

V. Anpassung an den Klimawandel

A. Zu beobachtender und zukünftig zu erwartender Klimawandel

1. Bereits eingetretene und noch zu erwartende Klimaänderungen in Deutschland und Schleswig-Holstein

In der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS, siehe II.B.3.) werden die bereits eingetretenen Klimaänderungen in Deutschland wie folgt dargestellt:

„Zwischen 1901 und 2006 ist die **mittlere Lufttemperatur** in Deutschland um knapp 0,9° C gestiegen. Das Jahrzehnt 1990-1999 war sogar die wärmste Dekade des gesamten 20. Jahrhunderts. Auch in den ersten sechs Jahren des 21. Jahrhunderts war es erheblich wärmer als im Mittel der aktuellen Klimanormalperiode 1961-1990. Dabei ist der beobachtete Temperaturanstieg seit 1901 im Südwesten Deutschlands besonders hoch. So stieg die durchschnittliche Jahrestemperatur im Saarland um etwa 1,2° C. Im Nordosten dagegen nahmen die Temperaturen seit 1901 deutlich weniger stark zu, in Mecklenburg-Vorpommern beispielsweise nur um 0,4° C.“

„Auch beim **Niederschlag** lassen sich in Deutschland Veränderungen beobachten. Gegenüber dem Beginn des 20. Jahrhunderts ist das Gebietsmittel der jährlichen Niederschlagsmenge in Deutschland um etwa neun Prozent angestiegen, wobei die beiden ersten Dekaden des 20. Jahrhunderts vergleichsweise trocken waren. Zudem fiel in 11 der vergangenen 15 Jahre überdurchschnittlich viel Niederschlag. Die Menge des Niederschlags hat im Frühjahr deutlich zugenommen. Im Sommer ergibt sich insgesamt kein wesentlicher Trend.“

Um verschiedenen zukünftigen Entwicklungen des Klimas gerecht zu werden, wurden unterschiedliche Emissionsannahmen getroffen. Diese wurden in mehreren Szenarien-Familien (A1, A2, B1, B2) beschrieben, die der vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, **IPCC**) entwickelten Systematik folgen. In die Annahmen fließen zum Beispiel technische Entwicklungen, Nutzung der fossilen und Ausbau der Erneuerbaren Energien und Bevölkerungsentwicklung mit ein. Grundsätzlich führen die A-Szenarien aufgrund der getroffenen Annahmen zu höheren Erwärmungen. Extreme Werte liefern die Szenarien A1FI und A2. Die nachfolgend aufgeführten Kriterien in A1B charakterisieren eine mittlere Entwicklung und werden daher exemplarisch für diesen Bericht zur Darstellung möglicher Klimaentwicklungen herangezogen – auch wenn konstatiert werden muss, dass die tatsächliche weltweite Emissionsentwicklung der letzten Jahre sich eher am oberen Rand der Szenarien abspielt, also z. B. A1FI die reale Entwicklung eher trifft.

A1B (Mittleres Emissionsszenario)

Annahmen:

- global orientierte Entwicklung mit starkem Wirtschaftswachstum
- schnelle Einführung neuer und effizienterer Techniken
- Nutzung fossiler und erneuerbarer Energien
- Anstieg der Weltbevölkerung bis Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer Abnahme der Weltbevölkerung
- Anstieg der CO₂-Emissionen bis Mitte des 21. Jahrhunderts, danach leichter Rückgang bis 2100

Die **Projektionen der in Deutschland verwendeten vier regionalen Klimamodelle** (REMO, WETTREG, STAR, CLM) zeigen trotz leicht variierender Ergebnisse einen deutlichen Trend. Die WETTREG-Projektionen für den Zeitraum 2071 – 2100 ergeben für Deutschland im mittleren Emissionsszenario A1B beispielsweise die stärkste **Erwärmung** im gesamten Norden Deutschlands (mit Ausnahme der Küstenregionen) und im Voralpenraum, vergleichsweise geringe Erwärmung an der Nord- und Ostseeküste, in den zentralen Mittelgebirgen und im Osten Bayerns. Die über ganz Deutschland gemittelte Temperaturzunahme ergibt einen Wert von 2,3°C. Maximal werden Erwärmungen von 2,5°C und minimal um 1,5°C simuliert. Im Südwesten Deutschlands ergeben die Projektionen durch die vier Modelle die deutlichsten Unterschiede mit einer starken Erwärmung im gesamten Simulationsgebiet.

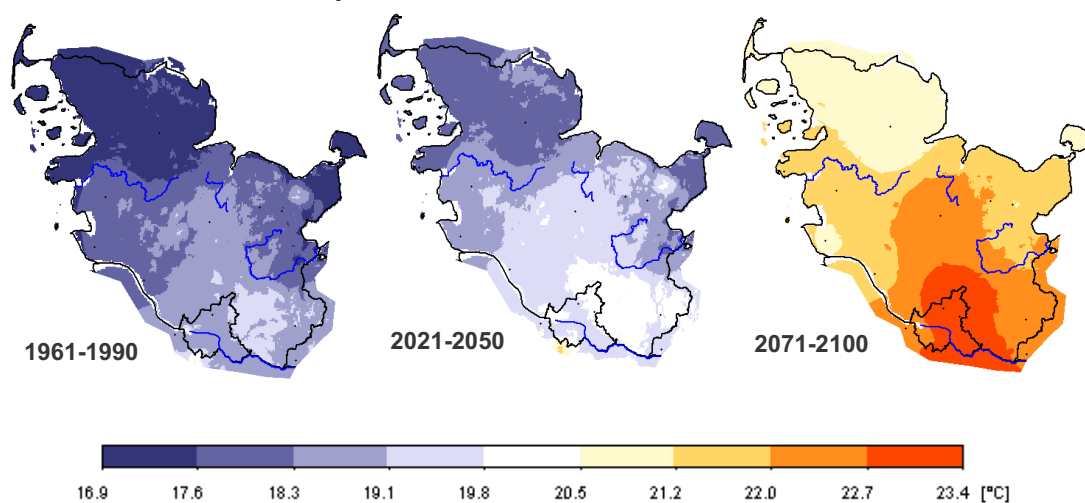
Besonders sichtbar wird der Klimawandel bei den **Niederschlagsmengen**. So lassen die Ergebnisse aller vier Modelle schließen, dass die Niederschläge im Sommer bundesweit um bis zu 40 Prozent abnehmen könnten, wobei der Südwesten Deutschlands erneut besonders stark betroffen sein könnte. Im Winter dagegen könnten die Niederschlagsmengen abhängig vom Modell um 0 bis 40 Prozent zunehmen. Das statistische WETTREG-Verfahren zeigt in den Mittelgebirgsregionen der Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen sowie den nordöstlichen Landesteilen Bayerns sogar Gebiete, in denen die Winterniederschläge für den Zeitraum 2071-2100 um bis zu 70 Prozent gegenüber dem Kontrollzeitraum 1961-1990 (Klimanormalperiode) ansteigen könnten. Die dynamischen Klimamodelle CLM und REMO deuten zudem auf einen zusätzlichen Anstieg der Niederschlagsmengen im Frühjahr hin, der aber geringer ausfällt als in den Wintermonaten.

Um den **Klimawandel in Schleswig-Holstein** zu veranschaulichen, wurden die Ergebnisse des WETTREG-Modells für die Zeiträume 1961-1990, 2021-2050 und 2071-2100 vergleichend für das Szenario A1B nebeneinander gestellt. Das Auswertungsprogramm **IDP** (Interaktives Diagnose- und Präsentationstool der Firma CEC Potsdam, entwickelt im Auftrag der Länder in Kooperation mit dem UBA, mit dem alle hier gezeigten Graphiken erzeugt wurden) lässt eine Vielzahl von unterschiedlichen Darstellungen zu. Im Sinne der Übersichtlichkeit wurde dabei die Auswahl auf den Vergleich der über sechs Monate gemittelten Höchsttemperaturen im kalendarischen

Sommerhalbjahr und der entsprechend gemittelten Niedrigsttemperaturen für das Winterhalbjahr beschränkt. Damit sind die halbjährlichen Extrema in den einzelnen Zeiträumen charakterisiert. Klimaexperten gehen allerdings schon heute davon aus, dass die Kriterien des Szenarios A1B weltweit nicht mehr erfüllt werden (s.o.). Als Folge müsste mit einer noch stärkeren Erwärmung und einer insgesamt extremeren Entwicklung gerechnet werden.

Abb. 56: Temperaturen Sommerhalbjahr

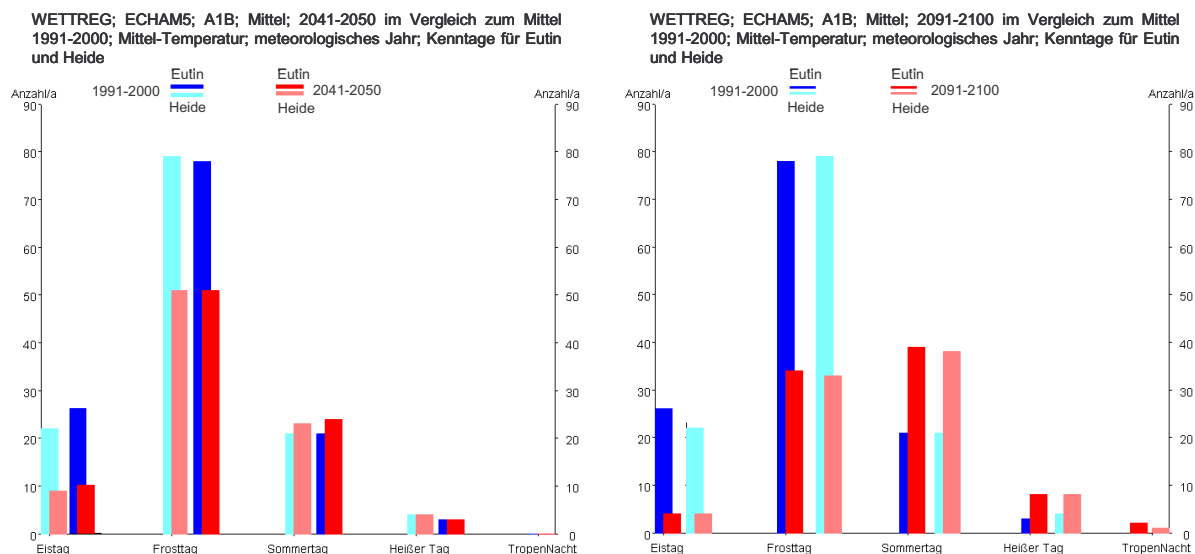
WETTREG ; ECHAM5; A1B; Mittel; 1961_1990; 2021_2050; 2071_2100; Maximum-Temperatur; kalendarisches Sommerhalbjahr



Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf den Daten des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG, das im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde.¹²⁰

Der Vergleich für das Sommerhalbjahr zeigt eine deutliche Tendenz zu höheren Temperaturen in ganz Schleswig-Holstein. Bis zum Jahr 2100 ist eine durchschnittliche Steigerung um bis zu 4°C nach diesem Szenario nicht ausgeschlossen. Damit steigt auch die Wahrscheinlichkeit für extreme Hitzetage. Am Beispiel einzelner Stationen lässt sich dies darstellen.

¹²⁰ Für regionale Informationen zu künftigen Klimaänderungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes im Auftrag des Umweltbundesamtes Klimaprojektionen für Deutschland bis zum Jahr 2100 unter Nutzung zweier verschiedener Modellansätze erstellt:
 – das dynamische Regionalmodell REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg
 – das statistische Modell WETTREG der Firma CEC Potsdam
 Für weitere Infos zum Modell WETTREG siehe
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf>

Abb. 57: Kenntage Mitteltemperatur, Vergleich Heide und Eutin

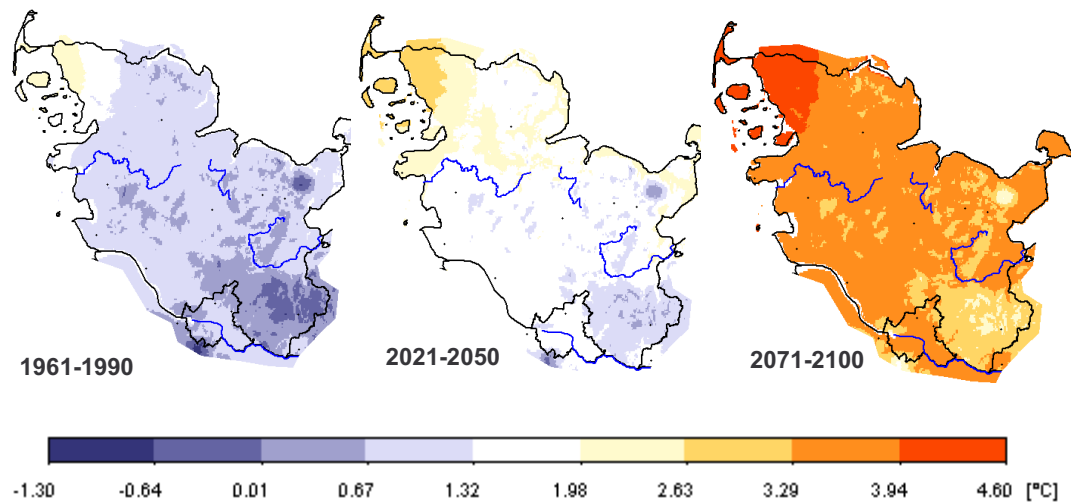
Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

Die Kenntage zeigen eine deutliche Abnahme der Eis- und Frosttage bis 2050 und eine stärkere Zunahme der Sommer- und heißen Tage sowie das bereits vereinzelt Auftreten von Tropennächten bis 2100 an den Stationen von Eutin und Heide. Folgende Definitionen liegen den einzelnen Kenntagen zu Grunde:

- Eistage: Die Temperatur steigt nicht über 0°C
- Frosttag: Die Temperatur fällt unter 0°C
- Sommertag: Die Temperatur steigt über 25 °C
- Heißer Tag: Die Temperatur steigt über 30 °C
- Tropennacht: Die Temperatur fällt nicht unter 20 °C

