

Klimawandel in Norddeutschland

Bisherige Änderungen und mögliche Entwicklungen in Zukunft

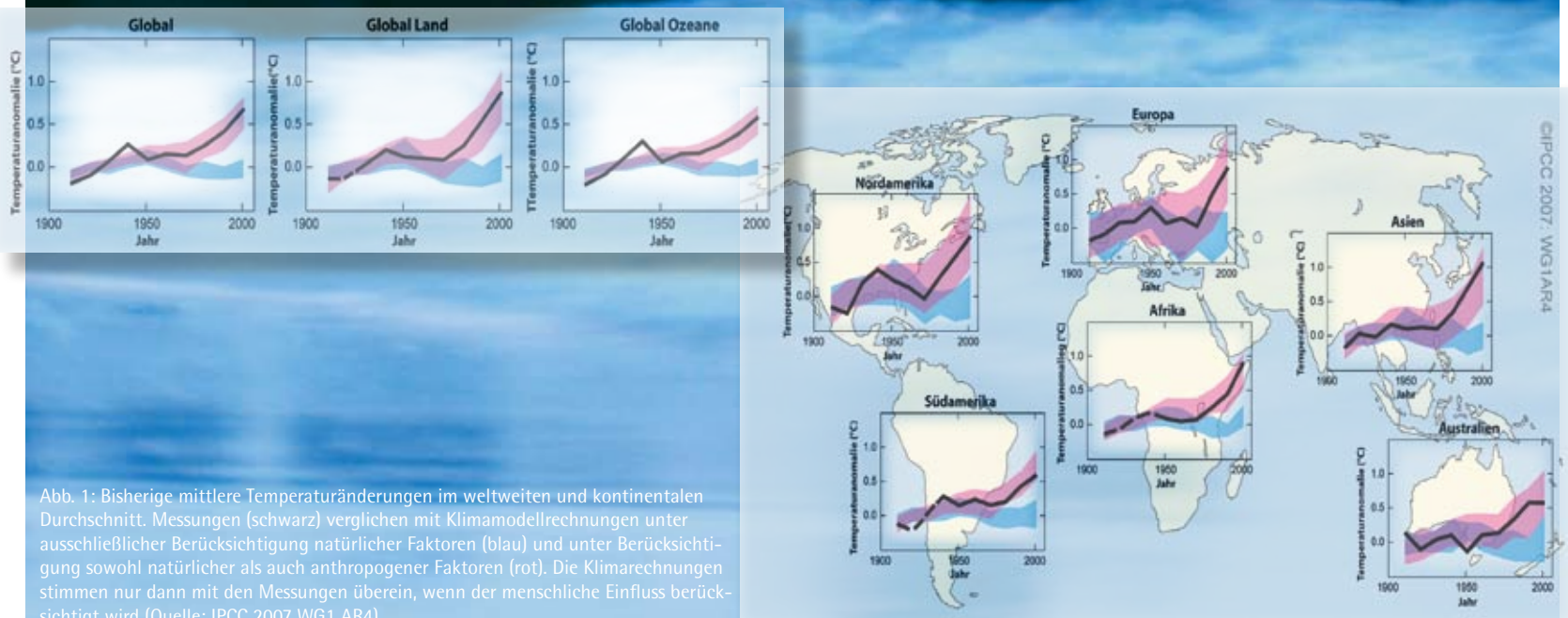


Abb. 1: Bisherige mittlere Temperaturänderungen im weltweiten und kontinentalen Durchschnitt. Messungen (schwarz) verglichen mit Klimamodellrechnungen unter ausschließlicher Berücksichtigung natürlicher Faktoren (blau) und unter Berücksichtigung sowohl natürlicher als auch anthropogener Faktoren (rot). Die Klimarechnungen stimmen nur dann mit den Messungen überein, wenn der menschliche Einfluss berücksichtigt wird (Quelle: IPCC 2007 WG1 AR4).

