

1.1 Kurzdarstellung

Dass das globale Klima sich unter dem Einfluss menschlicher Aktivitäten ändert, ist seit dem letzten Sachstandbericht des UN-Klimarats IPCC aus dem Jahre 2007 hinlänglich dokumentiert. Die Hauptrolle hier spielt die Freisetzung von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen. In den letzten hundert Jahren ist die globale gemittelte Lufttemperatur um etwa 0,75 °C, der globale Meeresspiegel um circa 2 Dezimeter gestiegen. Gerade die Temperaturänderungen sind – im Rahmen statistischer Ungenauigkeiten – stärker, als aufgrund natürlicher Schwankungen zu erwarten ist, und die einzige robuste Erklärung für den größten Teil dieses Anstiegs ist die Wirkung der Treibhausgase. Für die nächsten Jahrzehnte bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird ein weiterer Anstieg von Temperaturen, Meeresspiegel und die Veränderung anderer Wettereigenschaften erwartet – in Abhängigkeit davon, wie viel Treibhausgase wann freigesetzt werden. Obwohl auch hier immer noch deutliche Wissensdefizite herrschen (etwa im Hinblick auf den Meeresspiegel), sind die Aussagen im Hinblick auf das globale Geschehen recht klar.

Für das regionale und lokale Klima ist die Situation erheblich ungewisser. Während es viele wissenschaftliche Arbeiten gibt, die sich mit methodischen Zugängen zur Bestimmung und zum Umgang mit dem re-

gionalen und lokalen Klimawandel befassen, ist das wissenschaftlich untermauerte Wissen in Bezug auf spezifische Regionen und Gebiete häufig gering. Das gilt auch für die Metropolregion Hamburg. Es ist für Öffentlichkeit und Politik eine unbefriedigende Lage, da gerade diese Art von Wissen jetzt gebraucht wird, wo sich die Einsicht durchsetzt, dass auch im Falle einer erfolgreichen Klimaschutzpolitik (weltweite Einschränkungen der Emissionen) überall signifikante Anpassungsmaßnahmen zum Umgang mit den nicht vermeidbaren Folgen des menschengemachten Klimawandels nötig werden. Wissenschaftlich fundiertes Wissen erscheint umso notwendiger, wenn man sich vor Augen führt, dass in Öffentlichkeit und Politik bisweilen medial zugespitzte Vorstellungen dominieren und die Möglichkeiten und Notwendigkeiten von Anpassungsmaßnahmen nicht immer verstanden sind.

Daher wurde am KlimaCampus Hamburg im Rahmen des Klima-Exzellenzclusters CLiSAP (Integrated Climate System Analysis and Prediction) der Universität Hamburg und ihrer außeruniversitären Partner in 2008/2009 das Wissen, wie es sich in wissenschaftlichen Publikationen belegt, gesichtet und im Hinblick auf Konsens und Dissens bewertet. Dabei stellte sich heraus, dass die für die Metropolregion spezifische Wissenslage durchgehend dürr ist und ein erheblicher zusätzlicher Forschungsbedarf besteht. Der „Klimabericht für die Metropolregion Hamburg“ beschreibt sowohl das vorhandene Wissen über die vergangenen 100 Jahre, als auch die erwarteten bzw. möglichen Veränderungen in den kommenden 100 Jahren. Dabei ist zu beachten, dass diese Beschreibungen von Zukunft keine Vorhersagen sind, sondern plausible Abschätzungen möglicher Entwicklungen, die von den nur be-

H. von Storch (✉)

Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung und Meteorologisches

M. Claussen

Max-Planck Institut für Meteorologie und Meteorologisches Institut der Universität Hamburg

dingt vorhersagbaren zukünftigen weltweiten Freisetzen von Treibhausgasen abhängen. Man spricht daher von „Szenarien“ oder „Projektionen“. Der oft verwendete Begriff „Prognose“ dagegen ist irreführend, weil die Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien oder Projektionen nicht bekannt ist. Sämtliche Szenarien und Projektionen gelten als gleichermaßen plausibel.

Für die vergangenen 100 Jahre ergibt sich folgendes Bild:

Die Temperaturen in der Region sind um ca. 1 °C gestiegen, mit einer Beschleunigung in den letzten dreißig Jahren. Die Niederschläge sind in der Jahressumme um ca. 1 % pro Jahrzehnt gestiegen, wobei dieser Anstieg jahreszeitlich ungleichmäßig war – im Sommer kaum oder sogar eine Verminderung, ein Anstieg im Winter und Herbst. Veränderungen im Sturmklima sind nicht belegt. Neben regional nahezu gleichmäßiger Veränderung findet sich auch ein Klimaeffekt in der Stadt Hamburg selbst – mit einer erhöhten Temperatur von ca. 1 °C im Stadtzentrum relativ zum Umland und Veränderungen des Niederschlags im Lee der Stadt. Im Hinblick auf Meeresspiegel und Sturmfluten sind Erhöhungen festzustellen. Längs der Küste liegt der Meeresspiegelanstieg bei 20 cm. In Hamburg liegen die Werte erheblich höher, was insbesondere mit verbesserten Küstenschutz und vergangenen Elbausbaggerungen zu tun hat. Im ökologischen Bereich sind frühere Blühtermine bei Pflanzen und längere Vegetationsperioden eingetreten und seit einiger Zeit sind neue wärmeliebende Arten in den aquatischen Ökosystemen der Region anzutreffen (siehe Kap. 6 und 7).

Die Abschätzungen für die kommenden 100 Jahre beruhen auf einer Reihe von Szenarien, die mit dynamischen und statistischen Modellen aus globalen IPCC-Szenarien für die Region abgeleitet wurden. Alle Szenarien beschreiben zum Stichtag des Berichts am 1. August 2009¹ eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur bis Mitte dieses Jahrhunderts um etwa 0,75 °C bis 1,75 °C und um etwa 2,5 °C bis 3 °C bis Ende dieses Jahrhunderts, wobei die Erwärmung in den Herbst- und Wintermonaten relativ stärker ausfällt als im Frühling und Sommer. Der Jahresgang des Niederschlags kann sich bis Ende dieses Jahrhunderts jedoch deutlich ändern mit deutlich trockeneren Sommern (–5 % bis –40 %) und deutlich feuchteren

Wintern (+15 % bis +40 %). Alle Zahlen sind mit bedeutenden Unsicherheiten verbunden.

Steigen die Emissionen von Treibhausgasen künftig stärker an als im „mittleren“ A1B-Szenarium angenommen, kann die Temperaturänderung ebenfalls deutlicher ausfallen. In der Tat ergeben Modellrechnungen mit anderen Emissionsszenarien auch höhere Werte, bis zu 4,7 °C für die Temperatur und +53 % für den winterlichen Niederschlag. Für Stürme werden nur geringe Veränderungen erwartet (siehe Kap. 3). Der Meeresspiegel wird vermutlich weiter ansteigen, wobei Sturmfluten in Hamburg bis 2030 nur insignifikant höher, aber bis zum Ende des Jahrhunderts um 3 bis 11 Dezimeter höher auflaufen können (siehe Kap. 4).

Für marine Ökosysteme längs der Nordseeküste und im Elbeästuar werden weitere Einwanderungen fremder wärmeliebender Arten und die Abwanderung kälteliebender Arten erwartet. Vermehrte sommerliche Sauerstoffdefizite in der Tide-Elbe unterhalb Hamburgs könnten auftreten und damit zu vermehrtem Fischsterben führen (siehe Kap. 7). Es wird für möglich gehalten, dass die Trübungszone und die Brackwassergrenze der Elbe sich stromauf verschieben (siehe Kap. 5). Unterschiedliche Aussagen finden sich zu Flächenänderung von Vordeich- und Wattgebieten und damit zur Gefährdung von Tideauenwäldern (siehe Kap. 6).

Die erwarteten Klimaänderungen können deutliche Auswirkungen auf Waldökosysteme in der Metropolregion Hamburg haben. Neben der Rotbuche gelten Sand-Birke, Spitz- und Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Winter-Linde als wenig vom Klimawandel betroffen. Von einem wärmeren Klima profitieren wärmetolerante Baumarten wie z. B. Stiel- und Trauben-Eiche, Hainbuche, Sommer-Linde und Gemeine Esche, während Fichte und Kiefer in Mitteleuropa als Risikobaumarten eingestuft werden. Charakteristische Arten artenreicher Feuchtwiesen könnten, bedingt durch niedrigere sommerliche Wasserstände, von Arten des Wirtschaftsgrünlandes verdrängt werden. Das Wissen über Auswirkungen eines Klimawandels auf Bodenparameter, auf das Ökosystem Heide und das urbane Ökosystem der Metropolregion Hamburg ist unzureichend (siehe Kap. 6).

Eine verlängerte Vegetationsperiode und steigende Temperaturen könnten im Obstbau den Anbau neuer Apfelsorten ermöglichen. Eine stärkere Bekämpfung des Apfelwicklers an der Niederelbe wird möglicherweise notwendig, wenn künftig mehr als eine Genera-

¹ D. h., es wird in den nachfolgenden Kapiteln nur Material verwendet, dass vor dem 1. August 2009 veröffentlicht wurde.

tion des Apfelwicklers im Jahr auftritt. Für den Pflanzenbau werden die Auswirkungen der erwarteten Klimaänderungen möglicherweise gering. Insgesamt wird eine Anpassung des Obst- und Pflanzenbaus an den Klimawandel als notwendig und effizient angesehen, wobei sogar Kosten eingespart werden könnten (siehe Kap. 9).

