgen vermögen den im Wasser gelösten Luftstickstoff (N_2) zu verwerten und sind demnach stickstoffautark. Bei ruhigem Wetter treiben die Blaualgen auf dem Wasser auf und bilden dann ausgedehnte gelb-bräunliche Algenteppiche. Wenn Wind und Strömungen diese Algenmatten an die Küsten treiben, können Strände gesperrt werden, da einige Arten geringfügig giftig sein können.

Ob Blaualgenblüten in den nächsten Jahrzehnten zunehmen werden, ist umstritten und abhängig von vielen Faktoren, z. B. der zukünftigen vertikalen Schichtung des Wasserkörpers: Zukünftige mildere Winter könnten die winterliche Durchmischung behindern und so die Nährstoffverfügbarkeit herabsetzen, sturmreichere Winter könnten die Durchmischung jedoch begünstigen. Wissenschaftler versuchen derzeit mit Hilfe von Computermodellen die zukünftige Eutrophierung der Ostsee und die resultierenden Algenblüten unter Berücksichtigung aller zu erwartenden Veränderungen zu simulieren.

Bildnachweis

- © Torsten Fischer (Cover, S. 39, S. 42/43, S. 58)
- © Marcus Reckermann (S. 6/7, S. 18, S. 30, S. 33, S. 34, S. 44, S. 47, S. 49, S. 50, S. 52/53, S. 61)
- © patryk28091991/Fotolia (S. 2/3)
- © Gina Sanders/Fotolia (S. 14, S. 25)
- © Enet2007/Fotolia (S. 17)
- © Robert Neumann/Fotolia (S. 23)
- © Insa Meinke (S. 24)
- © Torsten Karock/iStockphoto (S. 27)
- © Marcel Sarközi/Fotolia (S. 28)
- © Pixelrohkost/Fotolia (S. 37)
- © Angelika Bentin/Fotolia (S. 41)
- © Florian Graner/Fjord&Bælt Centre Kerteminde, Dänemark (S. 55)
- © davidyoung11111/Fotolia (S. 57)

Herausgeber

Norddeutsches Klimabüro und
Internationales BALTEX-Sekretariat
Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht
Telefon: 04152 87-1868
Telefax: 04152 87-41868
www.norddeutsches-klimabuero.de
www.baltex-research.eu

Verantwortlich

Dr. Insa Meinke
Leiterin des Norddeutschen Klimabüros

Dr. Marcus Reckermann
Leiter des Internationalen BALTEX-Sekretariats

Gestaltung

Michael Fritz Kommunikationsdesign, Hamburg

2. Auflage

3000

Geesthacht, 2012