Klima ist eine Wetterstatistik über einen langjährigen Zeitraum. Bisherige Klimaänderungen können also durch Messungen an Wetterstationen über mehrere Jahrzehnte innerhalb des letzten Jahrhunderts belegt werden. Im letzten Jahrhundert hat sich unser Klima weltweit verändert. Insbesondere die Erwärmung kann mit sehr großer Wahrscheinlichkeit dem menschlichen Einfluss zugeordnet werden.

BISHERIGE KLIMAÄNDERUNGEN

Temperaturmessungen zeigen weltweit eine mittlere Erwärmung von etwa 0,8 °C (vgl. Abb. 1). Außerdem zeigen Satellitenmessungen, dass sich die Schneedecke allein auf der Nordhalbkugel um 2 Mio. km² reduziert hat. Versuche, die weltweite Erwärmung des letzten Jahrhunderts mit numerischen Klimamodellen zu berechnen, scheiterten, solange diesen Simulationen ausschließlich natürliche Faktoren zugrunde gelegt werden. Wird jedoch zusätzlich der menschliche Einfluss berücksichtigt, kann die Erwärmung innerhalb des letzten Jahrhunderts durch numerische Klimamodelle gut abgebildet werden (vgl. Abb. 1). Natürliche Faktoren allein können die Erwärmung also nicht erklären (IPCC 2007). Die weltweite durchschnittliche Erwärmung von 0,8 °C prägt sich von Region zu Region unterschiedlich aus. Manche Regionen, wie beispielsweise Grönland haben sich stärker erwärmt, andere Regionen, wie z. B. Florida haben sich bisher schwächer erwärmt.

BISHERIGE KLIMAÄNDERUNGEN IN NORDDEUTSCHLAND

Temperaturmessungen zeigen, dass Norddeutschland sich mit 0,8 °C – verglichen mit anderen Regionen – durchschnittlich erwärmt hat (vgl. Abb. 2). Dies gilt auch für Schleswig-Holstein. Dagegen haben sich Hamburg (+1,1 °C) und Niedersachsen (+1,0 °C) stärker erwärmt. Bremen (+0,7 °C) und Mecklenburg-Vorpommern (+0,4 °C) zeigen bislang eine etwas schwächere Erwärmung. Durch die Erwärmung hat sich auch die Häufigkeit der Sommertage in Norddeutschland verändert: So erleben wir heute etwa 10 Sommertage mehr als vor etwa 60 Jahren. Demgegenüber werden heute im Winterhalbjahr etwa 20 Frosttage weniger registriert als in den 1940er Jahren (KLEINTANK et al. 2002). Diese Änderungen haben sich auch auf die Vegetation ausgewirkt. Insgesamt dauern heute Vegetationsperioden in Deutschland etwa 25 Tage

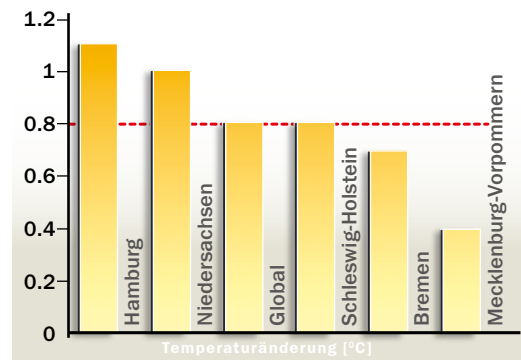


Abb. 2: Änderungen der Temperatur in Norddeutschland. Der Abbildung liegen Temperaturmessungen aller verfügbaren Messstationen in norddeutschen Bundesländern zugrunde.

länger an als 1960 (CHMIELEWSKI 2009). Ein Beispiel für diese Veränderung ist in Norddeutschland der Beginn der Apfelblüte: Je nach Apfelsorte und Standort beginnt die Blüte heute sogar etwa 15 bis 20 Tage früher als noch in den 1970er Jahren (CHMIELEWSKI 2009). Weitere Änderungen lassen sich aus den Niederschlagsmessungen erkennen: In ganz Deutschland hat der Niederschlag im letzten Jahrhundert um 8 % zugenommen. Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg und Bremen liegen mit 10-13 % dabei über dem bundesweiten Durchschnitt, in Mecklenburg-Vorpommern hat der Niederschlag mit etwa 1,5 % unterdurchschnittlich zugenommen. Vergleicht man die Jahreszeiten untereinander, wird deutlich, dass der Niederschlag insbesondere im Winter zunimmt, während im Sommer bisher keine wesentlichen Veränderungen messbar sind.