Die erwartete Verlängerung der Sommersaison könnte positive Effekte für den regionalen Tourismus mit sich führen. Generell werden Adaptationsstrategien für nötig erachtet, die zu einer Reduktion der Vulnerabilität des Tourismus führen können. Solche Handlungsoptionen beziehen sich auf eine Verlagerung auf klimaunabhängige Angebote oder eine zeitliche Anpassung der Saisonzeiten sowie Bewusstseinsförderung bei Tourist*innen und Reisenden. Externe Faktoren, wie steigende Ölpreise, verändertes Reiseverhalten sowie neue Zielgruppen werden die Tourismusbranche zusätzlich in der Zukunft beeinflussen und sollten bei der Planung einer nachhaltigen Tourismusentwicklung mit berücksichtigt werden (siehe Kap. 8).

Planerisch-organisatorische Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel weisen auf ein breites Spektrum von Gestaltungs- und Koordinationsformen für die Metropolregion Hamburg hin. Ein Konsens besteht insgesamt darin, dass eine sinnvolle Kombination formeller und informeller Instrumente eine Grundvoraussetzung für wirkungsvolle Klimaanpassung ist. Es geht weniger um umfassende Pläne mit endgültigen Aussagen, sondern vielmehr darum, erwartete Klimaänderungen in die strategischen Entscheidungsprozesse einzubeziehen. Formell-planerische Regelungen erfüllen dort eine wichtige Funktion, wo es um die verbindliche Steuerung zukünftiger Raumnutzungen geht, z. B. das Freihalten von Überschwemmungsgebieten. Dissens herrscht hinsichtlich der Frage, ob den Belangen der Klimaanpassung das erforderliche Gewicht beigemessen werden kann, da auf Grundlage der Unsicherheiten der Klimaszenarien eindeutige Aussagen über Folgen erschwert werden. Informell-kooperative Handlungsweisen, z. B. Leitbilder, Entwicklungskonzepte und Zielvereinbarungen, erhöhen die Chance auf dialogische Entscheidungsprozesse und können die Umsetzungsqualität von Strategien und Maßnahmen verbessern. Die Regelungskonzepte des Flussgebiets- und Küstenzonenmanagements sind in der Metropolregion in Bezug auf Klimafolgen bisher kaum eingesetzt worden, haben aber sicher ein erhebliches Potenzial (siehe Kap. 10).

Aussagen zu technischen Anpassungspotenzialen beziehen sich im Wesentlichen auf Sturmflutschutz, aber auch auf den Binnenhochwasser- und Erosionsschutz. Hier geht es neben der Erhöhung von Deichen und Hochwasserschutzwänden auch um prinzipielle Überlegungen zur Anlage eines Sturmflutsperrwerkes und von Überflutungspoldern. Technische Anpassungsmöglichkeiten für den Binnenhochwasserschutz der Stadt Hamburg wurden bereits wissenschaftlich untersucht. Für den Bereich Wilhelmsburg liegen Überlegungen zu einem „kaskadierenden Flutkammersystem“ vor. Das eigentlich zur Lösung des Problems des angestiegenen hafenwärtigen Sedimenttransports entwickelte „Tideelbeprojekt“ von Hamburg Port Authority und Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord ermöglicht ebenfalls eine Begrenzung der Verschärfung der Sturmflutgefahren in der Hansestadt (siehe Kap. 11).

1.2 Einleitung

1.2.1 Motivation

Der Klimawandel und die Notwendigkeit, diesen zu „bekämpfen“, sind in aller Munde. Wenn man bei Informationsveranstaltungen mit Laien in Sachen Klimawandel spricht, so haben diese oftmals einen hohen Kenntnisstand über die allgemeinen Ursachen des globalen Klimawandels und über die möglichen Gefahren, aber auch Chancen, die hiermit verbunden sind. Allerdings hat dieses Wissen zwei signifikante Einschränkungen. Zum einen die Vermischung von wissenschaftlich konstruiertem Wissen und medial-kulturell konstruiertem Wissen (von Storch 2009), und zum anderen den Mangel an Wissen über die regionale und lokale Dimension des Klimawandels (Ratter et al. 2009).

Dies ist offenbar keine gute Grundlage zur Ausgestaltung einer regionalen Klimapolitik, wie sie gerade in Hamburg hohe Priorität hat. Der vorliegende Bericht dient dazu, den wissenschaftlich legitimen Kern des Wissens über den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg einschließlich Teilen der deutschen Nordseeküste zu dokumentieren. Wir werden später darauf eingehen, wie dies geschieht und wie der Bericht aufgebaut ist.

Vorab stellen wir kurz das Problem der sogenannten konkurrierenden Wissensansprüche vor

(Abschn. 1.2.2). Dieser Aspekt ist zentral für die wissenschaftliche und die öffentliche Diskussion des Klimawandels, sowie die empirisch bestimmte subjektive Betroffenheit gegenüber dem Klimawandel in der Region (Abschn. 1.2.3).

1.2.2 Konkurrierende Wissensansprüche

Wissen darüber, wie die komplexen Phänomene des Klimawandels erklärt und sinnvoll gedeutet werden können, existiert in vielerlei Form. Dabei stehen verschiedene Wissensformen wie wissenschaftliches Denken oder Alltagswissen durchaus in Konkurrenz zueinander und widersprechen sich bisweilen – es sind Wissensansprüche, die so lange bestehen bleiben, bis sie im Lichte neuer Beobachtungen und Wahrnehmungen als unzureichend befunden werden. Das Wort „Wissensansprüche“ hat nichts Abwertendes, sondern beschreibt, dass Wissen generell vorläufig ist und immer wieder auf den Prüfstand kommt und dabei modifiziert wird. Diese Modifikationen sind nicht zufällig, sondern sie werden in verschiedenen gesellschaftlichen Konstruktionsprozessen erlangt, bspw. durch Zeitungen, Funk und Fernsehen (Weingart et al. 2002). Diese mediale Konstruktion des Klimawissens muss den Erwartungen des Publikums und der Wirtschaftlichkeit der Verlage genügen. Eine andere Konstruktion ist die wissenschaftliche, die sich der wissenschaftlichen Methodik des Zweifels, der Nachprüfbarkeit durch Dritte, der Falsifizierbarkeit unterwirft. Diese Konstruktionen treten nicht in Reinform auf, sondern in verschiedenen, zum Teil vermischten Varianten, aber es macht Sinn, sich diese Konstruktionen als idealtypische Fälle zu vergegenwärtigen. Ihre Bedeutung liegt darin, dass beide Konstrukte maßgebliche Konkurrenten in der Deutung einer komplexen Umwelt sind – zwei „Akteure“ auf dem Markt des Wissens von erheblicher handlungsleitender Bedeutung (von Storch 2009, von Storch und Stehr 2010).

Das wissenschaftliche Konstrukt des menschlich beeinflussten Klimawandels lässt sich in etwa wie folgt beschreiben: Vom Menschen ausgehende Prozesse beeinflussen das Klima – der Mensch verändert das globale Klima. Das Klima ist die Statistik des Wetters. Die Häufigkeitsverteilungen der Temperatur verschieben sich derzeit und in der absehbaren Zukunft fortgesetzt an fast allen Orten hin zu größerer Wärme, der Meeresspiegel steigt und die Regenmengen verän-

dern sich. Auch einige extreme Wetterereignisse, wie etwa Starkniederschläge im Westwindgürtel der mittleren Breiten, werden sich in Häufigkeit und Intensität in Zukunft verändern. Diese Veränderungen sind verursacht vor allem durch die Freisetzung von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid und Methan.

Diese Darstellung findet breite Unterstützung in den einschlägigen wissenschaftlichen Kreisen und wird insbesondere durch die kollektive Anstrengung des UN-Klimarats IPCC formuliert.

Das kulturelle Konstrukt des Klimawandels lässt sich dagegen in etwa so beschreiben: Der Mensch ändert das Klima, auch z. B. durch Entwaldung. Das Wetter ist weniger zuverlässig als früher, die Jahreszeiten unregelmäßiger, die Stürme gewaltiger. Die Wetterextreme nehmen katastrophale, vorher nie dagewesene Formen an.

Fragt man nach der Ursache, so stößt man auf „menschliche Gier“ und „Dummheit“ als Antwort. Das sei der Mechanismus der Gerechtigkeit, der Rache der Natur, die zurückschlägt. Auf einem Buchcover eines einschlägigen Buchs „Our drowning world“ aus den 1990er Jahren heißt es „... we shall be engulfed by the consequences of our greed and stupidity. Nearly two thirds of our world could disappear under polar ice cap water. . . For this will be the inevitable outcome of industrialization, urbanization, overpopulation and the accompanying pollution“ (Milne 1989 Backcover).