Abb. 58: Temperaturen Winterhalbjahr

WETTREG ; ECHAM5; A1B; Mittel; 1961_1990; 2021_2050; 2071_2100; Minimum-Temperatur; kalendarisches Winterhalbjahr



Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

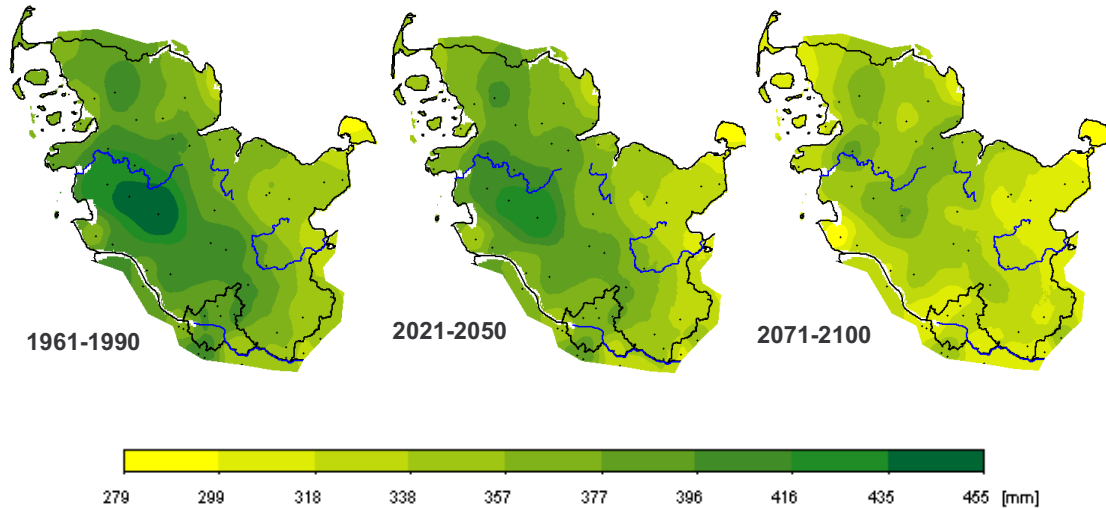
Die Projektionen der oben genannten Zeiträume für die niedrigsten durchschnittlichen Temperaturen im kalendarischen Winterhalbjahr deuten bereits darauf hin, dass die Temperaturen ab der übernächsten Dekade im dreißigjährigen Mittel wahrscheinlich kaum noch unter Null Grad Celsius fallen werden. Hierbei ist zu beachten, dass es sich hierbei um Mittelwerte handelt und es weiterhin, wie in den Beispielen zu Kenntagen dargestellt, zu Frost- und Eistagen kommen wird.

Niederschläge Sommerhalbjahr

Die Projektion von Niederschlagsmengen und deren Verteilung ist mit größeren Unsicherheiten behaftet als die der Durchschnittstemperaturen. Im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 2021-2050 bewegen sich die Veränderungen zwar fast ausschließlich im Rahmen der Modellgenauigkeiten (die mit etwa 10 Prozent angegeben werden), aber im Vergleich zum Zeitraum 2071-2100 ist eine Tendenz zu trockeneren Sommern erkennbar.

Abb. 59: Vergleich der Niederschlagsmittel, Sommerhalbjahr

WETTREG ; ECHAM5; A1B; Mittel; 1961_1990; 2021_2050; 2071_2100; Niederschlag; kalendarisches Sommerhalbjahr

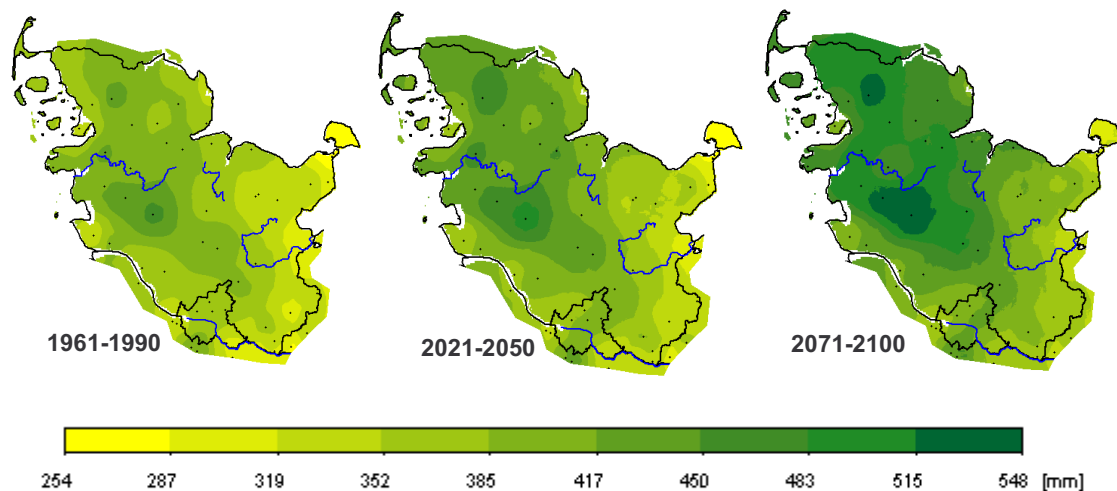


Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

Umgekehrt verhält es sich im kalendarischen Winterhalbjahr. Hier ist mit höheren Niederschlägen zum Ende des Jahrhunderts zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit für Starkregenereignisse wird steigen.

Abb. 60: Vergleich der Niederschlagsmittel, Winterhalbjahr

WETTREG ; ECHAM5; A1B; Mittel; 1961_1990; 2021_2050; 2071_2100; Niederschlag; kalendarisches Winterhalbjahr

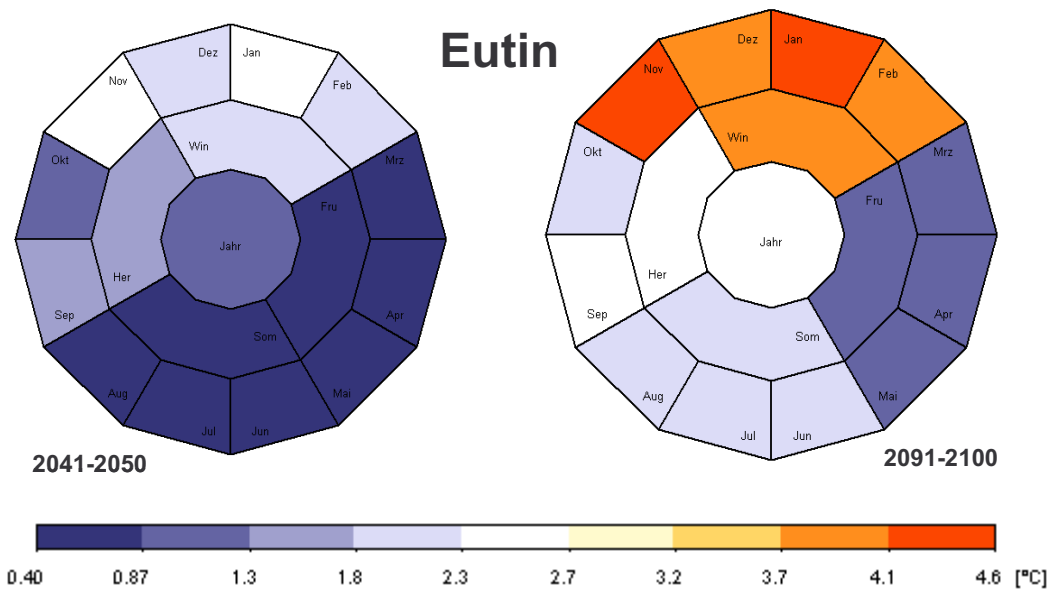


Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

Die simulierte zunehmende Erwärmung hätte auch Auswirkungen auf die Temperaturverteilungen in den einzelnen Jahreszeiten. Für Heide als ein Beispiel für eine westlich und Eutin für eine östlich gelegene Station sind die möglichen Abweichungen der Mitteltemperatur in einem Ringdiagramm dargestellt. Verglichen werden die Zeiträume 2041-2050 und 2091-2100. Im Zentrum wird die Jahresdurchschnittstemperatur, im mittleren Kreis die Durchschnittstemperaturen der vier Jahreszeiten und im äußeren Kreis die der einzelnen Monate über 10 Jahre projiziert. Demnach wären die größten Veränderungen im Spätherbst und im Winter zu erwarten, die zum Ende des Jahrhunderts immer milder würden.

Abb. 61: Vergleich der Jahresmitteltemperaturen, Eutin

WETTREG; ECHAM5; A1B; Mittel; 2041-2050 und 2091-2100 im Vergleich zum Mittel 1991-2000; Mittel-Temperatur; meteorologisches Jahr, Ringdiagramm

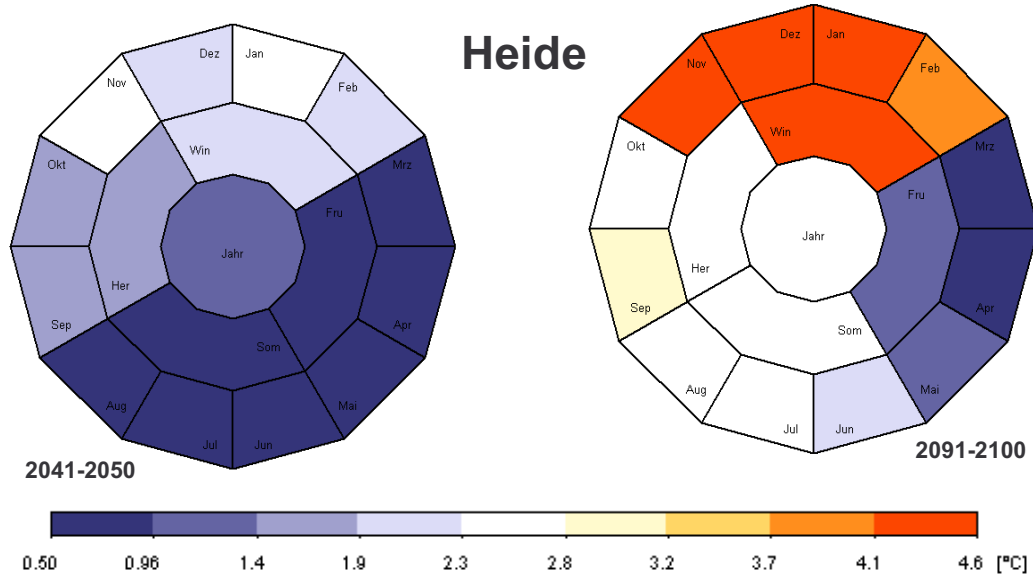


Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

Im westlichen Schleswig-Holstein könnte die Erwärmung im Herbst und Winter sogar noch etwas höher ausfallen als im östlichen Teil des Landes.

Abb. 62: Vergleich der Jahresmitteltemperaturen, Heide

WETTREG; ECHAM5; A1B; Mittel; 2041-2050 und 2091-2100 im Vergleich zum Mittel 1991-2000; Mittel-Temperatur; meteorologisches Jahr, Ringdiagramm



Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf dem Modell WETTREG

2. Umgang mit Unsicherheiten

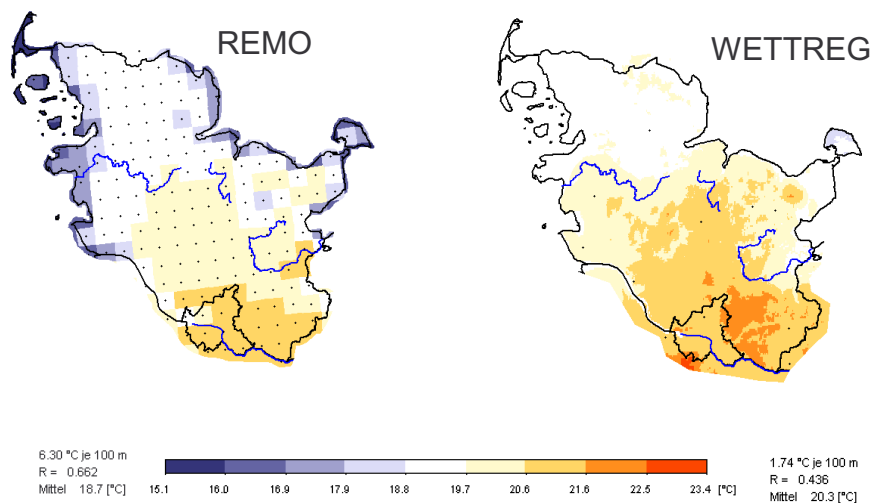
Das globale ebenso wie das regionale Klima entsteht aus einem komplexen Zusammenspiel von unterschiedlichen physikalischen und chemischen Faktoren. Diese Komplexität in Gänze in einem oder mehreren Modellen abzubilden, ist unmöglich. Hinzu kommt, dass noch längst nicht sämtliche klimatischen Vorgänge komplett verstanden sind. Des Weiteren können zum Beispiel Entwicklungen der weltweiten Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Aus diesem Grund hat der IPCC mehrere Szenarien für die zukünftigen globalen Treibhausgasemissionen definiert (siehe Abschnitt 1).

Für die Ableitung von Klimaprojektionen werden sowohl verschiedene globale (es gibt etwa zwei Dutzend) als auch deren Ergebnisse nutzende regionale Modelle verwendet. Es muss unterschieden werden zwischen a) der potenziellen Fehlerkette Globales Modell – Regionalmodell b) der Unsicherheit über die Emissionsentwicklung und c) der „normalen“ Schwankungsbreite des Klimas. Die Berechnungen weichen z. B. aufgrund der unterschiedlichen zu Grunde gelegten Formeln und Gitternetzgrößen in der Regel von einander ab. Um diese modellbedingten Unsicherheiten besser beurteilen zu können, werden Ergebnisse verschiedener Modelle betrachtet.