BISHERIGE ÄNDERUNGEN VON NORDSEESTURMFLOTEN

Für Norddeutschland ist neben diesen atmosphärischen Änderungen auch die Entwicklung von Wasserständen von besonderer Bedeutung. Wie stark sich Sturmfluthöhen an der deutschen Nordseeküste ändern, hängt in erster Linie vom Meeresspiegelanstieg

und vom Windklima in der Deutschen Bucht ab (vgl. Abb. 3). Die Windverhältnisse haben sich über der Nordsee mit dem Klimawandel bisher nicht systematisch verändert. Sowohl Wind- als auch Luftdruckmessungen zeigen vielmehr, dass Stärke und Häufigkeit der Nordseestürme im letzten Jahrhundert starken Schwankungen unterlagen. Diese liegen jedoch im normalen Schwankungsbereich. Eine Sturmsaison bringt heute aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels weder heftigere noch häufigere Stürme in der Deutschen Bucht hervor als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Dementsprechend laufen Sturmfluten heute windbedingt nicht höher auf als noch vor 100 Jahren. Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren weltweit durchschnittlich etwa zwei Dezimeter angestiegen. Die Nordsee hat mit dieser Entwicklung ungefähr Schritt gehalten. Weil sie heute durch den Meeresspiegelanstieg ein höheres Ausgangsniveau vorfinden, laufen auch die Sturmfluten in der Nordsee durchschnittlich etwa zwei Dezimeter höher auf als noch vor 100 Jahren.

MÖGLICHE KLIMAÄNDERUNGEN BIS 2100

Geht man von den künftig möglichen Treibhausgaskonzentrationen aus, die der UN-Klimarat IPPC zugrunde legt (vgl. IPCC 2007), müssen wir bis zum Ende des Jahrhunderts – verglichen mit heute – mit einer weltweiten durchschnittlichen Erwärmung von 2 bis 4,5 °C rechnen. Verglichen mit der Erwärmung des letzten Jahrhunderts kann sich die Erderwärmung im nächsten Jahrhundert also verfünffachen, günstigstenfalls wird sie sich „nur“ verdoppeln.

MÖGLICHE KÜNFTIGE ÄNDERUNGEN IM JAHRESDURCHSCHNITT

In Norddeutschland müssen wir schon innerhalb der nächsten 30 Jahre mit einer Erwärmung von 0,5 bis 1,1 °C rechnen (vgl. Abb. 4, oben). Dies verdeutlicht, dass sich eine beschleunigte Erwärmung auch in



Abb. 3: Schematische Darstellung der Faktoren, die Sturmflutwasserstände ändern können. Änderungen im globalen und regionalen Meeresspiegel beeinflussen sowohl die mittleren als auch die Sturmflutwasserstände. Änderungen im Windklima und Wellenauflauf sind nur für die Sturmflutwasserstände von Bedeutung. Zusätzlich zu den dargestellten Faktoren spielen gezeitenbedingte Änderungen eine Rolle (NORDEUTSCHES KLIMABÜRO 2009)

Norddeutschland schon in naher Zukunft ausprägen kann. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts kann die mittlere Lufttemperatur in Norddeutschland um 1,2 °C bis 2,3 °C ansteigen, bis zum Ende des Jahrhunderts sind Erwärmungen zwischen 2 °C und 4,7 °C plausibel (vgl. Abb. 4, oben).

Neben der Erwärmung weisen Klimarechnungen auf eine Zunahme des Niederschlages in Norddeutschland hin. Schon innerhalb der nächsten 30 Jahre kann im Jahresmittel bis zu 8 % mehr Niederschlag fallen. Bis Mitte des Jahrhunderts kann es im Vergleich zu heute etwa 2 bis 12 % mehr Niederschlag pro Jahr geben, bis zum Ende des Jahrhunderts erscheint eine Zunahme von 1 bis 13 % plausibel (vgl. Abb. 4, unten).