Bei den Antworten auf die Frage nach der Wirkung des Klimawandels spielt der klimatische Determinismus immer wieder latent eine Rolle (Stehr und von Storch 1999, Aufenvenne 2010), von dem weiterhin Elemente in unserer westlichen Kultur wirksam sind. Eines dieser Elemente ist die Annahme, dass der Mensch im Gleichgewicht mit seinem ihm angemessenen Klima leben muss. Ändert sich dieses Klima, dann ist die Zivilisation gefährdet; ganze Kulturen gingen bei solchen Ereignissen unter, etwa Indianerkulturen in Nordamerika oder Wikinger-Siedlungen in Grönland. Es wundert daher nicht, dass es im deutschen Sprachgebrauch oft „Klimakatastrophe“ heißt und nicht „Klimawandel“, dass das Wort „Klimakatastrophe“ zum Wort des Jahres 2007 gewählt wurde.

Der vorliegende Bericht stellt einen Versuch dar, das kulturelle Konstrukt im öffentlichen Diskurs und in politischen Entscheidungsprozessen zurückzudrängen und stattdessen dem wissenschaftlichen Konstrukt seine gebührende Rolle in der Erzeugung validen Wissens hervorzuheben.

1.2.3 Betroffenheit in der Region

Die subjektive Betroffenheit gegenüber dem Klimawandel in der Region ist groß. So haben Ratter et al. (2009) zahlreiche Befragungen in der Region der deutschen Nordseeküste (862 Befragte) und in Hamburg (zweimal 500 Befragte) durchgeführt, um das Wissen und die Betroffenheit empirisch zu bestimmen. Zwei Umfragen wurden 2008/2009 für Hamburg durchgeführt und eine weitere 2008 für die gesamte deutsche Nordseeküste.

Unter anderem wurde gefragt, wie man die Bedrohung durch den Klimawandel einschätze, „sehr groß“, „groß“, „weniger groß“ oder „nicht gegeben“. Die Antworten „sehr groß“ und „groß“ zusammen machten 61 % in 2008 in Hamburg aus, die Antworten „weniger groß“ und „nicht gegeben“ dagegen 38 %. An der Nordseeküste war es genau andersherum, nur 39 % betrachteten die Bedrohung als „sehr groß“ oder „groß“ und immerhin 48 % als „weniger groß“, 13 % als „nicht gegeben“ (Abb. 1.1a). Bemerkenswerterweise ist die Sorge längs der Küste deutlich geringer als in Hamburg, was erstaunlich ist, wenn man sich ansieht, worin die Gefahren gesehen werden – nämlich vor allem in Sturmfluten und weniger in Hitzewellen oder Starkregen (Abb. 1.1b). Erstaunlich deshalb, weil Sturmfluten eine Gefahr für fast die gesamte deutsche Nordseeküs-

te sind, in Hamburg aber der allergrößte Teil der Bevölkerung außerhalb des von Sturmfluten gefährdeten Stadtbereichs lebt.

Die Gruppe der Küstenbewohner wurde auch nach erforderlichen Maßnahmen im Umgang mit verschiedenen Problembereichen gefragt. Im Kontext des Klimawandels sind diese wohl als Anpassungsmaßnahmen zu bezeichnen. Hier wurden deutlich weniger Antworten gegeben. Die wahrgenommenen Gefahren werden offenbar nicht automatisch von den Teilnehmern in einen Maßnahmenbedarf umformuliert. Bemerkenswert ist auch, dass sich viele Antworten auf Problembereiche bezogen, die nicht mit dem Klima oder dem Klimawandel zu tun hatten (Abb. 1.2).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Klimawandel Gegenstand von erheblicher Sorge in Hamburg und im Bereich der norddeutschen Küste ist; dass diese Sorge sich zu allererst auf Sturmfluten bezieht; dass Folgen für Bereiche wie Landwirtschaft und Ökosysteme sowie Tourismus kaum bedacht werden; dass das Wissen um Möglichkeiten im Bereich Anpassungsmaßnahmen gering ist. Auch hier setzt der vorliegende Bericht an. Es werden Lücken geschlossen und Wissen angeboten, um mit den bisher kaum wahrgenommenen Gefahren und Möglichkeiten des menschengemachten Klimawandels und seiner regionalen und lokalen Manifestation umzugehen.

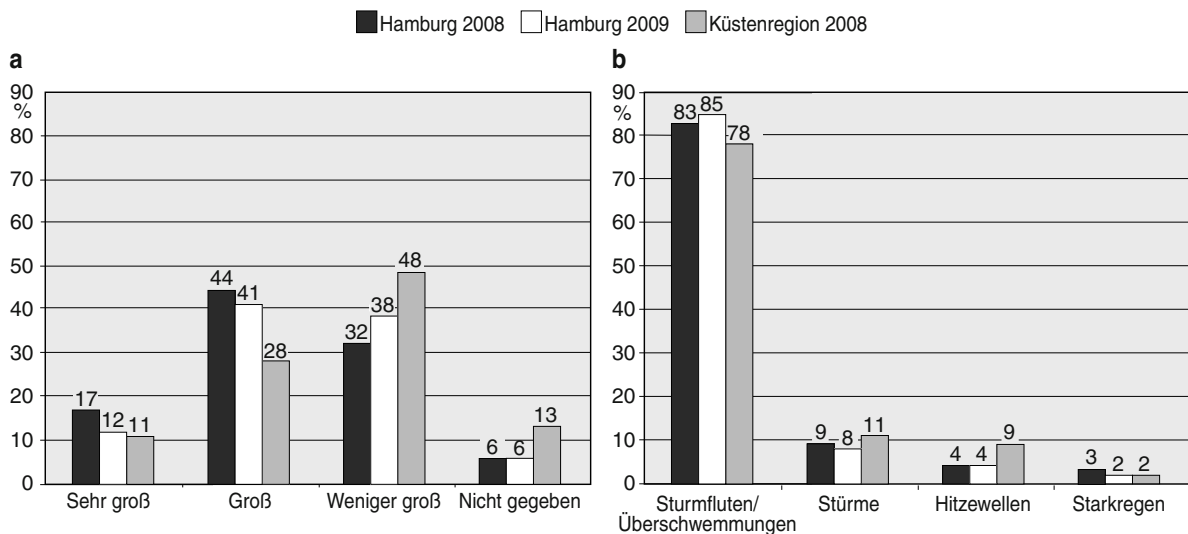


Abb. 1.1 Umfrageergebnisse von Ratter et al. (2009) zu (a) der Bedrohung durch den Klimawandel und (b) den erwarteten Folgen des Klimawandels

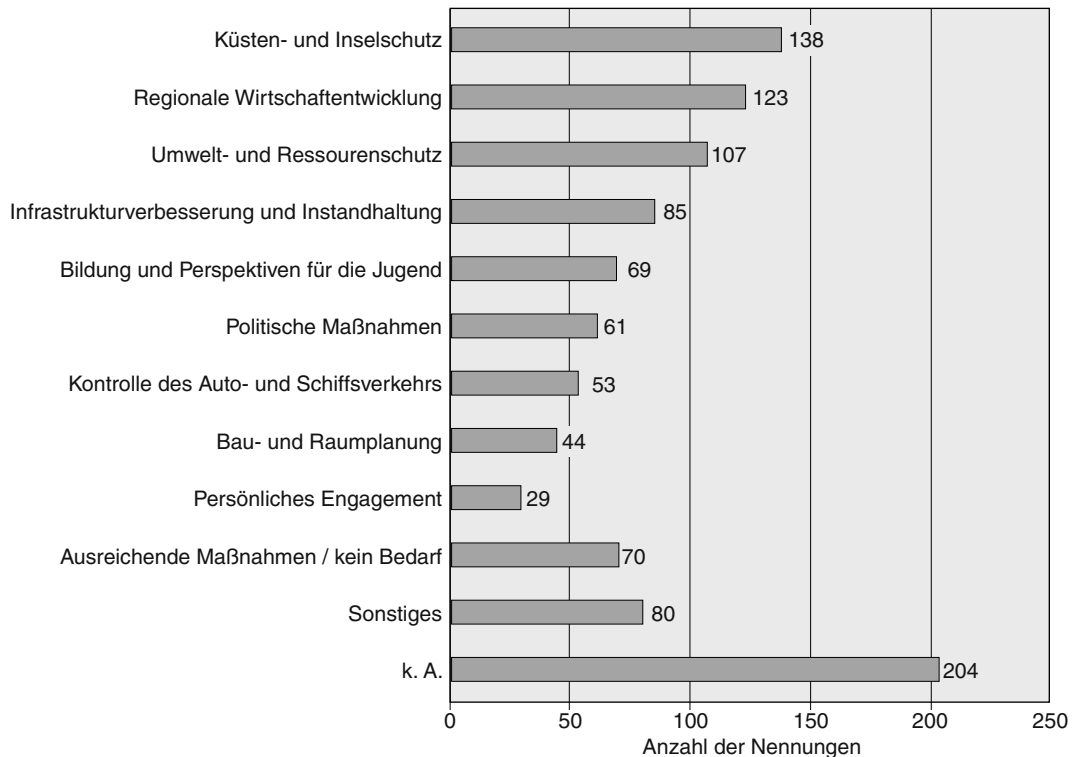


Abb. 1.2 Wahrgenommener Bedarf von Maßnahmen in der Befragung der Küstenbewohner von Ratter et al. (2009). K. A. = keine Antwort

1.2.4 Methode der Erstellung des Berichts

1.2.4.1 Wissen und Konsens

Der Bericht beschreibt nicht das Klima, den Klimawandel und die Klimawirkung im Großraum Hamburg, sondern das Wissen über das Klima, den Klimawandel und die Klimawirkung im Großraum Hamburg. Wissen, das in wissenschaftlich legitimer Weise veröffentlicht worden ist und in Bibliotheken oder – im Ausnahmefall – im Internet eingesehen werden kann. Bevorzugt werden Publikationen, die begutachtet wurden, wie es bei „weißen“ Publikationen im Wissenschaftsbetrieb üblich ist. Urheber dieser „Beschreibungen“ von Wissen sind Wissenschaftler in einschlägig bekannten Forschungseinrichtungen, in Universitäten und in Behörden, also Einrichtungen, die zur Unparteilichkeit verpflichtet und auf die wissenschaftliche Methodik festgelegt sind. Nicht berücksichtigt werden Schriften und Darstellungen, die politischen, ideologischen oder wirtschaftlichen Interessen verpflichtet sind.