Wie erläutert, werden in Deutschland die vier Modelle WETTREG, REMO, CLM und STAR für regionale Klimaprojektionen herangezogen. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht, dass beispielsweise REMO und WETTREG durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können.

Abb. 63: Vergleich der Modelle REMO und WETTREG, Beispiel Sommerhalbjahr

ECHAM5; Mittel; A1B; 2071-2100; Maximum-Temperatur; kalendarisches Sommerhalbjahr



Quelle: Eigene graphische Darstellung basierend auf den Modellen WETTREG und REMO

Das Modell REMO zeigt im Mittel knapp 1,5 Grad niedrigere maximale Sommerhalbjahrestemperaturen als das Modell WETTREG an. Es ist allerdings gut zu erkennen, dass die räumliche Temperaturverteilung und -spanne eine ähnliche Tendenz aufweisen. Beide nutzen das gleiche Globalmodell ECCHAM 5, bekommen also den gleichen „globalen Input“.

B. Allgemeine Klimafolgen, Tendenzen, Zeithorizonte

Klimaänderungen beeinflussen Natur und Umwelt. Betrachtet man den Zeitraum der vergangenen dreißig Jahre, haben bereits sichtbare Veränderungen stattgefunden. Ein markantes Beispiel hierfür ist der Masseverlust bei der überwiegenden Zahl der Gletscher. Der Frühling beginnt in weiten Teilen Deutschlands früher, dokumentiert u.a. in phänologischen Untersuchungen, die auch speziell für S-H vorliegen. Mit den zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsänderungen werden weitere Klimafolgen spürbar werden.

Zu unterscheiden sind dabei Folgen, die aufgrund fortdauernder Veränderungen hervorgerufen werden, solche, die durch häufigere/gravierendere Extremereignisse und diejenigen, die durch verstärkte Klimaschwankungen bestimmt sind. Jede dieser Fol-

gen ruft spezifische Auswirkungen hervor. So führt eine dauerhafte Erwärmung übers Jahr dazu, dass sich Vegetationsperioden verschieben und verlängern. Dies hätte auf der einen Seite positive Folgen für eine bessere Ausnutzung in der Landwirtschaft und damit verbundene Ertragssteigerungen, birgt aber z. B. auch das Risiko von Schäden durch einzelne Spätfröste und könnte auch mit Wasserknappheit einhergehen, so dass wiederum eine Anpassung notwendig werden könnte. Im Fall von milderem Wintern könnten zum Beispiel Heizkosten gesenkt werden. Extremereignisse führen beispielsweise zu kurzfristigen Überflutungen oder Hagelschäden. Hitzetage erhöhen die Waldbrandgefahr oder beeinträchtigen die menschliche Gesundheit. Klimaschwankungen könnten im Fall von Dürren – besonders auf leichteren Böden – die Landwirtschaft und die kurzfristige Versorgung beeinträchtigen.

Der Klimawandel und die entsprechenden Folgen sind in Abhängigkeit von der Region unterschiedlich stark ausgeprägt. Der Alpenraum muss sich natürlich auf andere Folgen als der Küstenraum einstellen. Eine positive Folge des Klimawandels - höhere und verlässliche Sommertemperaturen in Verbindung mit weniger Niederschlägen - könnte in den nördlichen Küstenländern eine Stärkung des Tourismus sein.

C. Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft – Ableitung von Handlungsoptionen

Die Aufteilung der Handlungsfelder für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel orientiert sich im Folgenden an der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS). Für einzelne Bereiche werden soweit möglich spezifische Folgen für Schleswig-Holstein herausgearbeitet, beispielsweise für die Handlungsfelder b) Biologische Vielfalt, c) Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Meeresschutz, d) Boden, e) Landwirtschaft, f) Forstwirtschaft, m) Tourismuswirtschaft sowie p) Stand der Forschung und n) Querschnittsthemen: hier Regionalplanung. Bei den übrigen Handlungsfeldern sind zurzeit noch keine Schleswig-Holstein typischen Klimafolgen erkennbar, so dass hier weitestgehend auf die allgemeinen Folgen in der DAS verwiesen werden kann.

1. Menschliche Gesundheit

Eine überdurchschnittliche Betroffenheit der menschlichen Gesundheit im Vergleich zu den allgemeinen aus dem Klimawandel resultierenden höheren Risiken in ganz Deutschland ist in Schleswig-Holstein nicht zu erwarten. Ob sich bereits in den aufgeführten Zeiträumen bis 2100 zum Beispiel Erreger tragende Zecken im Norden flächendeckend verbreiten haben werden, kann noch nicht abgeschätzt werden. Das Risiko von Beeinträchtigungen der Badewasserqualität wie im letzten Spiegelstrich aufgeführt wird aber wahrscheinlich zunehmen.

Zu den möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit gehören:

Vektor-assoziierte Infektionskrankheiten

Die Vektor-assoziierten Infektionskrankheiten (durch Zecken oder Mücken übertra-

gene Erkrankungen) wie Dengue-Fieber o. ä. sind nicht von Mensch zu Mensch übertragbar und können sich daher nur dann in Deutschland ausbreiten, wenn die Vektoren - inklusive der Erreger, die sie tragen - hier adäquate Lebensbedingungen vorfinden.

Nicht übertragbare Krankheiten

- Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch extreme Hitze
- Allergische Erkrankungen durch die veränderte Verteilung und Qualität von Allergenen
- Atemwegserkrankungen durch vermehrte Schadstoffexposition
- Hautkrebsrisiko durch verstärkte Sonneneinstrahlung
- Psychosomatische Erkrankungen im Zusammenhang mit Extremereignissen (Dürre, Überschwemmungen, Stürme)
- Verringerung der Haltbarkeit von Lebensmitteln mit der Folge eines Anstiegs lebensmittelbedingter Erkrankungen
- Beeinträchtigung der Badewasserqualität durch Blaualgenblüte und Vermehrung von *Vibrio vulnificus*, wodurch das Auftreten von Infektionen durch *Vibrio vulnificus* begünstigt wird, relevant für Ostseewasser

2. Biologische Vielfalt

Die Zunahme unregelmäßig auftretender Trockenphasen wird sich als zusätzlicher Stressfaktor für dürreempfindliche Arten auswirken. Die Abnahme von Eis- und Frosttagen im Winter wird ebenso Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften (Biozönotosen) haben wie der Anstieg des Meeresspiegels für das Wattenmeer sowie die Ostseeküste und deren Bewohner.

Naturnahe Ökosysteme sind komplexe und vernetzte Systeme. Die an sie angepassten Arten sind nur in ausreichend großen Populationen und im Verbund stabil. Für eine kurzfristige Anpassung sind Faktoren wie Mobilität und Reproduktion entscheidend. Eine Verschiebung kompletter Biozönotosen ist dabei nicht möglich, aber Arealverschiebungen einzelner Arten sind schon heute zu beobachten sowie Veränderungen in der Phänologie von Pflanzen und dem Verhalten von Tieren. Schon geringfügige Klimaänderungen können dazu führen, dass notwendige Funktionsbeziehungen zwischen einzelnen Arten nicht mehr funktionieren (match-mismatch-Faktoren). Ein Beispiel hierfür ist der Kuckuck, der darauf angewiesen ist, zeitlich genau mit seinen Wirtsvögeln zu harmonieren. Diese könnten künftig früher am Brutplatz eintreffen und früher mit ihrer Brut beginnen. Der Kuckuck wird sich nur dann erfolgreich fortpflanzen, wenn er seine Ankunft und Eiablage entsprechend vorverlegen kann. Anpassungen erfolgen normalerweise in langen Zeiträumen. Der Klimawandel stellt die natürlichen Systeme und die daran angepassten Arten vor neue Herausforderungen. Dabei wird es Gewinner und Verlierer geben. Die Wirkungen von Klimaänderungen

auf die belebte Umwelt soll mittels eines Klima-Biomonitorings untersucht werden. Im Sinne eines Frühwarnsystems geht es darum, rechtzeitig auf besondere Empfindlichkeiten von Ökosystemen hinzuweisen und damit Anpassungsstrategien zu ermöglichen. Diesem Ansatz folgend werden in Schleswig-Holstein u.a. Datenbestände des Deutschen Wetterdienstes für phänologische Untersuchungen ausgewertet. Hierbei geht es um die Beobachtung von klimabedingten Verschiebungen der im Jahresverlauf wiederkehrenden biologischen Phasen (z.B. Obstblüte).

Abb. 64: Prognostizierte Arealverschiebung kommerziell genutzter Fischarten im Nordatlantik (z. T. schon stattfindend)



Quelle: WBGU 2006¹²¹

Zu den potenziellen Gewinnern werden gegenüber Umweltauswirkungen tolerante (euryöke) Arten gehören, weil sie mit ihrem breitangelegten Anpassungsspektrum am flexibelsten sind. Einige mediterrane Arten werden in den letzten Jahren bereits zunehmend in Schleswig-Holstein beobachtet. Gewinner werden auch Arten sein, die sich schnell ausbreiten und schnell und gut reproduzieren und somit anpassen können. Bei den Lebensräumen werden vor allem die Trockenflure profitieren.

¹²¹ Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006.html

Abb. 65: Feuerlibelle (mediterrane Art)

Foto: Christian Winkler

Potenzielle Verlierer werden stenöke, d.h. ökologisch sehr eng eingensichte Arten sein, für die der zu erwartende Trockenstress ein zusätzliches Risikopotenzial bedeutet. Aber vor allem sibirische/boreale Arten und solche mit ozeanischer Verbreitung werden zu den Verlierern gehören, da ihre Ausweichmöglichkeit nach Norden zunehmend begrenzt ist. Außerdem gehören Arten mit eingeschränkter Mobilität dazu und sich langsam reproduzierende Arten. Sie werden dem sich schnell wandelnden Klima ausgesetzt sein, ohne sich schnell genug anpassen zu können. Das gleiche Schicksal droht kleinen und isolierten Populationen. Feuchtökosysteme (z.B. Moorstandorte, Bruchwälder, Röhrichte) und Krähenbeerenheiden werden aufgrund zunehmender Trockenheit Probleme bekommen. Die Folge wird ein Austrocknen und in Folge die Mineralisation der oberen Bodenschichten sein. Die Senkenfunktion dieser Lebensräume ist dadurch nicht nur gefährdet, es folgt eine Umkehr in eine CO₂-Quelle. Es gilt also, großflächig den natürlichen Landschaftswasserhaushalt zu erhalten oder wieder einzustellen.

Abb. 66: Dosenmoor

Foto: Michael Muszeika

In der Vergangenheit wurde der Schwerpunkt der Naturschutzarbeit auf den Biotopverbund gelegt, um den Artenaustausch zu erleichtern. Künftig wird es – auch aus Klimaschutzgründen – vermehrt um den Schutz und die Stabilisierung möglichst großer Biotopkomplexe gehen.

In Schleswig-Holstein haben die Moore eine herausragende Rolle. Das MLUR hat deshalb ein Nieder- und Hochmoorschutzprogramm aufgelegt. Außer als CO₂-Senke haben Moore auch eine wichtige Funktion für zahlreiche daran angepasste Lebensgemeinschaften.

Der Klimawandel erfordert Anpassungsstrategien, um den verschiedensten Arten ein Überleben zu ermöglichen. Mit dem **Artenhilfsprogramm** wurde 2008 ein Instrument geschaffen, um diese Aufgabe, aber auch um dem fortschreitenden Verlust der Biodiversität entgegenzuwirken. Maßnahmen erfolgen bereits seit vielen Jahren. Seit 1995 entstanden im Rahmen der Neuanlage von Amphibiengewässern rd. 1.200 neue Laichgewässer. Für Anhang IV-Amphibienarten der FFH-Richtlinie wurden Ansiedlungs-/Stützungsprojekte durchgeführt: Der Rotbauchunke wurde in sieben Gebieten im Rahmen des EU-Projektes LIFE-BOMBINA geholfen. Die Kreuzkröte profitierte in vier Gebieten im Rahmen der Amphibieninitiative sowie des EU-Projektes BALTCOAST von den durchgeführten Maßnahmen oder wird noch zukünftig davon profitieren. Das gleiche gilt für die Wechselkröte in vier Gebieten. Der Laubfrosch wurde über die Amphibieninitiative in vier Gebieten gefördert und die Knoblauchkröte in einem Gebiet.

Über **Vertragsnaturschutz** mit wirtschaftenden Landwirten wird versucht, Bestands- und Artengrückgänge auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verhindern. Derzeit sind 15.300 ha unter Vertrag, davon allein 5.000 ha auf Eiderstedt.

Abb. 67: Biotopgestaltende Maßnahmen im Rahmen des Vertragsnaturschutzes 2000-2007

Kleingewässer		Wasseranstau	Sonstige Gewässer	Knicks, Hecken	Einzel-Bäume	Gehölzpflanzung	Abzäunung
Gesamt m ²	Wasser m ²	Wasser m ²	lfdm	lfdm	Stck.	m ²	m ²
382.612	246.951	166.648	451.633	29.242	1.656	149.239	1.085.398

Weiterer Handlungsbedarf:

Über den Austausch von Erkenntnissen und Erfahrungen (Norddeutsches Fachbündnis Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein) und Entwicklung gemeinsamer aufeinander abgestimmter Klimaschutz- und Anpassungsstrategien (z.B. Schutz von Moorlebensräumen) können wertvolle Synergieeffekte erzielt werden. Dabei gilt es, Erkenntnisse in praktisch anwendbare Maßnahmen umzusetzen. Landschaftswasserhaushalt, Biotopverbund bzw. Biotop-

komplexe und angepasste Landnutzung sind die wichtigsten Handlungsfelder, für die es Maßnahmen zu ergreifen gilt. Mit den norddeutschen Ländern gilt, es ein Konzept sowie Bioindikatoren für ein einheitliches Klimawandel-Monitoring abzustimmen. Ein länderübergreifendes Klimawandel-Monitoring könnte helfen, die Veränderungen, die auf die Natur zukommen, besser einzuschätzen und Vorkehrungen zu treffen. Ein Monitoring der Normallandschaft als Bezugs- bzw. Vergleichssystem wäre dabei sinnvoll.