1,8 bis 5,1 °C wärmer werden (vgl. Abb. 5a). Am stärksten kann sich bis 2100 der Juli mit bis zu 6 °C erwärmen. Durch die Erwärmung können wir schon in den nächsten 30 Jahren mit bis zu vier zusätzlichen Sommertagen pro Jahr rechnen, an denen das Thermometer über 25 °C steigt. Bis zum Ende des Jahrhunderts können es dann – verglichen mit heute – sieben bis 35 zusätzliche Sommertage werden (Abb. 5b). Neben der Erwärmung weisen Klimarechnungen außerdem darauf hin, dass die sommerlichen Windgeschwindigkeiten bis Ende des Jahrhunderts um bis zu 12 % abnehmen können (Abb. 5d). Im Gegensatz zum ganzjährigen Durchschnitt lassen die Klimarechnungen für den Sommer ab Mitte des 21. Jahrhunderts weniger Regen plausibel

Auch im Winter kann es in Norddeutschland bis Ende des 21. Jahrhunderts etwa 1,8 bis 5 °C wärmer werden (Abb. 7a). Somit kann sich die Anzahl der Frosttage in Norddeutschland künftig stark reduzieren: In den nächsten 30 Jahren kann es pro Jahr bis zu 21 Frosttage weniger geben. Bis zum Ende des Jahrhunderts werden sie wahrscheinlich noch seltener: Im Vergleich zu heute kann es dann etwa 15 bis 46 Frosttage weniger geben (vgl. Abb. 7b). Im Gegensatz zum Sommer rechnen wir in den Wintermonaten mit einer deutlichen Zunahme des Niederschlages. Schon in den nächsten 30 Jahren kann der Winterniederschlag etwa bis zu 24 % zunehmen. Bis zum Ende des Jahrhunderts kann es im Winter – verglichen mit heute – etwa 16 bis 58 % mehr Niederschlag geben (vgl. Abb. 7c). Am stärksten wird der Niederschlag vermutlich im Januar zunehmen: In diesem Monat kann der Niederschlag bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 73% zunehmen. Da sich aufgrund der Erwärmung gleichzeitig der Schneeanteil stark reduzieren kann, ist zu vermuten, dass dieser Niederschlag hauptsächlich als Regen fallen wird.

MÖGLICHE KÜNFTIGE ÄNDERUNG VON NORDSEESTURMFLUTEN

Klimarechnungen für die Zukunft weisen außerdem darauf hin, dass der Meeresspiegel weltweit künftig stärker ansteigen kann als bisher. In den letzten Jahrzehnten ist der globale Meeresspiegel durchschnittlich bereits stärker angestiegen, als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Würde man die derzeitige Anstiegsrate auf 100 Jahre linear fortschreiben, läge der Meeresspiegelanstieg bei etwa drei Dezimeter. Das IPCC erwartet bis Ende des 21. Jahrhunderts einen Meeresspiegelanstieg von etwa zwei bis sechs Dezimetern. Das bedeutet, dass sich die durchschnittliche bisherige Anstiegsrate des letzten Jahrhunderts (zwei Dezimeter) im nächsten Jahrhundert verdreifachen kann, mindestens aber gleich bleibt. Bis 2030 könnte der Meeresspiegel im weltweiten Durchschnitt – verglichen zu heute – etwa ein bis zwei Dezimeter ansteigen. Außerdem können sich Schmelzprozesse in den großen Eisschilden Grönlands und der Antarktis so verstärken, dass sie den globalen Meeresspiegel zusätzlich ansteigen lassen. Insgesamt ist dann laut IPCC ein weltweiter Meeresspiegelanstieg von zwei bis acht Dezimetern bis zum Ende des 21. Jahrhunderts plausibel.