Eine Einflussnahme politischer und wirtschaftlicher Interessen auf den Fragenkatalog ist möglich; diese Interessen sind aber vom Prozess der Beantwortung der Fragen ausgeschlossen. Eine politische und wirtschaftliche Bewertung der Ergebnisse erfolgt durch den Bericht nicht.

Dieser Bericht bietet nicht „bestes Wissen“ schon deshalb, weil es dies entweder nicht gibt oder zumindest keine zuverlässige Methode bekannt ist, dies zu bestimmen. In der Praxis läuft „bestes Wissen“ darauf hinaus, den bekanntesten Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen zu glauben, was wiederum zur Folge hat, dass dem oben erwähnten medial-kulturellen Komplex unnötig Gewicht gegeben wird. Die wunderbare Erzeugung von Fernsehexperten hat oft genug nichts mit wissenschaftlicher Qualität zu tun, sondern mit anderen medialen Qualitäten (vgl. Peters und Heinrichs 2005).

Der Bericht beschreibt stattdessen „konsensuales“ Wissen. Nicht, dass Konsensus per se ein Qualitätsmerkmal ist, aber er ist immerhin ein Hinweis, dass die Wissensansprüche in sich und mit der allgemeinen

Denkschule konsistent sind. „Konsens“ in diesem Report beschreibt aber auch immer wieder: Konsens über die Tatsache der Uneinigkeit. Konsens über den Dissens.

In dieser Hinsicht folgt der vorliegende Hamburger Klimabericht dem „BALTEX Assessment of Climate Change in the Baltic Sea Basin“, das unter dem Namen BACC-Report (BACC author team 2008) bekannt geworden ist. Die Zeit wird zeigen, inwieweit der große Anspruch, tatsächlich widersprechende Auffassungen gut zu integrieren, in diesem Report gelungen ist. Im Falle des oben genannten BACC-Reports ist dies nicht immer gelungen; auch im vorliegenden Falle wird es Einzelfälle geben, in dem die Leitautoren nicht immer stark genug waren, von der ausschließlichen Richtigkeit der eigenen Vorstellungen und Überzeugungen Abstand zu nehmen.

1.2.4.2 Prozess

Der Prozess, der hinter der Erstellung des „Hamburger Klimaberichts“ steht, gleicht dem von BACC. Er wurde begonnen auf Initiative von Hans von Storch und zunächst in das Exzellenzcluster CLiSAP (Integrated Climate System Analysis and Prediction) aufgenommen, das im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder von der Universität Hamburg und ihrer außeruniversitären Partner eingeworben wurde. Als solches wurde der Plan für diesen Bericht im Zuge der internationalen, wettbewerbsorientierten Begutachtung von CLiSAP positiv bewertet. Das Projekt fand die zustimmende Anerkennung der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg sowie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume in Kiel.

Eine Steuergruppe wurde berufen mit Hans von Storch als Initiator und Principal Investigator in CLiSAP, Martin Claussen als Sprecher von CLiSAP, Erik Pasche für die Technische Universität Harburg, Reinhard Zöllner vom Seewetteramt in Hamburg (Deutscher Wetterdienst), Harro Heyer von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW Rissen), sowie Peter Lindlahr von der Klimaleitstelle des Senats der Freien und Hansestadt Hamburg und Jacobus Hofstede als Vertreter des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Die beiden letzteren sind politische Vertreter und wirken als solche nicht an den Inhalten, sondern nur an der Organisation mit. Der Steuergruppe steht Hans

von Storch vor mit Martin Claussen als Vertreter. Die umfangreichen organisatorischen Arbeiten werden von Julika Doerffer vom Norddeutschen Klimabüro unter seiner Leiterin Insa Meinke übernommen, die von Barbara Zinecker vom Max-Planck-Institut für Meteorologie unterstützt werden. Die Kosten werden zwischen CLiSAP und dem GKSS Forschungszentrum in Geesthacht geteilt. Die Steuergruppe hat in einem weiteren Schritt die vorliegende Kapitelstruktur festgelegt.

Entsprechend der Vorgabe durch das Ministerium in Kiel bzw. der Behörde in Hamburg bezieht sich der Bericht auf die Metropolregion Hamburg und die schleswig-holsteinische Nordseeküste (siehe Abb. 1.3).

Nach der Fertigstellung der ersten Entwürfe der einzelnen Kapitel wurden diese einer anonymen, unabhängigen Begutachtung durch Kollegen unterzogen; die Autoren haben anschließend ihre Manuskripte entsprechend verbessert und verändert und nach einer weiteren Durchsicht durch die Editoren Hans von Storch und Martin Claussen für die Präsentation am 25. November 2009 angenommen. Diese Fassung wurde der wissenschaftlichen Öffentlichkeit am 25. November 2009 mit der Bitte um Kommentierung vorgelegt, insbesondere im Hinblick auf Vollständigkeit und Dissens. Nach einer weiteren Revision soll der gesamte Bericht im Sommer 2010 beim Springer-Verlag in Druck gehen, um in endgültiger Fassung ab November 2010 auf dem Buchmarkt öffentlich verfügbar zu sein.

Dieser Statusbericht gibt den Wissensstand von August 2009 wieder, wie er sich in wissenschaftlich legitimen Publikationen darstellt.

1.2.4.3 Begrifflichkeiten

Im multidisziplinären „Klimageschäft“ gibt es, wie in jeder Wissenschaft, eine Reihe von zentralen Begriffen, die nicht ohne weiteres in den verschiedenen Bereichen gleich verstanden werden. Dies gilt erst recht bei der Verwendung dieser Begriffe in der Kommunikation mit Laien, da die gleichen Begriffe auch in der Alltagssprache Anwendung finden. Wir definieren und diskutieren hier einige dieser Begriffe, um Missverständnissen vorzubeugen.

Klima

Klima bezeichnet die Statistik des Wettergeschehens über einen bestimmten Zeitraum. Lange Zeit bezog



Abb. 1.3 Karte der Metropolregion Hamburg mit den dazugehörigen Landkreisen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen (Quelle: Geschäftsstelle der Metropolregion Hamburg)

man sich dabei im Wesentlichen auf das Geschehen in der bodennahen Atmosphäre (z. B. Lufttemperatur und Feuchte) und benutzte diese, um anhand langjähriger Mittelwerte regionale Aspekte (z. B. Tropen und polare Gebiete) zu unterscheiden. In den letzten Jahrzehnten hat sich das Klimaverständnis wesentlich erweitert. Zum einen begann man zu verstehen, dass Klima nicht konstant ist, sondern ebenfalls erheblichen Schwankungen im Laufe der Zeit unterliegt; zum anderen realisierte man, dass sich Klima nicht nur in der Atmosphäre abspielt, sondern durch Wechselwirkungen mit anderen Komponenten des Klimasystems (wie z. B. den Ozeanen oder den Eismassen) geprägt wird.

Dieses Verständnis spiegelt sich in moderneren Definitionen des Klimabegriffs wie denen der Amerikanischen Meteorologischen Gesellschaft² oder des IP-

CC³wieder. Im vorliegenden Bericht lehnen wir uns an diese moderneren Konzepte an und bezeichnen mit Klima den Zustand und die zeitlich variable Statistik des Klimasystems, bestehend aus Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Biosphäre.

Vorhersagen, Szenarien, erwartete Entwicklungen

Die Begriffe „Vorhersage“ bzw. „Prognose“ und „Szenario“ bzw. „Projektion“ werden häufig verwechselt, gerade in der öffentlichen Kommunikation (vgl. Bray und von Storch 2009) durch wissenschaftliche Akteu-

and evolved in recent decades in response to the increased understanding of the underlying processes that determine climate and its variability.”