Abb. 68: Beispiel für einen Biotopkomplex (Salemer Moor)



Foto: Dr. Dietrich König, Archiv LLUR

Nur über die Optimierung und Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes (z.B. Wiedervernässung von Feuchtgebietsökosystemen und Moorstandorten) können diese sensiblen Ökosysteme, zusammen mit ihrem Arteninventar, auch für die Zukunft stabilisiert werden.

Der Schutz und die Entwicklung großer, heterogener Schutzgebiete (incl. NATURA 2000) bietet ganzen Lebensgemeinschaften die Sicherheit, stabil zu bleiben und sich ggf. auch anpassen zu können. Hierzu gehört auch die Möglichkeit, bei Bedarf ausweichen zu können. Die Optimierung und Erweiterung des Biotopverbundsystems bzw. der Biotopkomplexe soll diese Möglichkeit bieten. Über die Wiederansiedlung von Arten als Unterstützungsmaßnahme soll in besonderen Ausnahmefällen gewährleistet werden, dass auch Arten, die derzeit gefährdet sind, eine Chance erhalten, geeignete Lebensräume wieder zu besiedeln.

3. Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Meeresschutz, Küstenschutz

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zeigen sich erst längerfristig. U.a. ist ein häufigeres Auftreten von Extremereignissen (z. B. Sturmfluten, Niederschläge, Hochwasser) zu erwarten. Durch den Klimawandel sind besondere Herausforderungen an das komplexe Zusammenspiel der Gewässernutzungen zu erwarten, aus der vielfältige, derzeit aber noch näher zu quantifizierenden Anpassungserfordernisse in der Wasserwirtschaft, dem Meeres-, Küsten- und Hochwasserschutz erwachsen.

Die Ökosysteme der Fließgewässer und Seen sind vor allem aufgrund menschlicher Eingriffe in die Gewässergestalt, Übernutzung, Verschmutzung usw. in ihrem Zustand beeinträchtigt. Der Schutz und die Wiederherstellung naturnaher Gewässer im Zuge der **Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)** sind aktuelle Handlungsmaxime und zugleich vorbeugende Maßnahmen gegen Folgen des Klimawandels. Die im Zuge der Umsetzung der WRRL vorgesehenen Maßnahmen werden dabei so ausgerichtet, dass ihre Wirkung auch unter veränderten klimatischen Bedingungen den erforderlichen Beitrag zur Erreichung des guten Potenzials bzw. des guten ökologischen Zustands leistet. Dadurch werden Regenerationspotenziale bei zunehmenden Extremereignissen gesichert. Naturraumtypische Fließgewässer und Seen haben ebenso wie renaturierte Niedermoore neben ihrer Funktion als Lebensraum eine kühlende Wirkung für die Landschaft.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf das **Grundwasser** in Schleswig-Holstein erscheinen nach den derzeitigen Prognosen gering. Die geringfügige Zunahme des Jahresniederschlags lässt insgesamt nur eine unwesentliche Zunahme des Grundwasserstandes erwarten. Durch die veränderte Niederschlagsverteilung im Jahreslauf können jedoch stärkere Schwankungen des Grundwasserstandes in oberflächennahen Grundwasserleitern auftreten. Eine erhöhte Grundwasserneubildung im Winter kann dabei ggf. durch einen erhöhten Wasserbedarf im Sommer ausgeglichen werden. Für die Trinkwasserversorgung, die in Schleswig-Holstein vollständig aus dem Grundwasser erfolgt, werden auch unter geänderten klimatischen Bedingungen keine grundsätzlichen Probleme erwartet. Ein Meeresspiegelanstieg kann im Grundwasser zu einer Verlagerung der Süß-Salzwassergrenze in das Landesinnere führen, so dass die Versalzungsgefahr bei küstennahen Grundwasserentnahmen und auf den Inseln steigt. Die Grundwassernutzung ist an diese Veränderungen anzupassen.

In der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel hat der Bund bereits auf die Bedeutung der Regionalkooperationen zum Schutz des Nordostatlantiks (OSPAR) und der Ostsee (HELCOM) sowie der Europäischen Meeresspolitik, einschließlich der Meeressstrategie-Rahmenrichtlinie, hingewiesen. Die diesbezüglichen Ausführungen treffen auch auf die Küstengewässer zu. Schleswig-Holstein ist an diesen Kooperationen und Politikbereichen aktiv beteiligt und vertritt in entsprechenden Gremien die Belange der Küstenländer.

Auch wenn die Emissionen, die zum Klimawandel führen, nicht aus den Meeren selbst stammen, so hat dieser doch weit reichende Folgen für die **Meeresumwelt**. Das betrifft insbesondere die folgenden, im Jahr 2007 vom IPCC benannten Klimaänderungen:

- Anstieg der Temperaturen,
- Veränderung der Niederschläge und damit auch lokal der Salzgehalte,
- Anstieg des Meeresspiegels über eine sehr lange Zeit,
- Versauerung der Meere,
- Aussterben oder Verdrängen vieler Pflanzen- und Tierarten,
- Zunahme der Spannbreite von Wetterextremen, z. B. Sturmereignissen.

Diese Prozesse haben erhebliche Auswirkungen auf die Küstengewässer. Denn die mit dem Klimawandel verbundenen Folgen stellen einen zusätzlichen Stressfaktor für diese Regionen dar.

In dem Ökosystem Wattenmeer und dem Nationalpark können sich beispielsweise die Artenzusammensetzung und Dominanzverhältnisse ändern:

- Der Anteil von Arten mit nördlicher und mit atlantischer Verbreitung wird abnehmen,
- Arten des mediterranen Floren- und Faunenkreises breiten sich aus,
- eng eingensichte, spezialisierte Arten werden potenziell benachteiligt,
- Generalisten werden potenziell profitieren,
- Arten mit einem hohen Ausbreitungspotenzial werden besser an Veränderungen angepasst sein als Arten, deren Ausbreitungsfähigkeit gering ist,
- neben natürlich einwandernden Arten könnten sich eingeschleppte Arten ausbreiten,
- Arten, deren Lebensräume derzeit noch begrenzt sind, könnten durch die klimatischen Veränderungen neue Standorte besiedeln. Dabei können einheimische Arten verdrängt werden,
- der steigende Meeresspiegel führt langfristig zu einem Verlust von Flachwasserhabitaten,
- zunehmende Sturmereignisse können künftig zu einer Reduzierung von Seegrassflächen, Muschel- und Austernbänken führen.

Zwar wird derzeit davon ausgegangen, dass sich das Wattenmeer an einen Meeresspiegelanstieg um etwa 25 cm pro 50 Jahre (nach dem bisher realistischsten Szenario) ohne wesentliche, über die bereits bestehenden dynamischen Prozesse hinausgehende Änderungen anpassen kann. Bei deren Überschreitung sind jedoch erhebliche Veränderungen der morphologischen und biologischen Parameter zu erwarten, insbesondere eine Verkleinerung der Wattflächen mit erheblichen ökologischen Folgen. Diese betrifft insbesondere eine Vielzahl von Arten, die diese Flächen als Rast,

Nahrungs- und/oder Aufzugsgebiete nutzen. Weiter verstärkt würde diese Entwicklung durch die künftig höhere Sturmhäufigkeit.

Wie gravierend diese Auswirkungen sein bzw. wie schnell sie eintreten werden, kann noch nicht sicher prognostiziert werden.

Es gibt jedoch bereits sichtbare Anzeichen für den Klimawandel im Wattenmeer, u.a.:

- bei Brutvögeln gibt es erste Anzeichen von Arealverschiebungen, ebenso erste Veränderungen der Artenzusammensetzung bei Brut- und Rastvögeln,
- bei Seehunden findet die Wurfzeit jährlich früher statt,
- bei Miesmuscheln bleiben größere Brutfälle aus, was mit dem Fehlen kalter Winter in Verbindung gebracht wird,
- von den bisher 52 bekannten eingeführten Arten (meist durch Schifffahrt und Aquakultur) haben sich bereits sechs Arten auf die Zusammensetzung der vorhandenen Biota ausgewirkt. Eines der offensichtlichsten Beispiele ist die Pazifischen Auster, die durch Temperaturerhöhungen begünstigt wird und sich daher in den letzten Jahren im Wattenmeer stark ausbreiten konnte.

Ähnliche Mechanismen gelten grundsätzlich auch für die Ostsee. Allerdings wird hier das dauerhafte Zuwandern vieler potenzieller neuer Arten durch starke Salzgradienten und verminderte Salzgehalte erschwert. Wenn es allerdings einer Art gelingt, so besteht die Gefahr einer massenhaften Ausbreitung. Das kann erhebliche Auswirkungen auf Fischbestände und damit das Ökosystem sowie die Fischereiwirtschaft haben. Hinzu kommt, dass die bisher in der artenarmen und jungen Ostsee vorhandenen Arten zumeist Kälte liebend sind und ihr Fortbestand daher durch den Klimawandel gefährdet ist.

Weiterer Handlungsbedarf

Neben der schnellstmöglichen und drastischen Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen muss die Stärkung der Widerstandsfähigkeit mariner Ökosysteme wesentliches Ziel künftiger Maßnahmen sein. Denn intakte Ökosysteme können sehr viel besser auf Umweltveränderungen reagieren und bis zu einem gewissen Grad sogar kompensieren als geschädigte Ökosysteme. Das trifft auch auf die Küstengewässer zu. Diese unterliegen bereits einem erheblichen Nutzungsdruck, dessen ökologische Auswirkungen durch den Klimawandel voraussichtlich verstärkt werden.

Um die Widerstandsfähigkeit dieser Ökosysteme zu verbessern, müssen daher insbesondere

1. ein ausreichendes und ökologisch kohärentes Netz aus marinen Schutzgebieten eingerichtet,
2. Maßnahmen zur Minimierung der Einschleppung invasiver Arten ergriffen sowie

3. der Wissensstand über ökologische Auswirkungen des Klimawandels durch geeignete Monitoringprogramme und Forschungsprojekte verbessert werden.

Schleswig-Holstein hat bereits 70 Prozent seiner Küstengewässer als Schutzgebiete ausgewiesen und ist damit führend – auch im internationalen Vergleich. Diese Gebiete sind Bestandteil des europäischen Natura 2000 Netzwerkes sowie der entsprechenden Schutzgebietsnetze der Meeresübereinkommen OSPAR und HELCOM. In den kommenden Jahren müssen Managementpläne erstellt und umgesetzt werden, damit künftig ein ausreichender Schutz der dort vorkommenden Arten und Lebensräume sichergestellt ist.

Es reicht jedoch nicht, wenn nur Deutschland weite Bereiche seiner marinen Gewässer unter Schutz stellt. Marine Ökosysteme sind durch grenzüberschreitende Austauschprozesse weiträumig miteinander verbunden. Um deren Widerstandsfähigkeit zu stärken, brauchen wir weltweit ausreichende Meeresschutzgebiete. Bisher ist jedoch erst ein Bruchteil der Ozeane unter Schutz gestellt.

Auch bei dem Management einwandernder Arten (Neozoen) besteht Handlungsbedarf. Solange die Erderwärmung anhält, können Einwanderungen dieser Arten zwar nicht ausgeschlossen werden. Allerdings müssen alle Maßnahmen ergriffen werden, um vermeidbare Einschleppungen in unsere Küstengewässer, z. B. durch Ballastwasser oder Aquakultur, zu verhindern. Dafür gibt es bereits geeignete Instrumente, wie das Ballastwasserübereinkommen der IMO und die Neuentwicklung von Ballastwasserbehandlungsanlagen. Der Bund sollte dieses Übereinkommen schnellstmöglich ratifizieren und auf einen routinemäßigen Einsatz entsprechender Behandlungsanlagen im Schiffsbetrieb hinwirken. Bis dahin sollte ein Ballastwasseraustausch in sensiblen Meeresgebieten wie der Nord- und Ostsee entweder gänzlich verboten oder wirksam reguliert werden.

Außerdem müssen die ökosystemaren Auswirkungen von Neobiota weiter erforscht und überwacht werden. In einem ersten Schritt hat das LLUR in Zusammenarbeit mit dem IFM-GEOMAR 2007 testweise ein „Invasoren-Frühwarnsystem“ für Hartbodenbesiedler für die Ostsee eingerichtet. Außerdem wird versucht, künftig die Beobachtungen von Sporttauchern auch für den Nachweis neuer Arten und für die Erfassung der Verbreitung bereits bekannter Invasoren zu nutzen. Weitere ökosystemare Forschungsprojekte, z. B. zur klimabedingten Ausbreitung von Neobiota und zu den Auswirkungen von Sturmereignissen auf benthische Organismen, sind erforderlich.

Schleswig-Holstein wird daher seine bisherige Mitarbeit auf nationaler und internationaler Ebene, insbesondere bei HELCOM und OSPAR sowie dem Umsetzungsprozess der EG-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, fortsetzen und hier dazu beitragen, dass die anthropogenen Belastungen der Meeresumwelt weitest möglich minimiert und damit die marinen Ökosysteme und ihre natürlichen Ressourcen für künftige Generationen erhalten bleiben.

Die Folgen des Klimawandels für den **Küstenschutz** sind ernst. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig erhöhten hydrologischen Belastungen ausgesetzt sein. Aus diesem Grund ist im Generalplan Küstenschutz 2001 ein „Klimazuschlag“ von 50 cm (Nordsee und Tideelbe) bzw. 30 cm (Ostsee) bei der Bemessung von zu verstärkenden Deichen als vorsorgende Maßnahme festgelegt worden. Regelmäßige Überprüfungen der Deichsicherheit (etwa alle 10 Jahre) garantieren eine flexible und zeitnahe Berücksichtigung derzeit noch vorhersehbarer künftiger Entwicklungen. Infolge des beschleunigten Meeresspiegelanstieges muss voraussichtlich in einigen Jahrzehnten mit verstärktem Küstenabbruch gerechnet werden – dann auch an Stellen, die heute stabil sind. Hinsichtlich dieser Herausforderung ist es wichtig, rechtzeitig Überlegungen über mögliche Anpassungsstrategien anzustellen.