Obwohl sich das Windklima über der Nordsee bisher nicht systematisch geändert hat, weisen Klimarechnungen für die Zukunft darauf hin, dass die Nordseestürme im Winter stärker werden können. Wintersturmgeschwindigkeiten können in Norddeutschland bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 12 % zunehmen (vgl. Abb. 7d). Dies gilt vor allem für Stürme aus westlichen und nördlichen Richtungen. Hauptsächlich Stürme aus diesen Richtungen stauen auch die Wassermassen an der deutschen Nordseeküste auf. Sturmflutszenarien weisen darauf hin, dass Sturmflutwasserstände windbedingt bis zum Ende des Jahrhunderts ein bis drei Dezimeter höher auflaufen

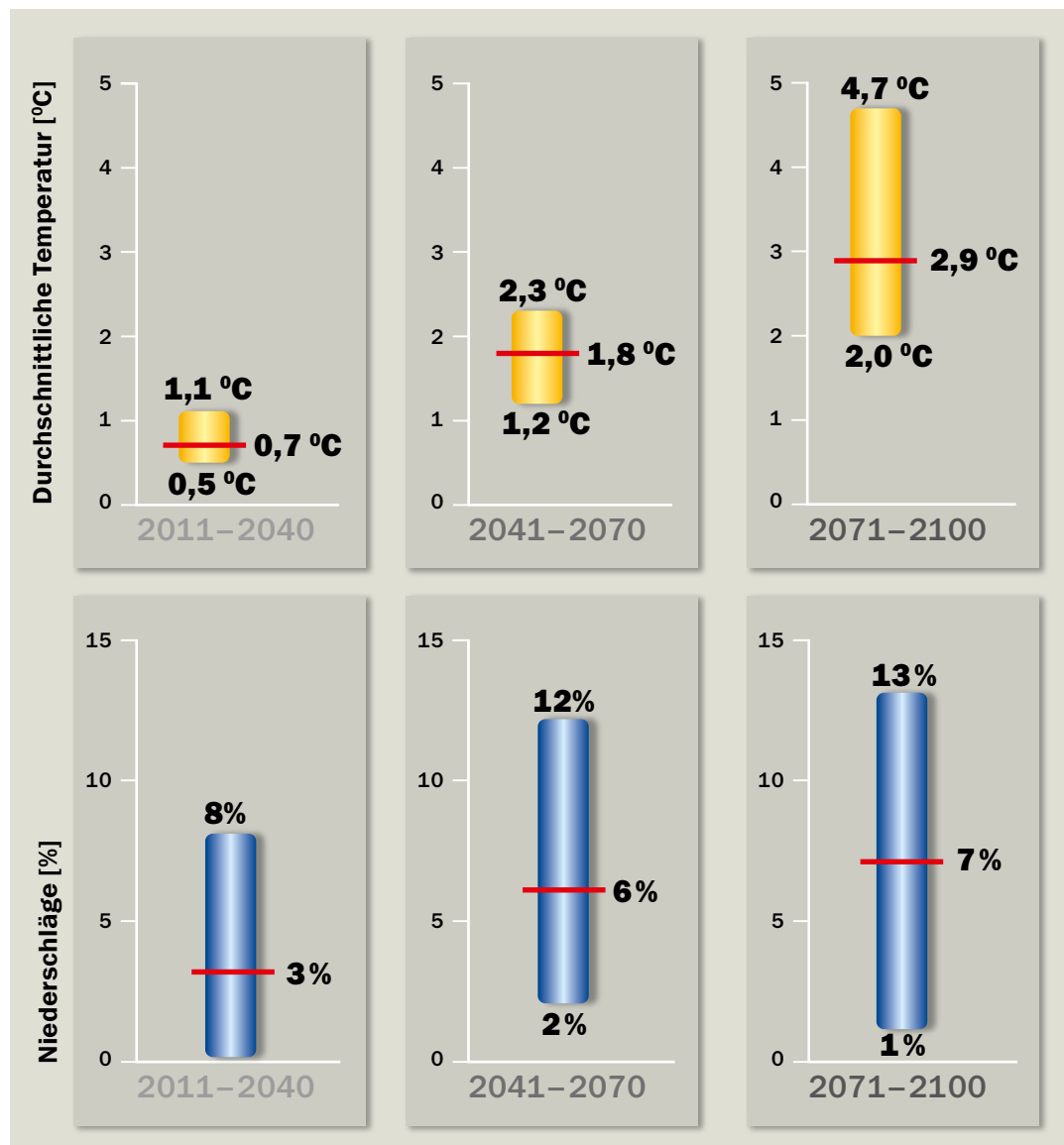


Abb. 4: Mögliche künftige Änderungen von Temperatur (oben) und Niederschlag (unten) im Jahresdurchschnitt (MEINKE, GERSTNER 2009, NORDDEUTSCHES KLIMABÜRO 2010).