² Klimadefinition der AMS: “The slowly varying aspects of the atmosphere-hydrosphere-land surface system. It is typically characterized in terms of suitable averages of the climate system over periods of a month or more, taking into consideration the variability in time of these averaged quantities. Climatic classifications include the spatial variation of these time-averaged variables. Beginning with the view of local climate as little more than the annual course of long-term averages of surface temperature and precipitation, the concept of climate has broadened

³ Klimadefinition des IPCC: “Climate in a narrow sense is usually defined as the ‘average weather’, or more rigorously, as the statistical description in terms of the mean and variability of relevant quantities over a period of time ranging from months to thousands or millions of years. The classical period is 30 years as defined by the World Meteorological Organization (WMO). These quantities are most often surface variables such as temperature, precipitation, and wind. Climate in a wider sense is the state, including the statistical description, of the climate system.”

re.⁴ Eine Vorhersage oder eine Prognose stellt einen Ausblick in die Zukunft dar, der wahrscheinlicher ist als alle anderen Ausblicke.⁵ Ein Szenario, oder synonym: eine Projektion, ist eine Entwicklung, die wahrscheinlich ist, sofern gewisse mögliche Annahmen erfüllt sind.⁶

Im Falle des Klimaproblems beziehen sich diese Annahmen auf die Emission von Treibhausgasen, Aerosolen, die Aktivität von Vulkanen und der Sonne. Diese Größen sind selbst nicht vorhersagbar. Daher ergeben sich aus Szenarien, die in der gegenwärtigen Praxis immer die Emissionen von Treibhausgasen, oft die Freisetzung von Aerosolen und deren Vorformen, manchmal Landnutzung, selten aber Vulkan- oder Sonnenaktivität beschreiben⁷, derzeit keine Prognosen oder Vorhersagen. Die Verwendung dieser Begriffe ist zwar weit verbreitet im öffentlichen Raum, stellt tatsächlich aber eine unerfreuliche Verwischung von Begrifflichkeiten dar.

Neuerdings gibt es erste Entwicklungen, wirkliche Vorhersagen über ein oder zwei Jahrzehnte abzuleiten, die die Trägheit des Klimasystems verwenden und weniger von der detaillierten Entwicklung der Antriebsfaktoren wie Treibhausgasemissionen abhängen (z. B. Keenlyside et al. 2008, Keenlyside and Ba 2010). Für Einschätzungen, wie sich der Klimawandel auf die Metropolregion Hamburg auswirkt, sind diese Vorhersagen bisher nicht ausgewertet worden, was auch wenig Sinn machen würde, da sie sich noch in einer sehr experimentellen Phase befinden, deren Güte gänzlich ungetestet ist.

Daher liegen für die Beschreibungen der Zukunft des Klimas der Metropolregion Hamburg nur Szenarien vor, d. h. verschiedene mögliche Entwicklungen des Klimas, die möglich, plausibel, naturwissenschaftlich konsistent, aber nicht notwendigerweise wahrscheinlich sind.

⁴ Laut Bray und von Storch verwenden Klimaforscher zu 2/3 die Begriffe im IPCC-Sinne (siehe unten) korrekt und 1/3 falsch.

⁵ IPCC Glossary: "A climate prediction or climate forecast is the result of an attempt to produce an estimate of the actual evolution of the climate in the future, for example, at seasonal, interannual or long-term time scales." (Baede o. D.)

⁶ IPCC-Glossary: "A projection is a potential future evolution of a quantity or set of quantities" (Baede o. D., vgl. Schwartz 1991)

⁷ IPCC-Glossary: "Climate projections are distinguished from climate predictions in order to emphasize that climate projections depend upon the emission/concentration/radiative forcing scenario used, which are based on assumptions concerning, for example, future socioeconomic and technological developments that may or may not be realized." (Baede o. D.)

Wenn aber alle Szenarien – oder Projektionen – in die gleiche Richtung weisen, dann stellen diese „Richtungen“ erwartete Entwicklungen dar, deren Intensitäten nicht klar sind, deren Vorzeichen aber als Vorhersage angesehen werden dürfen. Dies betrifft steigende Temperaturen, den Meeresspiegel und weitere Eigenschaften, wie in diesem Bericht ausgeführt.

1.3 Zusammenfassung

Im Folgenden fassen wir die wesentlichen Ergebnisse der insgesamt zehn Kapitel dieses Berichts zusammen. Diese Kapitel lassen sich in drei Blöcke zusammenfassen mit

- **Klimawandel:** Das gegenwärtige Klima der Metropolregion und der Stadt Hamburg und seine derzeitige Änderung; mögliche Klimaänderungen in der Metropolregion im 21. Jahrhundert und mögliche Änderungen in der Deutschen Bucht und der Tidelbe.
- **Klimawirkung:** Erwartete Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf aquatische Ökosysteme, erwartete Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf terrestrische Ökosysteme und erwartete Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf die Landwirtschaft und den Tourismus.
- **Management:** Planerisch-organisatorische Potenziale und technische Lösungsstrategien der Anpassung.

Ein gemeinsames Element in allen Beschreibungen ist, dass das vorliegende, wissenschaftlich legitimierte und dokumentierte Wissen nicht umfangreich ist. Vielmehr gibt es generell nur wenige Studien, die sich spezifisch mit der Region, dem Klimawandel in der Region, den Wirkungen des Klimawandels und den Möglichkeiten des Umgangs damit befassen (vielleicht mit der Ausnahme der Sturmfluten längs der Küste und im Elbeästuar). Dies betrifft sowohl den Ist-Zustand, die gegenwärtigen Änderungen, als auch die zukünftig möglichen Änderungen und deren Herausforderungen. In der Regel gibt es aber Studien, die andere Regionen oder größere Skalen betreffen und zumindest Hinweise geben, welche Möglichkeiten die Forschung in den kommenden Jahren in jedem Falle ausschöpfen kann.

Dies bedeutet aber auch, dass der „Konsensus“, den wir ja als Abwesenheit von divergierenden Beobach-

tungen, Einschätzungen und Erklärungen begreifen, sehr wohl fragil sein kann, und viele Resultate nur auf den Arbeiten einer Arbeitsgruppe oder einer Publikation beruhen. Es ist zu hoffen, dass diese Ergebnisse in Zukunft noch einer kritischen Prüfung durch Kollegen ausgesetzt werden. Diese Prüfung, die ein integraler Bestandteil der wissenschaftlichen Methode ist, hilft einerseits, falsche, voreilige oder zwiespältige Wissensansprüche durch bessere, der kritischen Nachfrage gegenüber robustere Ergebnisse zu ersetzen, andererseits hilft sie, gültigem Wissen größere Legitimität zu geben.

Der Wissensstand entspricht einem Stichtag vom 1. August 2009; das Wissen ist seitdem gewachsen; dies betrifft insbesondere die Szenarien für den zukünftigen Klimawandel in Kap. 5. An dieser Stelle ist es sicher nützlich, sich im Norddeutschen Klimaatlas (www.norddeutscher-klimaatlas.de) den laufend aktualisierten Wissensstand zu vergegenwärtigen.

1.3.1 Das Klima der Region bisher (1800 bis 2006) und mögliche Änderungen in der Zukunft (bis 2100)

Hier geht es zunächst um die vergangenen und derzeitigen atmosphärischen Bedingungen und ihre derzeitige Änderung im Großraum Hamburg und in Hamburg selbst. Aufgrund von Bebauung und Veränderung der Landnutzung trägt die Stadt selbst zum Klimawandel bei und schafft sich ein Lokalklima, das von dem der Region abweicht. Dann geht es um die Perspektiven für das kommende Jahrhundert, wie sie durch Klimaänderungsszenarien beschrieben werden – und schließlich um die Veränderungen in nicht nur hydrodynamischen Eigenschaften der Elbe und in der Nordsee.

1.3.1.1 Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen

Das atmosphärische Klima der Metropolregion wird wesentlich durch die Nähe von Nord- und Ostsee geprägt. Entsprechend dominieren maritime Wettereinflüsse, doch setzen sich bei östlichen Winden auch kontinentale Luftmassen durch. Typisch sind relativ

milde Winter und meist nur mäßig warme Sommer bei meist wechselhaftem Wettercharakter. Innerhalb der Metropolregion ist von West nach Ost und von den Küsten zum Binnenland eine zunehmende Kontinentalität zu beobachten. Sie zeigt sich durch eine Zunahme der Temperaturschwankungen, sowohl im Tagesgang als auch im Jahresgang, und im Mittel abnehmende Niederschlagssummen und Windgeschwindigkeiten.

Die atmosphärischen Beobachtungswerte zeigen seit Beginn der Messreihen Ende des 19. Jahrhunderts systematische Veränderungen für die Region als Ganzes. Am deutlichsten ist die Änderung bei der Temperatur, die im Jahresmittel seit 1901 etwa um 1 °C zugenommen hat, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass die vor dem 2. Weltkrieg aufgenommenen Daten heutigen Standards nicht gerecht werden. Dabei hat sich der positive Trend in den letzten drei Jahrzehnten markant verstärkt. Die Temperaturzunahme war im Sommer am geringsten, im Winter am größten. Der Niederschlag weist im gleichen Zeitraum insgesamt ebenfalls zunehmende Tendenz auf, wobei jedoch auch hier die Fehlerbalken an den Daten beträchtlich sein dürften. Lässt man dies außer Acht, so lag die mittlere Zunahme bei 8 mm pro Dekade, was etwa 1 % der mittleren Summe entspricht. Dabei fand im Sommer sogar eine geringe Abnahme statt, während die anderen Jahreszeiten – und vor allem der Herbst – eine Zunahme verzeichneten. Anders als oft behauptet wurde jedoch weder bei der mittleren Windgeschwindigkeit noch bei den Stürmen ein Langzeittrend festgestellt.