Hochwasser ist als ein Teil des natürlichen Wasserkreislaufs Bestandteil unserer Umwelt und nicht vermeidbar. Die Extremniederschlagsereignisse der letzten Jahre, die zu Hochwasser führten, deuten darauf hin, dass diese in einer Klimaänderung begründet sein könnten. Daher war und ist die (Binnen-) Hochwasservorsorge, die auch den Umgang mit dem Hochwasserrisiko umfasst, eine wichtige Säule des Bundesgesetzes zum vorbeugenden Hochwasserschutz.

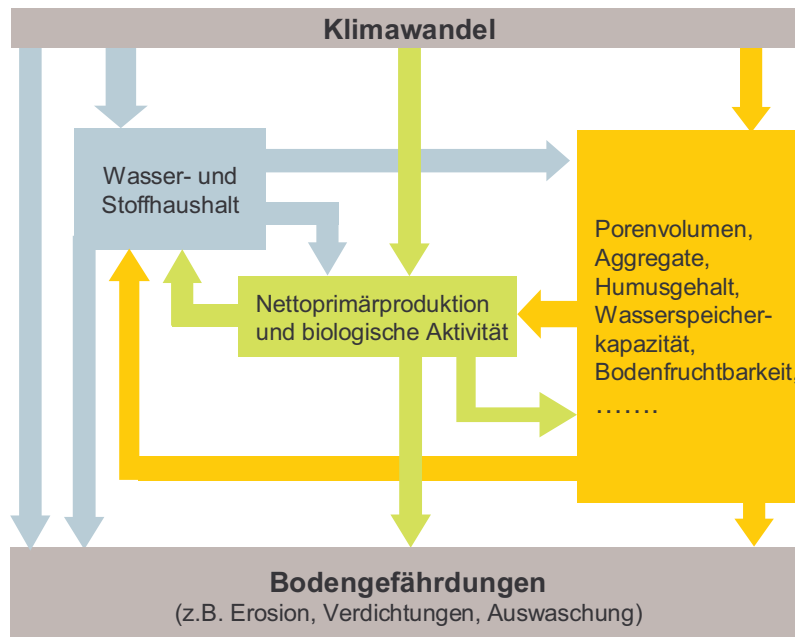
Über die bisherigen Vorgaben des Bundes hinaus, insbesondere dort Überschwemmungsgebiete festzusetzen, wo an Gewässern ein besonders hohes Risiko besteht, erfordert die EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) vom 26.11.2007 die integrative Umsetzung eines vorsorgenden Hochwasserrisikomanagements. Für die zur Umsetzung der WRRL gebildeten Flussgebietseinheiten sind einschließlich der Küstengebiete für die Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko Hochwasserrisikomanagementpläne zu erstellen, mit denen zukünftig hochwasserbedingte nachteilige Folgen für die Gesellschaft weitestgehend vermieden werden können.

4. Boden

Böden sind natürliche und nicht erneuerbare Ressourcen. Sie bilden als zentrale Bestandteile von Ökosystemen die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen. Böden besitzen wichtige natürliche Funktionen, wie z. B. Regelungs- und Filterfunktionen für die Wasser- und Nährstoffkreisläufe. Bodenschutz dient der Sicher- und Wiederherstellung der Funktionen im Zusammenspiel mit einer standortangepassten Nutzung. Die Folgen des Klimawandels und die darauf basierenden Anpassungsstrategien stellen auch für den Bodenschutz neue Herausforderungen dar.

Das Klima beeinflusst sowohl die Bodenentwicklung als auch die in Böden ablaufenden Prozesse und damit die Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen. Veränderungen der Temperaturen und Niederschläge, wie sie im Rahmen des Klimawandels prognostiziert werden, wirken sich auf den Wasser- und Nährstoffkreislauf, aber auch auf das Bodenleben und damit auch auf die Bodenfruchtbarkeit aus (siehe folgende Abbildung).

Abb. 69: Übersicht zu möglichen Wirkungen des Klimawandels auf Bodeneigenschaften und Bodengefährdungen

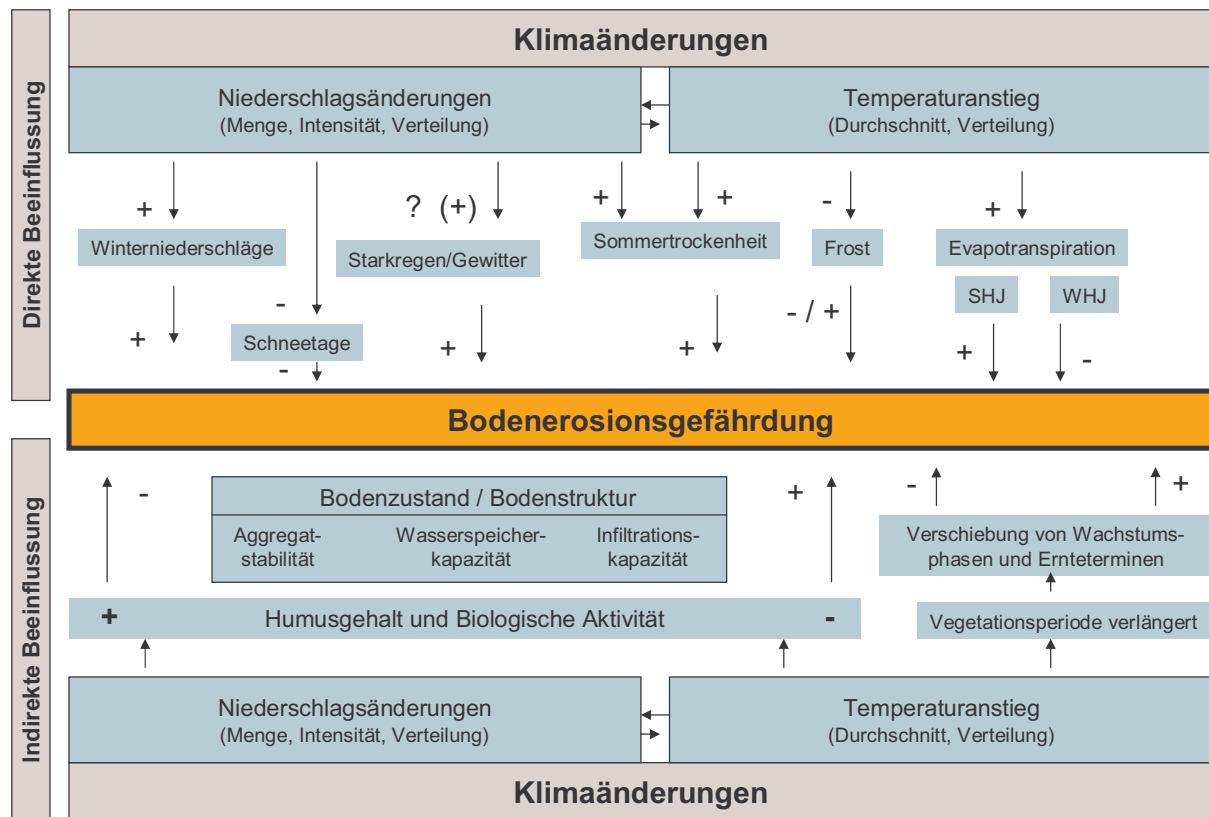


Quelle: BÖHM, 2008 ¹²²

Der Klimawandel und die damit einhergehenden Änderungen bei den Niederschlägen und Temperaturen führen zu direkten und indirekten Einflüssen auf die Böden. Anhand der folgenden Abbildung wird dies beispielhaft für die Bodenerosionsgefährdung verdeutlicht.

¹²² BÖHM, J. (2008): Potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Eigenschaften und Entwicklung der Böden in Schleswig-Holstein - Eine Abschätzung anhand von Prognosen des regionalen Klimamodells WETTREG. Diplomarbeit, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie an der Leibniz Universität Hannover.

Abb. 70: Mögliche direkte und indirekte Einflüsse des Klimawandels auf die Bodenerosionsgefährdung



Quelle: BÖHM, 2008

Viele Prozesse in Böden werden sehr langsam wirksam und sind nicht direkt sichtbar. Die Auswirkungen des Klimawandels im Medium Boden sind daher schwierig abzuschätzen und nicht schnell nachweisbar. Einmal stattgefundene Bodendegradationen lassen sich daher nur schwer umkehren. Böden haben ein langes Gedächtnis.

Unter Annahme eines Temperaturanstieges und der Änderung der Niederschläge (Winter: Erhöhung, Sommer: Erniedrigung) ist eine erste Abschätzung der Folgen für die Bodeneigenschaften und Gefährdungen nach den Naturhaupträumen Marsch, Geest und östliches Hügelland möglich (siehe folgende Abbildung). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Auswirkungen sich auch innerhalb eines Naturraumes unterscheiden und teilweise gegenläufig verlaufen können. So werden Nieder- und Hochmoore anders auf eine Änderung der Niederschläge reagieren als eine gut wasser-durchlässige Braunerde. Die Bedingungen für eine Humusakkumulation können sich unter den veränderten Bedingungen im Sommer verbessern, im Winter dagegen können sich die Bedingungen für eine Humusumsetzung verbessern. Die Bilanz ist im Ergebnis standortabhängig und aufgrund der Unschärfe der Einflussgrößen nicht belastbar zu prognostizieren (siehe folgende Abbildung).

Abb. 71: Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Böden in Schleswig-Holstein (unterteilt nach Naturräumen und Bodeneigenschaften bzw. Bodengefährdungen)

	Marschen			Geest			Östliches Hügelland		
	Stärke	Richtung		Stärke	Richtung		Stärke	Richtung	
		WHJ	SHJ		WHJ	SHJ		WHJ	SHJ
Bodenwassergehalte		+	-		+	-		+	-
Verdichtung		+	-		+	?		+	-
Erosion durch Wind		-	+		-	+		-	+
Erosion durch Wasser	nicht relevant				+	?		+	?
Stoffhaushalt		?	?		?	?		?	?
Ionenbesatz		?	?		?	?		?	?
pH-Wert		?	?		?	?		?	?
Nitratverlagerung		+	-		+	-		+	-
Humusgehalt		?	?		?	?		?	?
Biologische Aktivität		+	?		+	?		?	?
Nettoprimärproduktion		+	?		+	?		?	?
Bodengefüge		?	?		?	?		?	?

Stärke der möglichen Änderung voraussichtlich:

Hoch

mäßig

gering

Voraussichtliche Richtung der möglichen Änderung:

+

Zunahme

-

Abnahme

?

Zunahme und/oder Abnahme

Bei großer Unsicherheit über die möglichen Änderungen wird die "Stärke" häufig als "mäßig" und die Richtung als "?" angesetzt.

Quelle: BÖHM, 2008

Eine angepasste Bodennutzung und die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft sind grundsätzliche Voraussetzungen für einen nachhaltigen Bodenschutz ebenso wie für eine nachhaltige Landwirtschaft. Dies gilt insbesondere auch im Zusammenhang mit den Herausforderungen des Klimawandels.

Aus Sicht des Bodenschutzes müssen sich Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel besonders auf die Erhaltung bzw. Erhöhung des Humusgehaltes der Böden beziehen. Das wirkt einer verminderten Wasseraufnahme-, Speicher- und Filterfähigkeit entgegen und verringert die Erosions- und Verdichtungsgefährdung des

Bodens sowie die Hochwassergefahr. Dies kann bspw. durch Verzicht auf Umbruch von Grünlandstandorten und auf Entwässerung von Mooren bzw. deren Wiedervernässung erreicht werden. Auf grundwasserfernen Ackerböden sind vor allem veränderte Bewirtschaftungsweisen und angepasste Bodennutzungen zu etablieren. Beispielhaft sind ein standortgerechtes Humusmanagement durch angepasste Fruchtfolgen, Zufuhr an organischer Substanz, Minimalbodenbearbeitung und Mulchsaat zu nennen. Ein sinnvolles Humusmanagement beinhaltet darüber hinaus eine Erhöhung der Senkenfunktion für CO₂ und stellt damit nicht nur eine Anpassungsreaktion auf den Klimawandel dar, sondern ist zugleich aktiver Klimaschutz.

Weiterhin müssen zum Schutz der Böden vor Wasser- und Winderosion möglichst lange Phasen der Bodenbedeckung sichergestellt werden.

Daneben stellt der sparsame Umgang mit Flächen einen weiteren Baustein zum Klimaschutz dar. Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Innenraumverdichtung und Brachflächenrecycling dient u.a. auch dem Erhalt des Kohlenstoffspeichers Boden.

Das Bodenmonitoring, hier die Boden-Dauerbeobachtung, aber auch andere Monitoringsysteme mit Bezug zum Boden (BZE I und II, Level II) werden langfristig einen zentralen Beitrag zur Erfassung und Herausarbeitung von Trends der Bodenveränderungen auch in Folge des Klimawandels leisten. Voraussetzung dafür sind hinreichend lange Zeitreihen, die die Beiträge unterschiedlicher Einflussgrößen entsprechend qualitativ und quantitativ berücksichtigen und statistisch absicherbar sind. Dies ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gegeben. Die Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein umfasst einen Zeitraum von bislang zwanzig Jahren und dokumentiert auch die Schnittstellen zu anderen Umweltkompartimenten wie Luft und Wasser, Flora und Fauna.

Die wesentlichen Maßnahmen zum Schutz der Böden werden unmittelbar durch die Bereiche, die die Bodennutzung direkt steuern, umgesetzt. Dies betrifft in erster Linie die Land- und Forstwirtschaft, die Wasserwirtschaft, den Naturschutz und die Raumplanung (hier sind Querverweise möglich). Hier gilt es Synergieeffekte sowohl für den Klima- und Bodenschutz als auch für die anderen Schutzbereiche anzustreben und zu nutzen. Beispielhaft sei an dieser Stelle der Moorschutz (siehe auch Abschnitt b)) angeführt, der sowohl dem Erhalt und der Speicherung von CO₂ (Klima- und Bodenschutz) als auch dem Wasserhaushalt und dem Artenschutz dient. Ein weiteres Beispiel ist ein fachgerechtes, neuen Umweltbedingungen angepasstes Düngemanagement, das dem Klimaschutz ebenso wie dem Boden- und dem Gewässerschutz sowie der Luftreinhaltung dient. Dabei ist insbesondere auf die Umsetzungsbedingungen für organische Wirtschaftsdünger und die damit verbundene Freisetzung und Verlagerung von Stickstoff, Ammonium, Nitrat und Stickoxiden (z.B. Lachgas) wie auch Kohlendioxid und Methan zu achten.