MÖGLICHE KÜNFTIGE ÄNDERUNGEN IN DEN JAHRESZEITEN NORDDEUTSCHLANDS

Durch den anthropogenen Klimawandel kann sich auch der jahreszeitliche Wechsel von Temperatur, Niederschlag und Wind verändern: Im Sommer kann es bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zu heute etwa

erscheinen (Abb. 5c). Bis Ende des Jahrhunderts kann es in Norddeutschland im Vergleich zu heute etwa 8 bis 40 % weniger Regen geben. Im Juli kann sich der Niederschlag sogar fast bis zu 60 % reduzieren.

- CHMIELEWSKI, F.-M. 2009: Klimawandel und Landwirtschaft. Geographische Rundschau, Themenheft „Klimawandel im Industriezeitalter“, im Druck, 2009.
- GRABEMANN, I., WEISSE, R. 2008: Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: an ensemble study Ocean Dynamics, 58(3-4), 199-212, doi: 10.1007/s10236-008-0141-x.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007: Climate Change 2007 - The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the IPCC (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback).
- KLEIN-TANK, A., WUNGAARD, J., ENGELEN, A. 2002. Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36pp.
- LANGENBERG, H., PFIZENMAYER, A., VON STORCH, H., SÜNDERMANN, J. 1999: Storm related sea level variations along the North Sea coast: natural variability and anthropogenic change. Cont. Shelf Res. 19: 821-842.
- MEINKE, I., GERSTNER, E.-M. (2009): Digitaler Norddeutscher Klimaatlas informiert über möglichen künftigen Klimawandel. DMG Nachrichten 3-2009, 17.
- NORDDDEUTSCHES KLIMABÜRO (2009): Nordseesturmfluten im Klimawandel, http://www.norddeutsches-klimabuero.de/PDFs/Sturmflut_Statement_GKSS.pdf.
- NORDDDEUTSCHES KLIMABÜRO (2010): Norddeutscher Klimaatlas des Norddeutschen Klimabüros: www.norddeutscher-klimaatlas.de.
- ROCKEL, B., WOTH, K. 2007: Future changes in near surface wind extremes over Europe from an ensemble of RCM simulations. Climate Change, 10.1007/s10584-006-9227-y.
- VELLINGA, P., KATSMAN, C., STERL, A., BEERSMA, J. (red.) 2008: Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland. Internationale wetenschappelijke beoordeling. Uitgevoerd op verzoek van de Deltacommissie, Nederland, September 2008.
- VON STORCH, H., WOTH, K. 2008: Storm surges, perspectives and options. Sustainability Science 3, 33-44; DOI 10.1007/s11625-008-0044-2.
- VON STORCH, H., GÖNNERT, G., MEINE, M. 2008: Storm surges an option for Hamburg, Germany, to mitigate expected future aggravation of risk. Env. Sci. Pol. 11: 735-742 doi 10.1016/j.envsci.2008.08.003.
- WEISSE, R., PLÜSS, A. 2006: Storm related sea level variations along the North Sea Coast as simulated by a high-resolution model 1958-2002. Ocean Dynamics 56(1), 16-25, DOI: 10.1007/s10236-005-0037-y.
- WOTH, K. 2005: Projections of North Sea storm surge extremes in a warmer climate: How important are the RCM driving GCM and the chosen scenario? Geophys. Res. Lett. 32, L22708, doi: 10.1029/2005GL023762.