Das Klima der Stadt Hamburg ist durch die dichte Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe, starke Bodenversiegelung, fehlende Vegetation und erhöhte Emissionen im Vergleich zum Umland modifiziert. Trotz der relativ guten Luftdurchmischung in Meeresnähe und einem großen Grün- und Wasserflächenanteil ist der Stadteffekt deutlich ausgeprägt. Der „Wärmeinseleffekt“, das ist der Temperaturunterschied zwischen Innenstadt und Außenbezirken, beträgt im Jahresmittel mehr als 1 °C. Er ist erwartungsgemäß nachts größer als am Tage und zwischen Mai und Oktober mit mittleren Abweichungen von bis zu 3 °C im Mittel am größten. Auch die für Großstädte typische Niederschlagserhöhung wurde mit Werten von 5 % bis zu 20 % im Abstand von ca. 30 km in Lee (die dem Wind abgewandte Seite) der Innenstadt nachgewiesen.

1.3.1.2 Das Klima der Region und mögliche Entwicklungen in der Zukunft bis 2100

A1B-Szenarien, die mit vier verschiedenen regionalen Klimamodellen statistischer und dynamischer Art realisiert wurden, werden in Kap. 2 für die Metropolregion Hamburg analysiert. Das A1B-Szenario beschreibt die globalen CO₂-Emissionen, die bis zur Mitte dieses Jahrhunderts in etwa einer business-as-usual Annahme entsprechen, danach aber allmählich vermindert werden, sowie deren Folgen. Kap. 3 konzentriert sich im Wesentlichen auf die A1B Szenarien, da sich für diesen Fall die Ergebnisse verschiedener regionaler Klimamodelle bzw. Regionalisierungsverfahren vergleichen lassen.

Es liegen auch Simulationen zu anderen globalen Emissionsszenarien von Treibhausgasen und Aerosolen vor, die in Kap. 3 exemplarisch beschrieben werden. Tatsächliche Prognosen der Emissionen für die kommenden Jahrzehnte oder gar bis zum Ende dieses Jahrhunderts gibt es derzeit nicht. Je nachdem, ob die tatsächlichen Emissionen stärker oder schwächer als im A1B Szenario ausfallen, werden auch die Klimaänderungen im Großraum Hamburg stärker oder schwächer ausfallen.

Sämtliche Modellergebnisse zeigen für das A1B Emissionsszenario eine mögliche Zunahme der Jahresmitteltemperatur bis Mitte dieses Jahrhunderts um etwa 0,75 °C bis 1,75 °C und um etwa 2,5 °C bis 3 °C bis Ende dieses Jahrhunderts, wobei die Erwärmung in den Herbst- und Wintermonaten relativ stärker ausfällt als im Frühling und Sommer. Die Anzahl der Sommertage (Tage mit Höchsttemperaturen über 25 °C) kann von heute etwa 21 Tagen um 8 bis 24 Tage gegen Ende dieses Jahrhunderts zunehmen, die Anzahl der heißen Tage (Tage mit Höchsttemperaturen über 30 °C) von heute etwa 4 Tagen um 3 bis etwa 10 Tage.

Die Jahresniederschlagsmenge wird sich nach den vorliegenden Rechnungen vermutlich zunächst kaum ändern und erst gegen Ende dieses Jahrhunderts leicht zunehmen. Der Jahresgang des Niederschlags kann sich jedoch deutlich ändern. In sämtlichen Modellergebnissen sind mögliche Änderungen zu trockeneren Sommern und feuchteren Wintern zu erkennen. Die Bandbreite der Abschätzungen reicht von -5 % bis 40 % im Sommer und +15 % bis 40 % im Winter.

Wie erwähnt beziehen sich diese Zahlen auf die Auswertung nur eines durchaus plausiblen Szenarios,

wie sie zum 1. August 2009 zur Verfügung stand. Modellergebnisse, die andere Emissionsszenarien verwenden (beispielsweise A2 oder B1), zeigen von den genannten Werten abweichende Temperaturänderungen. So kann die mögliche Zunahme der Jahresmitteltemperatur bis Ende dieses Jahrhunderts auch 4 °C oder mehr betragen, wenn die Emissionen von Treibhausgasen künftig stärker ansteigen als im A1B-Szenarium angenommen. Abschätzungen zu Folgen extremer Szenarien maximal oder minimal denkbarer Treibhausgasemissionen sind inzwischen auch schon durchgeführt worden und etwa im „Norddeutschen Klimaatlas“ für die Region (siehe www.norddeutscher-klimaatlas.de/) auch dokumentiert. Demnach sind auch Anstiege bis zu 4,7 °C in der Temperatur bzw. 53 % im winterlichen Niederschlag zum Ende des Jahrhunderts nicht auszuschließen.

Detaillierte Aussagen zu möglichen Klimaänderungen für einzelne Unterregionen der Metropolregion, insbesondere Hamburg, oder gar für einzelne Stadtteile liegen ebenfalls noch nicht vor.

1.3.1.3 Das Klima der Region und mögliche Änderungen in der Deutschen Bucht

Es liegen relativ verlässliche Daten zur Bewertung langfristiger Oberflächentemperaturänderungen in der Deutschen Bucht vor. Demnach hat sich die Meeresoberflächentemperatur bei Helgoland im Zeitraum 1873–1995 um etwa 0,6–0,8 °C erwärmt. Seit etwa Mitte der 1980er Jahre wird ein verstärkter Anstieg beobachtet; im Zeitraum 1962–2002 stieg die Meeresoberflächentemperatur bei Helgoland im Jahresmittel um etwa 1,1 °C. Parallel dazu wird derzeit eine Tendenz zu weniger starken Eiswintern beobachtet. Für die Oberflächensalzgehalte lässt sich dagegen keine systematische Änderung innerhalb der letzten ca. 100 Jahre erkennen.

Der Meeresspiegel ist im globalen Mittel in den letzten ca. 100 Jahren um etwa 1–2 mm/Jahr gestiegen. Regional kann es dabei zu erheblichen Abweichungen von diesem globalen Mittelwert kommen. Für den Bereich der Deutschen Bucht sind diese bisher jedoch nicht ausreichend quantifiziert. Eine systematische Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs lässt sich aus Pegelmessungen derzeit weder für die niederländische noch für die deutsche Nordseeküste ableiten.

Wie stark sich Sturmfluthöhen an der deutschen Nordseeküste ändern, hängt in erster Line vom Meeresspiegelanstieg und vom Windklima in der Deutschen Bucht ab. Da sich die Windverhältnisse über der Nordsee in den letzten ca. 100 Jahren nicht systematisch verändert haben, laufen Sturmfluten bisher nur aufgrund des Meeresspiegelanstiegs höher auf. Die windstaubedingten Anteile am Wasserstand zeigen keine systematische Veränderung in den letzten ca. 160 Jahren.

Für Angaben zum Seegang liegen nur wesentlich kürzere Zeitreihen vor. Diese legen nahe, dass sich der Sturmseegang in den letzten etwa 45 Jahren um einige Dezimeter erhöht hat. Diese Änderungen fallen jedoch mit entsprechenden kürzerfristigen Schwankungen im Sturmklima zusammen, so dass es nahe liegt, dass derzeit keine systematischen Veränderungen im Seegangsklima zu beobachten sind, wenn längere Zeiträume von 100 Jahren und mehr betrachtet werden.

Für die Zukunft ist von einer weiteren Erwärmung des Wasserkörpers im Bereich der Deutschen Bucht von etwa 1–2 °C zum Ende des Jahrhunderts auszugehen. Für den Oberflächensalzgehalt liefern die vorliegenden Studien derzeit keine konsistenten Ergebnisse. Es liegen keine expliziten Studien zur Veränderung im Eisklima vor. Laut aktuellem Sachstandsbericht des IPCC könnte der globale Meeresspiegel sich bis Ende des 21. Jahrhunderts um etwa zwei bis sechs Dezimeter erhöhen. Außerdem können sich Prozesse in den großen Eisschilden Grönlands und der Antarktis so verstärken, dass sie den globalen Meeresspiegel zusätzlich ansteigen lassen. Insgesamt ist dann laut IPCC ein weltweiter Meeresspiegelanstieg von etwa zwei bis acht Dezimeter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts plausibel. Klimarechnungen und Sturmflut-szenarien für die Zukunft weisen darauf hin, dass Nordseestürme im Winter stärker werden können und dass Sturmflutwasserstände windbedingt bis zum Ende des Jahrhunderts dementsprechend höher auflaufen können. Geht man davon aus, dass der Meeresspiegelanstieg an der deutschen Nordseeküste auch künftig etwa dem durchschnittlichen globalen Meeresspiegelanstieg entspricht, wird auch das Ausgangsniveau der Nordseesturmfluten in Zukunft weiter ansteigen. Zusammen mit einem veränderten Windklima können Nordseesturmfluten bis zum Ende des Jahrhunderts dann insgesamt etwa drei bis elf Dezimeter höher auflaufen als heute. Zusätzlich ist mit einer entspre-

chenden Erhöhung des Sturmseegangs im Bereich der Deutschen Bucht zu rechnen.