5. Landwirtschaft

In der Landwirtschaft, einem der Hauptbetroffenen des Klimawandels, sind die Produktionssysteme je nach Nutzungsdauer unterschiedlich betroffen. Der Anbau einjähriger Kulturpflanzen (z.B. Weizen, Raps) erlaubt kurzfristige Anpassungsstrategien, beim Anbau mehr- bzw. langjähriger Kulturpflanzen (z.B. Obstgehölze, Baumschulpflanzen) und bei den Umstellungen von Tierhaltungsverfahren werden langfristige Strategien benötigt.

Für die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein sind eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur und die Verlängerung der Vegetationsperiode auch mit positiven Wirkungen verbunden. Beispielhaft kann der Anbau von Energie- und Eiweißpflanzen genannt werden, deren Ansprüche an das Klima hier gegenwärtig noch nicht hinreichend erfüllt werden, bei denen zukünftig aber ein Anbau mit guten Erträgen erwartet werden kann. Auch die im Frühjahr 2009 erfolgte Ausweisung von Weinbaugebieten in Schleswig-Holstein kann zum Beleg dafür werden, dass der bislang nicht effektiv mögliche Anbau von Pflanzenarten mit besonderen Ansprüchen an das Klima in Schleswig-Holstein eine Perspektive hat.

Durch die Klimaänderungen werden sich vor allem die pflanzenbaulichen Produktionssysteme verändern. Durch die Verschiebungen von Vegetationszonen wird sich die Anbauwürdigkeit von Kulturarten und Sorten verändern. Modifikationen bei der Ertragsbildung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen kommen zum Tragen, beispielsweise wird bei Getreide ein Anstieg der Erträge aufgrund höherer Temperaturen und höherer CO₂-Konzentration bei ausreichendem Wasserbedarf eventuell durch eine mit zunehmender Temperatur verkürzte Kornfüllungsphase wieder aufgehoben. Des Weiteren werden neue Krankheiten, Schädlinge und invasive Pflanzen auftreten. Es wird erwartet, dass z.B. schwer bekämpfbare Wurzelunkräuter und –ungräser (z.B. Ackerdistel, Quecke, Ampfer, Winden) zunehmen und Herbstkeimer (z.B. Ackerfuchsschwanz, Taubnessel, Stiefmütterchen) durch eine mildere Winterwitterung bevorzugt werden. Darüber hinaus wird prognostiziert, dass bei den tierischen Schaderregern Wärme liebende Insekten (z.B. Maiszünsler, Kartoffelkäfer, Blattläuse) zu- und Schädlinge (z.B. Schnecken), die auf längere Feuchtephasen angewiesen sind, abnehmen.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden mit Verschiebungen in den Artenspektren von Wildkräutern, Krankheitserregern und Schädlingen einhergehen.

Für den Obstbau wird in Folge des früher einsetzenden Blühtermins eine höhere Empfindlichkeit bei Spätfrösten prognostiziert, verbunden mit höheren Kosten für die Frostschutzberechnung. Darüber hinaus wird sich die Qualität der Ernteprodukte verändern, z.B. führt eine geringere Ausprägung der roten Deckfarbe durch schnelle Abreife bei Äpfeln unter augenblicklichen Vermarktungsbedingungen zu geringeren Produktpreisen.

Die Wirkungen extremer Witterungsereignisse (z.B. Hagel, Dürre, Starkregen und Sturm) dürften deutlich zunehmen. Daraus resultiert eine Zunahme der Ertragsvariabilität, es wird mithin ein höheres Ertragsrisiko geben. Die Extremereignisse führen zu einer Erschwernis bei der Anwendung und Bemessung von Betriebsmitteln (z.B. Dünge- und Pflanzenschutzmitteln), deren Wirksamkeit sich z.B. durch stärkeren Abbau infolge zunehmender UV-Strahlung deutlich verändern könnte. Der Klimawandel wird zu einer Zunahme des Trockenstresses, besonders auf sandigen Standorten mit geringem Wasserspeichervermögen führen, wodurch dort Wasser sparende Bodenbearbeitung und Bestandesführung immer wichtiger werden.

Auch die Leistungsfähigkeit der Nutztiere wird sich bei höheren Temperaturen ändern. Beim Bau von Stallanlagen sind besonders bei geschlossenen Lüftungssystemen in der Schweine- und Geflügelhaltung durch Einbau von Kühlvorrichtungen höhere Kosten zu erwarten. Daneben werden in der Tierhaltung neue Krankheitserregern auftreten. So hat sich das Ausbreitungsgebiet der Blauzungenkrankheit, deren Übertragung durch Vektoren (1 - 1,5 mm große Stechmücken, sog. Gnitzen) erfolgt und deren Ausbreitung und Aktivität temperaturabhängig ist, ständig nach Norden verschoben.

Zu den auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes möglichen Anpassungsreaktionen zählen für den Pflanzenbau vor allem:

- die Wahl neuer Kulturpflanzenarten bzw. Sorten;
- veränderte Fruchtfolgen;
- wasser und bodenschonende Bearbeitungsverfahren;
- Änderungen in den Aussaatverfahren (Termin, Saatstärke);
- Änderungen beim Einsatz betrieblicher Produktionsmittel (Düngung, Pflanzenschutz) sowie im Wassermanagement (Beregnung).

Darüber hinaus sind auch längerfristige Strukturanpassungen notwendig, im Bereich der pflanzlichen Produktion vor allem durch:

- Maßnahmen der Pflanzenzüchtung mit Verschiebung der Zuchtziele in Richtung „Stresstoleranz“ (Trockenheit, Wasserüberschuss, Hitze), Nährstoffeffizienz und CO₂-Ausnutzung;
- verstärkte Entwicklung von Prognose- und Steuerungsmodellen.

Es werden nachhaltige, praxisorientierte und ökonomisch vertretbare Anpassungsstrategien sowie neue Landnutzungstechniken benötigt.

Die möglichen Folgen des Klimawandels auf die **heimische Landwirtschaft** mit ihren jeweiligen regionaltypischen Besonderheiten sind bislang kaum untersucht worden. Auch werden die Klimawirkungen bislang zu einseitig mit den heutigen Produktionsverfahren verknüpft, da sich die landwirtschaftliche Produktionstechnik auch weiterhin deutlich verändern wird. Eine Schlüsselrolle kommt dabei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, dem sog. precision farming zu, d.h. der an wechsell-

den Standorteigenschaften angepassten zielgerichteten Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Dabei werden kleinräumige natürliche Standortheterogenitäten berücksichtigt, beispielsweise voneinander abweichende Bodenverhältnisse, Reliefausprägungen, Wasserspeicherfähigkeiten und Nährstoffvorräte, die bei einheitlicher Bewirtschaftung zu inhomogen aufgebauten Pflanzenbeständen und zu differenzierten Erträgen auf einem Schlag führen. Dadurch wird ein effizienter Einsatz von Produktionsmitteln (z.B. Dünge- und Pflanzenschutzmittel) ermöglicht, verbunden mit Kosteneinsparungen und Ressourcenschonung.

Auch die **wirtschaftlichen Absicherungen** (Risikoversicherungen) in der Landwirtschaft werden neu zu bewerten sein.

In der **Tierhaltung** sind Anpassungen in den Bereichen Zucht, Haltung und Fütterung, z.B. durch Einsatz anderer Futtermittel, möglich. Im Rinderbereich kam es durch die erhöhten Leistungen pro Einzeltier zu einer Verringerung der Tierbestände mit der Folge einer deutlichen Reduktion der THG.

6. Forstwirtschaft

Die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Wäldern und dem Klima machen längerfristige Vorhersagen über die Folgen des Klimawandels für die Forstwirtschaft in Schleswig-Holstein sehr schwierig. Ausmaß, Richtung und Geschwindigkeit des zukünftigen Klimawandels drohen jedoch die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu überfordern. Die Risiken bestehen zum einen in den z.T. erheblichen potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldstandorte, Baumarten und Waldgesellschaften, zum anderen in der Langwierigkeit bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Forstbereich. Die bisherigen Erkenntnisse lassen aus heutiger Sicht folgende vorläufige Schlüsse zu:

- Die Vegetationszeit wird sich verlängern, so dass der Wasserbedarf der Bäume zunimmt. Auf Standorten mit nur mäßiger Wasserversorgung und -verfügbarkeit steigt das Risiko von Trockenstress und damit eines sinkenden Ertragspotenzials der Wälder. Das höchste Trockenstressrisiko weisen die mäßig frischen bis mäßig sommertrockenen, die staunassen und wechsellrockenen Standorte auf.
- Langfristig sind Verschiebungen der Wachstumszonen, der Konkurrenzverhältnisse zwischen einzelnen Baumarten und damit der Baumartenzusammensetzung in den Wäldern möglich. Die potenziell natürliche Vegetation (pnV) wird als Orientierungsmaßstab für eine naturnahe Waldwirtschaft vielerorts ihre Gültigkeit verlieren. Dabei könnten die natürlichen Anpassungsraten der Wälder langfristig überschritten werden. Daher sollen zukünftig angepasste Baumarten und Herkünfte gezielt gefördert werden.
- Unter den Hauptbaumarten in Schleswig-Holstein ist die an kühlere und feuchtere Standorte angepasste, nicht heimische Fichte (Anteil: 20 Prozent) vom Klimawandel am stärksten betroffen, besonders in Reinbeständen. Die Buche (19 Prozent)

zeigt sich in den letzten Jahren in Deutschland z.T. ebenfalls anfällig, ist jedoch in Schleswig-Holstein bei ausreichender Wasserversorgung vermutlich anpassungsfähiger. Als weniger anfällig sind unter den hiesigen Verhältnissen Eiche (15 Prozent), Kiefer (9 Prozent) und Douglasie (1 Prozent) einzuschätzen.

- Krankheitserreger und Schädlinge (Insekten, Pilze) werden sich aufgrund ihrer schnelleren Generationsfolge und ihrer größeren Mobilität schneller anpassen als Baumarten, etwa durch Ausbildung mehrerer Generationszyklen im Jahr (z.B. Borkenkäfer).
- Zunahme der Waldbrandgefährdung (Häufigkeit, Dauer und Intensität), wenn auch nicht so stark wie in anderen Regionen Deutschlands.
- Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Stürmen und anderen Wetterextremen mit der Folge einer Erhöhung der Anfälligkeit standortfremder und/oder vorge-schädigter Waldbestände.

Weiterer Handlungsbedarf

Aufgrund der langen Produktionszeiträume der naturnahen Forstwirtschaft können Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel nur sehr langfristig greifen und beanspruchen viele Jahrzehnte. Umso wichtiger ist es, den Auswirkungen des Klimawandels frühzeitig durch eine Waldbaustrategie der Risikominimierung vorzubeugen. Grundsätzlich sind naturnahe, standortgemäße Mischbestände stabiler, vitaler und weniger anfällig als naturferne Reinbestände (Prinzip der Risikostreuung).

Mögliche Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind:

- **Waldumbau:** Vielfältige Wälder mit naturnaher Artenzusammensetzung und breiter genetischer Amplitude bieten die Voraussetzung für anpassungsfähige und stabile Wälder. Dabei können unter Umständen auch nicht heimische, aber standortgemäße Baumarten verwendet werden. Von besonderer Bedeutung ist der weitere Umbau der vorhandenen Fichtenbestände auf den nur mäßig wasserversorgten Standorten.
- Erhöhung der standortgemäßen **genetischen Vielfalt**, so dass auf Individualebene physiologische Prozesse modifiziert und auf Populationsebene Anpassungsprozesse ermöglicht werden.
- **Waldbewirtschaftung:** Eine am Zuwachs ausgerichtete nachhaltige Holznutzung trägt langfristig dazu bei, eine zunehmende Überalterung der Bestände sowie einen Rückgang des Biomassezuwachses und damit der Kohlenstoffaufnahme der Wälder zu verhindern.
- **Förderung des Bodenwasserhaushalts** durch Maßnahmen, die einer Verringerung des Wasserangebotes für die Wälder entgegenwirken, z.B. durch das Einstellen der Entwässerung von Waldflächen und die Wiedervernässung von Auewäldern.

- Durch **Erhöhung des Laubbaumanteils** in brandgefährdeten Nadelwäldern wird ein feuchteres Waldinnenklima geschaffen und das Waldbrandrisiko verringert.
- **Reduzierung zusätzlicher Stressfaktoren:** Verringerung der Stoffeinträge, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Minimierung der Bodenverdichtung, ggf. Bodenschutzkalkung).
- **Verbesserung des Risikomanagements:** Aufklärung und Schulung der Waldbesitzer.

Konkrete Arbeitsschritte bei der Anpassung der waldbaulichen Anpassungsstrategie für Schleswig-Holstein sind (Spellmann 2007):¹²³

- Quantifizierung von Wasserspeicherkapazitäten und Nährstoffangeboten;
- Identifikation von Grenzstandorten;
- Entwicklung dreidimensionaler Ökogramme für die Waldbauplanung;
- Festlegung der Anbaueignung bestimmter Baumarten und Herkünfte;
- Ableitung der Standort-Leistungsbezüge für bestimmte Baumarten;
- Überprüfung der Eignung von Verjüngungs-, Pflege- und Nutzungskonzepten;
- Prognose des daraus resultierenden Holzaufkommens;
- Abgrenzung standortabhängiger Waldschutzrisiken;
- Auswirkungen auf das Lebensraumangebot;

7. Fischerei

Die Fischbestände in Nord- und Ostsee unterliegen bedingt durch viele gleichzeitig auf die Bestände einwirkende Faktoren seit je her großen natürlichen Schwankungen. Dabei ist das Klima einer der bedeutendsten Einflussgrößen, neben Änderungen von Meeresströmungen, Interaktionen zwischen verschiedenen Beständen von Meereslebewesen, Fischerei, Habitatverlusten und Verschmutzungen. Da das Zusammenwirken einzelner Faktoren nur unzureichend bekannt und die zukünftige Entwicklung bei den meisten Faktoren kaum vorhersehbar ist, sind Prognosen über zukünftige Fischbestände extrem schwierig und ungenau. Nach augenblicklichem Kenntnisstand wird von folgenden Entwicklungen ausgegangen:

¹²³ Freibauer, A. et al. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. Natur und Landschaft, 84. Jahrgang, Heft 1: 20-26.
UBA (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Deutschland: Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Nr. 201 41 253.
Spellmann, H., Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (2007): Anpassungsstrategien an veränderte Klimabedingungen. Vortragsmanuskript auf der Mitgliederversammlung des Schleswig-Holsteinischen Waldbesitzerverbandes am 31.10.2007.

- Im Nordostatlantik beobachtet man gegenwärtig bei mehreren Arten, u.a. beim Kabeljau und der Scholle, eine Nordwärtsverschiebung der Bestandsschwerpunkte, z.B. Abnahme der Kabeljau-Bestände in der südlichen Nordsee
- In der Nordsee werden die zurückgehenden Miesmuschelbestände ebenfalls als eine Folge der wärmeren Winter gesehen.
- In der Ostsee scheinen die gegenwärtigen Bedingungen pelagische Arten zu bevorzugen, z.B. hat die Sprotte im Bestand stark zugenommen, während der östliche Dorschbestand seit seinem Bestandshoch Mitte der achtziger Jahre stark abgenommen hat.
- Der Klimawandel kann aber durchaus auch eine Chance für die Fischerei darstellen. So wandern in den letzten Jahren vermehrt südliche Arten in die Nordsee ein (z.B. die Rote Streifenbarbe), und andere, wie der Rote Knurrhahn und der Kaisergranat, zeigen Bestandsanstiege, was insgesamt von ökonomischem Interesse sein könnte.
- Mittel- und langfristig muss sich die Fischerei sicherlich auf ein geändertes Artenspektrum und größere Bestandsschwankungen einstellen. Die Forschung hat das Problem, dass ihre Bestandsprognosen durch den Faktor Klimawandel noch schwieriger werden und mit noch größeren Unsicherheiten behaftet sind.

Weiterer Handlungsbedarf:

Voraussetzungen für die Anpassung an große Änderungen in den Fangobjekten, Fangmengen und Absatzmöglichkeiten sind:

- eine flexibel einsetzbare Flotte, die kurzfristig auf Veränderungen reagieren kann.
- Initiierung von Anpassungsprozessen und Optimierungsstrategien der Fischerei an geänderte natürliche Rahmenbedingungen unter Berücksichtigung von Anforderungen aus der Gesellschaft.
- Flexibel gestaltete Rahmenbedingungen für die Fischereiwirtschaft.
- Bereitstellung verlässlicher, kurzfristig verfügbarer Informationen zur Etablierung eines erfolgreichen Bestandsmanagements.
- Intensivierung der Fischereiforschung.

8. Energiewirtschaft (Wandel, Transport und Versorgung)

Der Klimawandel kann sich tendenziell auch auf die Energiewirtschaft in Deutschland auswirken. Ein allgemeiner Temperaturanstieg senkt wahrscheinlich zum einen den Bedarf an Heizenergie, während zum anderen der Bedarf an Kühlenergie ansteigt. Extreme Wetterereignisse wie Stürme, Dürren und Hoch- und Niedrigwasser können den Betrieb von Anlagen und Einrichtungen zur Umwandlung von Energie sowie zum Energietransport und zur Energieversorgung beeinträchtigen.

Die Folgen könnten Angebotsverknappungen, Energiepreissteigerungen und Versorgungsstörungen sein. Mögliche Auswirkungen in der Energiewirtschaft ergeben sich vor allem für das Angebot und die Nachfrage an Elektrizität und Wärme, aber auch für die Bereiche Rohstoffversorgung, Elektrizitätsübertragung und -verteilung. Ein entscheidender Faktor für die Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken – wie Kohle-, Erdgas- und Kernkraftwerken – ist die ausreichende Verfügbarkeit von Kühlwasser. Daher können solche Kraftwerke in den Sommermonaten durch Niedrigwasser und höhere Wassertemperaturen des Flusswassers betroffen sein. Kraftwerke, die Kühlwasser aus dem Grundwasser (z. B. durch Sumpfungen) gewinnen, könnten in langen Trockenperioden von sinkenden Wasserständen betroffen sein. Unabhängig von Kühlwasser sind lediglich Kraftwerke mit Trockenkühlung, die jedoch einen etwas geringeren elektrischen Wirkungsgrad als baulich vergleichbare Anlagen mit Kühlwassereinsatz aufweisen. Energieversorgungsunternehmen könnten künftig häufiger gezwungen sein, die Leistung flusswassergekühlter Kraftwerke zu reduzieren, um den wasserrechtlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen zu entsprechen. Diese Problematik dürfte allerdings in Schleswig-Holstein zumindest bei den küstennahen Kraftwerken geringer ausfallen als in anderen Bundesgebieten.

9. Finanzwirtschaft

Insbesondere die Folgen des Klimawandels können die Finanzwirtschaft beeinflussen. Versicherungen werden zum Beispiel bei der Festlegung von Policen darauf achten, ob Gebäude in Hochwasser- oder Sturm gefährdeten Gebieten liegen. Dies könnte auch auf Standorte in Schleswig-Holstein zutreffen. Erhöhte Kosten könnten durch Klimawandel bedingte Ernteauffälle auf Wirtschaftsbeteiligte, Land und Gesellschaft zukommen.

Hitzeperioden oder extreme Hitzetage könnten die Krankenkassen, materielle Schäden durch Sturm, Hagel oder Hochwasserereignisse die Bevölkerung direkt oder indirekt durch höhere Versicherungsbeiträge höher belasten.

10. Bauwesen

Spezifische Auswirkungen durch den Klimawandel auf den Baubereich in Schleswig-Holstein wurden bislang nicht untersucht. Deshalb wird auf die nachfolgenden allgemein möglichen Folgen, die im Rahmen der DAS deutschlandweit abgeschätzt wurden, hingewiesen.

Klimafolgenforscher erwarten, dass sich der Klimawandel generell auch auf das Bauwesen auswirken könnte. Denn lang anhaltende Hitzewellen im Sommer, zunehmende Starkregen vor allem im Winter sowie stärkere Stürme könnten eine Gefahr für Gebäude, Bauwerke und die zugehörigen Infrastrukturen darstellen.

Die Auswirkungen des künftigen Klimawandels werden sich regional unterscheiden. Vor allem in dicht bebauten Siedlungsbereichen wird der Klimawandel überlagert von

Effekten des Stadtklimas. Je nach Urbanisierungsgrad ist das Klima in Städten im Verhältnis zum Umland eher geprägt durch geringere Sonnenscheindauer, höhere Temperaturen, geringere relative Luftfeuchte, größere Wolkenbedeckungsgrade, geringere mittlere Windgeschwindigkeiten sowie eine größere Böigkeit des Windes und zunehmende jährliche Niederschlagsmengen. Die Stadtklimaefekte mit Auswirkungen auf die Gesundheit könnten durch den Klimawandel zusätzlich verstärkt werden. In Schleswig-Holstein könnte die küstennahe Lage mehrerer Städte die Effekte entsprechend abmildern.

Weiterer Handlungsbedarf

Im Hinblick auf heute noch als extrem angesehene Witterungsereignisse besteht besonderer Anpassungsbedarf beim Bauen in Hanglagen, in Gebieten mit quellfähigen Böden (wie Tonböden) und Grundwassereinfluss sowie beim Bauen in hochwassergefährdeten Bereichen und in ehemaligen Bergbau-/Tagebaugebieten. Deshalb ist es notwendig, bestehende und bewährte Instrumente für die Bau- und Planungspraxis weiter zu entwickeln sowie, falls sich dies als erforderlich erweisen sollte, neue Instrumente zu schaffen. Normen im Bauwesen und Bemessungshilfen, die diesen Normen zugrunde liegen (z. B. Karten mit Schlagregenzonen), orientieren sich aktuell im Wesentlichen an Beobachtungsdaten der Vergangenheit. Daten über mögliche klimatische Entwicklungen in der Zukunft werden dagegen nicht berücksichtigt. Da Gebäude und Infrastrukturen häufig mehr als hundert Jahre genutzt werden, wäre dies jedoch künftig zu empfehlen. Bund und Länder sollten eine mögliche Anpassung von Grundsätzen und Normen auf Grund des Klimawandels und an zukünftige Bedingungen prüfen. Gleichzeitig sollten Möglichkeiten gefunden werden, wie die Umsetzung eines angepassten Bauens durch private und öffentliche Bauträger befördert werden kann.

Auch bei der Gebäudeplanung und der technischen Ausstattung sollten Anpassungen an klimatisch bedingte Veränderungen berücksichtigt werden. Im Winterhalbjahr wird künftig weiterhin Heizungsbedarf bestehen, auch wenn sich dieser Bedarf auf Grund steigender Temperaturen wahrscheinlich leicht verringern wird. Dagegen wird in der Gebäudeplanung und Gebäudetechnik eine stärkere Anpassung an höhere durchschnittliche Sommertemperaturen und zwischenzeitlich längere Hitzeperioden notwendig sein, insbesondere für Dachgeschosswohnungen. Sofern ein guter sommerlicher Wärmeschutz vorliegt, beispielsweise durch Einplanung von Verschattungselementen, geeigneter Wärmedämmung oder eine optimale Gebäudeausrichtung, werden Überwärmungsprobleme in Gebäuden weitgehend vermieden. Technische Anlagen zur Klimatisierung, vor allem im Wohnungsbau, sind so in der Regel nicht nötig. Diese Maßnahmen kombinieren Aspekte des Klimaschutzes und der Anpassung und ergänzen sich auf vorteilhafte Weise.

Kontrollierte Lüftungssysteme werden in Zukunft nicht nur den regelmäßigen Austausch verbrauchter Luft gegen frische Luft sicherstellen. Es besteht künftig wahrscheinlich auch der Bedarf, die Frischluft – vorzugsweise unter Nutzung erneuerba-

rer Energien – im Winterhalbjahr zu erwärmen und im Sommer bei Hitzeperioden herabkühlen zu können, so wie es in vielen Passivhäusern schon heute der Fall ist. Die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Baustoffen gegenüber extremen Witterungsereignissen muss vermutlich in Zukunft stärker bei Entscheidungen für oder gegen bestimmte Konstruktionen und Materialien berücksichtigt werden. Bei Neubauten kann bereits zukunftsorientiert geplant und mit neuen Materialien und Konstruktionen gebaut werden. Bei älteren Gebäuden ist das bei umfassenden Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen möglich. Historische Gebäude stellen dabei eine besondere Herausforderung dar. Da Extremereignisse aller Voraussicht nach häufiger werden, hat die erhaltende Bauvorsorge einen besonders hohen Stellenwert. Für Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen im Bereich Bauwesen bildet die Verfügbarkeit von Informationen z. B. über Monitoringsysteme und Leitfäden eine wesentliche Grundlage.

11. Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

Der Verkehrssektor wird von den möglichen Folgen des Klimawandels unmittelbar betroffen sein. Jede Extremwetterlage kann den Verkehr auf Straße, Schiene, Wasserstraße und in der Luft behindern, mit den entsprechenden Folgen für die gesamte Wirtschaft. Die Straße ist für den Landverkehr nach wie vor der wichtigste Verkehrsträger. Die Seeschifffahrt mit ihren Hinterlandanbindungen ist dies für den Außenhandel. Es folgt die Schiene mit wachsenden Volumen vor allem im Ganzzugverkehr. Die Binnenschifffahrt hat noch immer einen eher geringen Anteil am Güterverkehrsaufkommen.

Die Landesregierung wird in Anlehnung an die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ des Bundes prüfen, ob und ggfs. inwieweit Maßnahmen zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur des Landes an den Klimawandel zu treffen sind.

12. Industrie und Gewerbe

Die Folgen für Industrie und Gewerbe ergeben sich im Wesentlichen aus dem schon zuvor Beschriebenen, insbesondere in den Handlungsfeldern Bauwesen, Finanzwirtschaft, Verkehr und Infrastruktur, Energiewirtschaft und Menschliche Gesundheit. Gerade aber kleinere und flexible Unternehmen und Freiberufler könnten auch vom Klimawandel profitieren. Beispiele hierfür wären Planungsbüros, Architekten, Landschaftsplaner und Gartenbaubetriebe, die neue Betätigungsfelder erschließen könnten.

13. Tourismuswirtschaft

Das Thema Klimawandel und Tourismus findet in der Forschung auf der ganzen Welt eine immer stärkere Beachtung, in Europa vor allem in Großbritannien, Österreich und in der Schweiz. Eine der Hauptinformationsquellen ist der vierte Weltklimabericht

der UNO (IPCC, 2007). Allerdings fehlen hier detaillierte Aussagen zu den deutschen Feriengebieten.

Die Forschung im Bereich Klimawandel und Tourismus steht in Deutschland noch am Anfang. Ende 2006 wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zwei Projekte genehmigt: Für die Auswirkungen auf den Tourismus in Schleswig-Holstein ist das Projekt „KUNTIKUM“ (Institut für Umweltkommunikation der Leuphana Universität, Lüneburg) interessant. Die Abkürzung steht für „Klimatrends und nachhaltige Tourismusedwicklung in Küsten- und Mittelgebirgsregionen“ (Modellregionen: Nordseeküste und Hochschwarzwald). Neben den zu erwartenden Aussagen zur Auswirkung des Klimawandels auf den Tourismus in Schleswig-Holstein soll das Projekt „KUNTIKUM“ auch eine Kommunikationsplattform zum Thema Klimawandel und Tourismus schaffen.