1.3.1.4 Das Klima der Region und mögliche Änderungen in der Tideelbe

Der Wasserstand und die Strömung werden in der Tideelbe vom Wehr bei Geesthacht bis zur Mündung bei Cuxhaven durch den Oberwasserzufluss der Elbe, durch die aus der Nordsee einlaufende Gezeitenwelle und durch den Wind geprägt. Durch die Überlagerung dieser verschiedenen Einflüsse entwickelt sich der räumlich und zeitlich variierende Wasserstand in Abhängigkeit von der Geometrie der Tideelbe. Die Geometrie des gegenwärtigen Zustands der Tideelbe ist Jahrhunderte lang durch die Nutzung des Menschen geprägt worden. Insbesondere durch Ausbaumaßnahmen des Hamburger Hafens und der Fahrrinne ist in den vergangenen 50 Jahren das mittlere Tideniedrigwasser am Pegel Hamburg-St. Pauli um ca. 1 m abgesunken und das mittlere Tidehochwasser um ca. 0,5 m angestiegen. Im Vergleich zu Cuxhaven laufen heute in Hamburg die Sturmflutscheitelwasserstände im Jahresmittel ca. 0,5 m höher auf als noch vor wenigen Jahrzehnten. Dreiviertel dieser Zunahme wird den durchgeführten Küstenschutzmaßnahmen an der Tideelbe zugeschrieben. Gleichzeitig ist es zu einer Häufigkeitszunahme der Sturmflutereignisse gekommen. In der Tideelbe haben die großen Signale, die durch eine Vielzahl von anthropogenen Eingriffen erzeugt worden sind, das relativ kleine Klimasignal überprägt, so dass das Klimasignal nur schwer zu entdecken ist.

Aktuelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die Folgen des Klimawandels die Verhältnisse in der Tideelbe verändern werden. Das Abflussmaximum der Elbe verlagert sich vom Frühjahr in den Winter, Niedrigwasserphasen treten früher im Jahr ein, dauern länger an und unterschreiten das gewohnte Niveau deutlicher. Der durch den Klimawandel bedingte zusätzliche Anstieg des Meeresspiegels wird zu einem Anstieg des mittleren Tidehochwassers in der Tideelbe führen. Dieser Anstieg wird größer sein als der Meeresspiegelanstieg im Küstenvorfeld. Außerdem wird bis 2030 ein Anstieg der jährlichen Höchstwasserstände von 20 cm (± 20 cm) erwartet und bis 2085 im Mittel von 63 cm (± 50 cm).

1.3.2 Klimabedingte Änderungen in Ökosystemen

1.3.2.1 Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semiterrestrischen Ökosystemen

Bislang liegen nur wenige Untersuchungen aus der Metropolregion Hamburg vor, die sich mit möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme beschäftigt haben. Allerdings gibt es zahlreiche entsprechende Untersuchungen aus anderen Regionen, die folgende Kernaussagen ermöglichen: Die Auswirkungen des Klimawandels der vergangenen Dekaden auf die Phänologie von Pflanzenarten sind bereits offensichtlich: In Deutschland hat zwischen 1961 und 2000 die Vegetationsperiode um 2,3 Tage und der Beginn der Obstblüte um 2,0 bzw. 2,2 Tage pro Jahrzehnt früher eingesetzt. In Hamburg hat sich der Beginn der Forsythienblüte seit 1945 um etwa 4 Wochen verfrüht.

Erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentrationen bewirken eine veränderte Physiologie der Pflanzen, die bei reduzierter Assimilationskapazität zu einer höheren Nettoprimärproduktion und höheren Wassernutzungseffizienz infolge verringerter Transpiration führt. Die quantitativen Ausprägungen der Reaktionen unterscheiden sich jedoch erheblich zwischen Pflanzentypen und auch zwischen einzelnen Arten.

Für Nord- und Zentraleuropa werden für das 21. Jahrhundert deutliche Veränderungen im Bodenwasser- und Bodenwärmehaushalt und damit in den wesentlichen Steuergrößen terrestrischer und semiterrestrischer Ökosysteme als möglich und plausibel beschrieben. Allerdings sind die derzeit verfügbaren Modelle und Messungen ungenügend, um diese Folgen veränderter Klimabedingungen in der Metropolregion Hamburg abzubilden.

Mögliche Klimaänderungen können deutliche Auswirkungen auf Waldökosysteme in der Metropolregion Hamburg haben: Neben der Rotbuche gelten Sand-Birke, Spitz- und Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Winter-Linde als wenig vom Klimawandel „betroffen“. Von einem wärmeren Klima profitieren wärmeterolerante Baumarten wie z. B. Stiel- und Trauben-Eiche, Hainbuche, Sommer-Linde und Gemeine Esche, während Fichte und Kiefer in Mitteleuropa diesbezüglich allgemein als Risikobaumarten eingestuft werden.

Ästuarine Marschen und Küstenmarschen sind vor allem von einem Meeresspiegelanstieg betroffen: Ein Anstieg des Meeresspiegels kann zu erhöhter Erosion und somit Flächenverlusten der Marschen führen, wenn nicht ausreichend Material in den Marschen sedimentiert, um den Meeresspiegelanstieg durch „Mitwachsen“ der Marschoberfläche zu kompensieren. Bislang vorliegende Untersuchungsergebnisse legen aber nahe, dass im Bereich des Elbe-Ästuars der erwartete Meeresspiegelanstieg durch die Sedimentationsraten kompensiert werden kann. Eine durch den Meeresspiegelanstieg induzierte signifikante Verschiebung der Brackwassergrenze in Richtung Hamburg hätte negative Auswirkungen auf die im Süßwasser-Tidebereich vorkommenden endemischen Pflanzenarten.

Moore haben als Kohlenstoffspeicher eine herausragende Bedeutung für das Klimageschehen. Temperaturerhöhung und verminderte Sommerniederschläge in der Metropolregion Hamburg können sich negativ auf die Akkumulation von Kohlenstoff in Mooren auswirken.

Charakteristische (und heute selten gewordene) Arten artenreicher Feuchtwiesen könnten, bedingt durch niedrigere sommerliche Wasserstände, von weit verbreiteten und häufigen Arten des Wirtschaftsgrünlandes verdrängt werden. Abnehmende Wassergehalte bedingen weiterhin die erhöhte Freisetzung von Stickstoff aus den (Torf-) Böden des Feuchtgrünlandes.

Urbane Ökosysteme in Hamburg werden schon heute durch klimatische Bedingungen geprägt, die als mögliche zukünftige Klimazustände für den ländlichen Raum des norddeutschen Tieflandes diskutiert werden.

1.3.2.2 Klimabedingte Änderungen in aquatischen Ökosystemen: Elbe, Wattenmeer und Nordsee

Zur Zeit findet ein Einzug von neuen Arten in die aquatischen Ökosysteme der Region (Elbe, Nordsee) statt, die sich teilweise erfolgreich angesiedelt haben und sogar eine erhebliche Ausdehnung zeigen. Deutliches Beispiel ist die Ansiedlung der pazifischen Auster im Wattenmeer, deren Etablierung durch milde Wintertemperaturen ermöglicht wurde. Wie dauerhaft sich dadurch das Wattenmeer-Ökosystem verändert und möglicherweise noch weiter verändern wird, lässt sich noch nicht beurteilen. Jedoch erscheint es

sehr plausibel, dass ein weiterer Anstieg der Temperatur zu Verschiebungen in Flora und Fauna führen wird. In der Nordsee könnte das vermehrte Auftreten von gelatinösem Zooplankton (Quallen) bei höheren Temperaturen zu einer ernsthaften Nahrungskonkurrenz für die Fischbestände führen.

Für die Zukunft ist es plausibel, dass die erwartete fortgesetzte Erwärmung in Verbindung mit trockeneren Sommern und damit kleineren Abflusswerten die sommerlichen Sauerstoffdefizite in der Tideelbe unterhalb Hamburgs verstärken kann und so – in Verbindung mit höheren Temperaturen – zu vermehrtem Fischsterben führen kann. Eine stromaufwärts gerichtete Verschiebung der Trübungszone und der Brackwassergrenze wird ebenfalls vor allem in den trockeneren Sommern zu beobachten sein. Unterschiedliche Aussagen finden sich zur Sedimentation und Flächenänderungen von Vordeichs- und Wattgebieten und damit zur Gefährdung von Tideauenwäldern.

1.3.3 Klimabedingte Änderungen in Wirtschaftssektoren

1.3.3.1 Klimabedingte Änderungen im Wirtschaftssektor Tourismus

Untersuchungen zu den Auswirkungen von Klimawandel auf die Tourismuswirtschaft der Metropolregion Hamburg sind lediglich im Ansatz zu finden, vor allem für die Nordseeküste. Hier wird primär die erwartete Verlängerung der Sommersaison voraussichtlich positive ökonomische Effekte mit sich führen. Allerdings werden erforderliche verstärkte Anstrengungen im Küstenschutz bisweilen gegen die ökonomischen Interessen der Tourismusbranche stehen. Zudem dürfen ökologische Gesichtspunkte bei einem erwarteten verstärkten Druck auf die Ökosysteme durch eine mögliche steigende Touristenanzahl im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung nicht vernachlässigt werden.