Bei den Urlaubsgästen ist das Wetter eines der wichtigsten Entscheidungskriterien für eine Urlaubsregion. Deutsche Küstengebiete haben eher ein schlechtes Wetterimage. Die augenblickliche Diskussion um den Klimawandel und den Klimaschutz beeinflusst schon jetzt das Reiseverhalten. Eine Bevölkerungsrepräsentative Befragung im April 2007 führte unter anderem zu dem Ergebnis, dass schon jetzt und in Zukunft verstärkt eher eine lange Reise statt mehrere kurze Reisen geplant werden, eher Ziele in der Nähe gewählt und insgesamt weniger Reisen durchgeführt werden. Übertragen auf den Inlands-Küstentourismus wird sich der drohende Klimawandel fördernd auf Inlandsreisen, die Saisonverlängerung und den Strandurlaub (Baden im Meer) auswirken.

Weiterer Handlungsbedarf

Aufgrund der vorliegenden verwertbaren Veröffentlichungen lässt sich folgendes vorsichtiges Zwischenfazit ziehen:

- Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Küstentourismus sind nach wie vor ungewiss.
- Insgesamt zeichnet sich aber für den inländischen Küstentourismus ein eher positives Bild ab.
- Aus den Erkenntnissen des Forschungsprojektes „KUNTIKUM“ (Abschluss: Herbst 2009; Pilotregionen sind: St. Peter-Ording und Rantum/Sylt) sollten Vermeidungs- und Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Tourismusedwicklung für die Küstenregionen Schleswig-Holsteins entwickelt werden. Auf jeden Fall ist über einen ausreichenden Küstenschutz sicherzustellen, dass die touristische Infrastruktur nicht gravierend geschädigt wird. Vor allem die touristisch bedeutsamen Küstenurlaubsorte müssen dafür sorgen, dass die Strände erhalten werden.
- Der Klimawandel wird wahrscheinlich in Zukunft ein wichtiger Umfeldfaktor für die touristische Entwicklung in den inländischen Küstenregionen sein. Dennoch sollte beachtet werden, dass dies nur ein Faktor neben anderen wichtigen Einflussgrö-

ßen, wie die wirtschaftliche Entwicklung, Technologie, Krisen/Terror, demografischer Wandel, ist.“

14. Querschnittsthemen: Raum-, Regional- und Bauleitplanung, Bevölkerungs- und Katastrophenschutz

Raum-, Regional- und Bauleitplanung

Die Raum-, Regional- und Bauleitplanung stehen am Anfang der Risikovermeidungskette, da sie räumliche Vorsorgekonzepte entwickeln, die Planungsdokumente grundsätzlich langfristig ausgerichtet sind und rechtliche Verbindlichkeit besitzen und bis zur praktischen Umsetzung der Planinhalte teilweise lange Vorlaufzeiten entstehen. Der räumlichen Planung kommt dabei die wichtige Aufgabe zu, verschiedene Ansprüche an den Raum in Einklang zu bringen. Räumliche Planung kann mit den bereits bestehenden rechtlichen und planerischen Instrumenten sowohl den Klimaschutz als auch die Anpassung an den Klimawandel unterstützen.

Möglicherweise häufiger auftretende Naturgefahren können dazu führen, dass natürliche Ressourcen nur noch eingeschränkt genutzt werden können. Gleichzeitig kann sich der Nutzungsdruck verstärken, da Anpassungsmaßnahmen oft ebenfalls Raum beanspruchen.

Die Raumplanung kann mit der Entwicklung von Leitbildern für anpassungsfähige Raumstrukturen eine Vorreiterrolle übernehmen, um gegenüber den Auswirkungen der gesellschaftlichen Veränderungsprozesse auf die Raumstruktur flexibel reagieren zu können.

Die Anpassungsstrategien, die im Landesentwicklungsplan (LEP) angelegt sind, betreffen vor allem den Küstenbereich. Hier legt der LEP zum einen fest, dass im Rahmen eines Integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) regionale Entwicklungsstrategien entwickelt werden sollen, um die Potenziale der Küstenzone von Nord- und Ostsee nachhaltig zu nutzen und um Nutzungskonflikte zu vermeiden oder zu minimieren. Dabei sind die sich ändernden Randbedingungen zu beachten - hier ist vor allem der Klimawandel ein entscheidender Faktor - und die unterschiedlichen Raumnutzungsansprüche untereinander abzustimmen (Abstimmungsgebot).

Zum anderen legt der LEP einen Vorrang notwendiger Küstenschutzeinrichtungen in der Abwägung mit anderen Belangen fest. Darüber hinaus sollen Siedlungen, die in hochwassergefährdeten Bereichen liegen, nur bei ausreichend vorhandenen Schutzvorkehrungen weiterentwickelt werden. Ob hier weitergehende Regelungen zur Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels, insbesondere der steigende Meeresspiegel und die erhöhte Sturmhäufigkeit, zum Beispiel bei der Ausweitung touristischer Infrastruktur erforderlich sind, wird noch geprüft.

Des Weiteren sind im LEP durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den Binnenhochwasserschutz Regelungen mit dem Ziel enthalten, vorhande-

ne Überschwemmungsbereiche zu sichern und zurück zu gewinnen, zur Risikovor-
sorge in potenziell überflutungsgefährdeten Bereichen beizutragen und auf den
Rückhalt des Wassers in der Fläche von Flusseinzugsgebieten hinzuwirken.

Bevölkerungs- und Katastrophenschutz

Erst in jüngster Zeit hat sich der Bevölkerungsschutz mit dem Thema Klimawandel
auseinandergesetzt, so dass die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die-
sen Bereich noch relativ wenig untersucht sind. Der Bevölkerungsschutz ist grund-
sätzlich bereits heute auf die Bewältigung von Extremereignissen und Großscha-
denslagen eingestellt. Wenn zukünftig häufigere und heftigere wetter- und klimaindu-
zierte Katastrophenfälle eintreten, können neue Herausforderungen für den staatlich
verantworteten Bevölkerungsschutz entstehen, die seine materiellen Ressourcen,
das Krisen- und Notfallmanagement sowie die Planung des operativen Einsatzes
betreffen. Gleichzeitig wirken sich diese Herausforderungen auf den Selbstschutz
und die Selbsthilfemaßnahmen von Bürgerinnen und Bürgern aus. Im Mittelpunkt der
Aufmerksamkeit stehen die künftige Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen,
wie Stürme und Hochwasser, die Menschenleben bedrohen und hohe Schadens-
summen verursachen.

Für die eventuell notwendige Weiterentwicklung des Bevölkerungsschutzes sind in
erster Linie Kenntnisse über die künftige Entwicklung der Auftretenshäufigkeit von
Extremereignissen, wie etwa Stürme und Starkregen, wichtig. Jenseits der Weiter-
entwicklung von Einsatztaktik und Einsatztechnik ist die Risikokommunikation mit
allen Betroffenen wie Unternehmen, Verbänden, Bürgerinnen und Bürgern von Be-
deutung.

15. Auswirkungen auf Naturräume und Beispiele integraler Ansätze auf überregionaler, regionaler und lokaler Ebene

Integriertes Küstenzonenmanagement

Ein länderübergreifendes Vorgehen zum Ausgleich von Nutzungsansprüchen ist das
Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM). IKZM ist ein freiwilliges und unbürokrati-
sches Instrument, mit dem der Schutz und die Entwicklung natürlicher Ressourcen
und naturnaher Flächen mit wirtschaftlichen und sozialen Ansprüchen besser in Ein-
klang gebracht werden sollen. Grundlage hierfür ist die Nationale Strategie zum In-
tegrierten Küstenzonenmanagement, die unter der Federführung des Bundesum-
weltministeriums im März 2006 beschlossen wurde. IKZM soll alle Planungs- und
Entscheidungsbereiche durchdringen und geht über reines Management hinaus –
wichtig ist die strategische Komponente, die sich mit unterschiedlichen Vorstellungen
der zukünftigen Entwicklung und Visionen für Küsten- und Meeresgebiete befasst.
IKZM bedient sich dabei der Raumordnung als zentrales Werkzeug. Eine ökologisch
und wirtschaftlich verträgliche Entwicklung von Küstengebieten ist nur dann möglich,
wenn die sich ändernden Randbedingungen beachtet werden – und hier ist vor allem

der Klimawandel ein entscheidender Faktor. Die Bundesregierung hat aktuell Forschungsvorhaben aufgelegt, die z. B. Strategien, Instrumente und Maßnahmen für eine umweltschonende und effiziente Flächennutzung im deutschen Küstenraum entwickeln, kooperative Lernprojekte erproben (Michael-Otto-Stiftung) sowie den Dialog- und Entscheidungsprozess aller Beteiligten bei der Einrichtung einer IKZM-Koordinierungsstelle unterstützen.

16. Stand der Forschung zur Anpassung an den Klimawandel

Mehrere schleswig-holsteinische außeruniversitäre Forschungseinrichtungen betreiben intensive und erfolgreiche Klimaforschung. Hierzu zählen in erster Linie das GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, das Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) in Kiel, das Institut für Weltwirtschaft sowie das neu gegründete virtuelle Earth-Institute Kiel.

Die Aktivitäten der GKSS in der Küstenforschung führten 2007 zu einer maßgeblichen Beteiligung am Hamburger Exzellenzcluster CLISAP - Integrated Climate System Analysis and Prediction. Dort sollen die künftigen Klima- und Umweltveränderungen mithilfe der Analyse aktueller und vergangener Zustandsänderungen des Klimasystems als Reaktion auf natürliche und vom Menschen verursachte Störungen bestimmt, verbesserte Umweltdatenbanken und Klimamodelle die Untersuchungen von Klimaauswirkungen auf Nordeuropa präzisieren und die Auswirkungen von Veränderungen in Zukunft unter anderem in Hinblick auf drängende Fragen wie Wasser-Ressourcen, Meeresspiegelanstieg, Sturmrisiken oder Städteplanung exakter vorhergesagt werden.

Für eine zuverlässige Unterstützung für lokale, regionale und nationale Entscheidungsträger wurde ab 2007 am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht das Norddeutsche Klimabüro aufgebaut. Der Schwerpunkt der Arbeiten des Norddeutschen Klimabüros in der Zusammenarbeit mit Einrichtungen und Privatpersonen ist regional auf Norddeutschland begrenzt. Als Ansprechstelle für alle das Klima betreffenden Fragen aus der Öffentlichkeit, Wirtschaft oder Politik wie auch der Wissenschaft beabsichtigt der Bund 2009 am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht ein Climate Service Center einzurichten, das mit wissenschaftlicher Kompetenz zu allen Fragen aufgrund vorliegender Erkenntnisse Daten, Unterlagen und Fakten liefern kann.

Ein wesentlicher Teil der Forschung am IFM-GEOMAR betrifft physikalische, chemische, biologische und geologische Prozesse im Klimasystem. Die wichtigsten Forschungsthemen sind:

- die großskalige ozeanische Zirkulation und deren Rolle im Klimasystem,
- klimarelevante Prozesse und Fluktuationen im Ozean,
- die Untersuchung langzeitlicher, natürlicher Klimaschwankungen in der Klimageschichte

- die Struktur und Funktion des marinen Kohlenstoffkreislaufs, insbesondere die Quellen und Senken für atmosphärisches Kohlendioxid,
- die ozeanische Produktion klimarelevanter Spurengase (z.B. Lachgas, Methan, natürliche Halogenkohlenwasserstoffe),
- die Struktur und Funktion pelagischer Ökosysteme unter dem Einfluss des Klimawandels,
- die Abschätzung von Flussraten klimarelevanter vulkanischer Gase zur Erdoberfläche und weiter in die Atmosphäre,
- die Entwicklung von Ozeanzirkulationsmodellen und gekoppelten Modellen für Atmosphäre, Meereis und Ozean,
- die Entwicklung von gekoppelten physikalisch-biogeochemischen Modellen,
- Entwicklung von Ozeanbeobachtungssystemen und Technologien

Bei den Forschungsaktivitäten kommen interdisziplinäre Beobachtungsverfahren, Datenassimilationsmethoden, Fernerkundungsverfahren und numerische Simulationen zum Einsatz. Hauptarbeitsgebiete sind der Atlantische und der Pazifische Ozean, aber auch Nord- und Ostsee. Unterstützt werden diese Aktivitäten auch wesentlich durch den Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“, die Sonderforschungsbereiche SFB 574 (Volatile und Fluide in Subduktionszonen) und SFB 754 (Biogeochemische Wechselwirkungen im Tropischen Ozean) der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie durch Projekte des BMBF und der EU. Diese Untersuchungen stellen einen bedeutenden Anteil in verschiedenen Projekten im Weltklimaforschungsprogramm und im International Geosphere-Biosphere Programme dar, so z. B. im Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Projekt, in der Climate and Cryosphere (CliC) Study, im Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) und in der Surface Ocean-Lower Atmosphere Study (SOLAS). Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IFM-GEOMAR haben entscheidende Beiträge bei der Einrichtung dieser Projekte geleistet und sind gegenwärtig in mehreren wissenschaftlichen Steuerungsgremien beteiligt.

Auf der Grundlage der Beteiligung des Instituts für Weltwirtschaft am Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ der Universität Kiel und des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften IFM befasst sich das IfW vermehrt mit den ökonomischen Fragestellungen der Auswirkungen des Klimawandels. Dies hat Ende 2007 dazu geführt, dass das IfW und das IFM gemeinsam das virtuelle Earth-Institute Kiel gründeten. Dort werden die naturwissenschaftlichen wie die wirtschaftswissenschaftlichen Daten und Fragestellungen in interdisziplinärer Forschung genutzt, um Fragestellungen des Klimawandels und deren Folgen zu bearbeiten. Die Forschung soll auf der Schnittstelle zwischen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Daten und der wirtschaftswissenschaftlichen Bewertung stattfinden.