Es gibt aber umfangreiche Forschungen zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismussektor im Allgemeinen und zu anderen Regionen. Adaptationsstrategien werden für nötig erachtet, die zu einer Reduktion der Vulnerabilität des Tourismus, besonders von Destinationen, führen können. Solche Handlungsoptionen beziehen sich bspw. auf ei-

ne Verlagerung auf klimaunabhängige Angebote (z. B. Indoor-Sporthallen, Wellness etc.) oder eine zeitliche Anpassung der Saisonzeiten sowie Bewusstseinsförderung bei Touristikern und Reisenden.

Externe Faktoren, wie steigende Ölpreise, verändertes Reiseverhalten (z. B. mehr Kurzreisen, höherer Qualitätsanspruch, individuell zugeschnittene Reisepakete) sowie u. a. durch den demographischen Wandel hervorgerufene neue Zielgruppen werden die Tourismusbranche zusätzlich in der Zukunft beeinflussen und sollten bei der Planung einer nachhaltigen Tourismusentwicklung neben der globalen Klimaveränderung mit berücksichtigt werden. Die Frage, welche Bedeutung das Klima im Gegensatz zu den genannten externen Faktoren für die Reiseentscheidung besitzt, ist bisher wissenschaftlich nicht ausreichend erforscht worden. Bislang gibt es keine integrativen Modellierungen, in denen Klimaszenarien systematisch verknüpft werden mit (sozial-) wissenschaftlich fundierten Tourismusszenarien.

1.3.3.2 Klimabedingte Änderungen im Wirtschaftssektor Landwirtschaft

Spezifische Auswertungen hinsichtlich erwarteter Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf die Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg sind kaum vorhanden. In der Literatur veröffentlichte Aussagen sind eher allgemeiner Natur. Erste Berichte liegen zum Bereich „Klimawandel und Obstbau“ vor. Zur Zeit laufende Forschungsprojekte lassen weitere regionalspezifische Ergebnisse erwarten.

Hinsichtlich des Obstanbaus können eine verlängerte Vegetationsperiode und steigende Temperaturen den Anbau neuer, spät reifender Apfelsorten (z. B. Braeburn) zunehmend verbessern. Über viele Jahre etablierte Sorten wie der „Holsteiner Cox“ werden vermutlich verdrängt, da diese Apfelsorte an die steigenden Temperaturen weniger gut angepasst ist.

Der beobachtete Temperaturanstieg hat bereits zu einem deutlich früheren Blühbeginn der Obstgehölze geführt, wovon auch der Erntetermin betroffen ist. Steigende Temperaturen lassen einen früheren Blühbeginn erwarten, wobei die Spätfrostschäden am Apfel hier vermutlich nur leicht zunehmen. Eine künftig möglicherweise deutlich frühere Reife der Äpfel kann zu Ertragsverlusten führen, wenn kein Sortenwechsel vorgenommen wird. Eine stärkere Bekämpfung des

Apfelwicklers an der Niederelbe wird möglicherweise notwendig, wenn künftig mehr als eine Generation des Apfelwicklers im Jahr auftritt. Insgesamt wird eine Anpassung des Obstbaus an den Klimawandel als notwendig und effizient angesehen, so dass hierdurch letztendlich Kosten eingespart werden könnten.

Für den Pflanzenbau lassen sich folgende eher allgemeine Trendaussagen zusammenfassen: Die in einigen Teilen der Metropolregion Hamburg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt niedrigeren Temperaturen und die gute Niederschlagsversorgung stellen eine gute Ausgangslage dar, so dass die Auswirkungen der oben skizzierten Klimaänderungen in dieser Region möglicherweise gering sind. Die Anbaubedingungen zum Beispiel für Körnermais in Schleswig-Holstein können sich verbessern.

1.3.4 Planerisch-organisatorische und technische Anpassungspotenziale

1.3.4.1 Planerisch-organisatorische Anpassungspotenziale an den Klimawandel

Der wissenschaftliche Diskurs über planerisch-organisatorische Potenziale und Lösungsstrategien der Anpassung an den Klimawandel befindet sich noch am Anfang. Dies gilt auch für die Metropolregion Hamburg. Weiter fortgeschritten ist dagegen die Auseinandersetzung mit einzelnen fachplanerischen sowie problem- bzw. raumbezogenen (Management-) Ansätzen, z. B. in Flussgebieten und Küstenräumen.

Planerisch-organisatorische Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel sind Teil einer Climate Adaptation Governance und weisen auf ein breites Spektrum von Gestaltungs- und Koordinationsformen für die Metropolregion Hamburg hin. Formale Regelungsformen erfüllen dort eine wichtige Funktion, wo es um die verbindliche Steuerung zukünftiger Raumnutzungen geht, z. B. das Freihalten von Überschwemmungsgebieten mit Hilfe der Landes-, Regional- und Bauleitplanung. Dissens herrscht allerdings hinsichtlich der Frage, ob den Belangen der Klimaanpassung innerhalb von bauleitplanerischen Abwägungen das erforderliche Gewicht beigemessen werden kann, da die Unsicherheiten der Klimaszenarien eindeutige Aussagen über Kausalfolgen erschweren.

Die Raumplanung kann die bestehenden Raum- und Siedlungsstrukturen mit hoheitlichen Instrumenten kaum beeinflussen, weswegen informelle, auf die Überzeugung und Mitwirkung der Akteure setzende Regelungsformen für die Metropolregion Hamburg an Bedeutung gewinnen. Informelle Instrumente, z. B. Leitbilder, Entwicklungskonzepte und Zielvereinbarungen, erhöhen die Chance auf kooperative Entscheidungsprozesse und können außerdem die Umsetzungsqualität von Anpassungsstrategien und Maßnahmen verbessern. Darüber hinaus komplettieren ökonomische Instrumente, z. B. Förderprogramme oder Marktteilnahme, und die Organisationsentwicklung die planerisch-organisatorischen Lösungsstrategien.

Erfahrungen mit übergreifenden Konzepten liegen für die Metropolregion Hamburg bzw. Norddeutschland bereits durch das Flussgebietsmanagement und das Integrierte Küstenzonenmanagement vor, die sich mit ihren Lösungsstrategien an den naturräumlichen Gegebenheiten (Fluss, Küste) orientieren. Diese raumbezogenen Ansätze weisen vielfältige Schnittstellen zu einem ebenen- und ressortübergreifenden Management der Folgen des Klimawandels auf, müssen allerdings noch auf die spezifischen Anforderungen der Klimaanpassung ausgerichtet werden.

Ein Konsens besteht insgesamt darin, dass eine sinnvolle Kombination formeller und informeller Instrumente eine Grundvoraussetzung für wirkungsvolle Klimaanpassung in der Metropolregion Hamburg ist. Eine wichtige Anforderung für Planungs- und Managementprozesse liegt dabei zukünftig darin, die bestehenden Unsicherheiten über die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen und einen entsprechend dynamischen und flexiblen, aber zugleich ausreichend verbindlichen Regelungsrahmen zu konzipieren. Dabei geht es weniger um umfassende Pläne mit finalen Aussagen, sondern vielmehr darum, strategische Entscheidungsprozesse der Stadt- und Regionalplanung bzw. -entwicklung sowie der Fachplanungen auf zukünftig erwartete Klimaänderungen zu beziehen.

1.3.4.2 Technische Potenziale zur Anpassung an den Klimawandel

Technische Potenziale zur Anpassung an den Klimawandel sind speziell für die Metropolregion Hamburg nur in geringerem Umfang publiziert. Die Pu-

blikationen beziehen sich im Wesentlichen auf das Themenfeld Hochwasser- und Sturmflutschutz, aber auch auf den Binnenhochwasserschutz und Erosionsschutz.

Unabhängig vom Ausmaß des zu erwartenden Klimawandels wird für den Hochwasser- und Sturmflutschutz die Strategie der Anpassung favorisiert, also beispielsweise die Erhöhung von Deichen und Hochwasserschutzwänden. Neben dieser Strategie liegen prinzipielle Überlegungen zur Anlage eines Sturmflutsperrwerkes und von Überflutungspoldern vor. Konkrete wissenschaftliche Untersuchungen, wie sie

beispielsweise für die Unterweserregion vorliegen, existieren für Hamburg bisher nicht.

Technische Anpassungsmöglichkeiten für den Binnenhochwasserschutz der Stadt Hamburg wurden bereits wissenschaftlich untersucht. So liegen für ausgewählte Bereiche des Stadtgebiets Hamburg (z. B. Wilhelmsburg) Erkenntnisse zur Anlage von „Kaskadierenden Flutkammersystemen“ vor. Das „Tideelbe- projekt“, das zunächst für die Minderung des Sedimenttransports in den Hamburger Raum geplant war, hat sich als innovativer Ansatz zur Verminderung der Sturmflutgefährdung in der Metropolregion erwiesen.