Korrespondenzadresse:

Dr. Insa Meinke
 Norddeutsches Klimabüro, Institut für Küstenforschung
 GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
 Max-Planck-Straße 1
 D-21502 Geesthacht
 E-Mail: insa.meinke@gkss.de

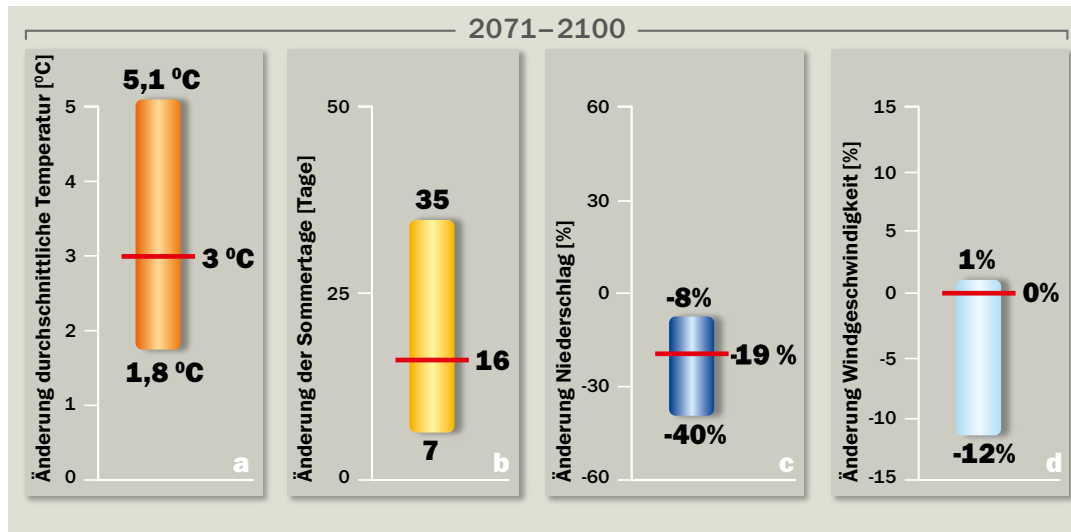


Abb. 5: Mögliche Änderungen im Sommer bis Ende des 21. Jahrhunderts verglichen mit heute. Temperatur (a), Sommertage (b), Niederschlag (c), Windgeschwindigkeit (d) (MEINKE, GERSTNER 2009, NORDDDEUTSCHES KLIMABÜRO 2010).

können (vgl. Abb. 6). Geht man nun 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 11 Dezimeter höher auflaufen als heute.

Bis 2030 ist der aktuelle Küstenschutz an der Nordsee ungefähr noch so wirksam wie heute, denn bis dahin werden Sturmfluten voraussichtlich „nur“ ein bis drei Dezimeter höher auflaufen als heute. Bis Ende des Jahrhunderts kann durch die erhöhten Sturmflutwasserstände allerdings Handlungsbedarf entstehen. Bis dahin müssten Küstenschutzmaßnahmen angepasst werden. Küstenbewohnern muss das Sturmflutrisiko bewusster werden, damit sie ihre Lebensbereiche vor möglichen Beeinträchtigungen schützen.

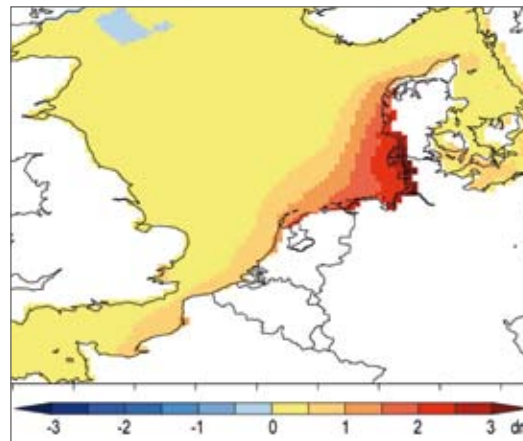


Abb. 6: Windbedingt können Nordseesturmfluten Ende des Jahrhunderts einen bis drei Dezimeter höher auflaufen als heute. Dazu kommen bis Ende des Jahrhunderts noch zwei bis acht Dezimeter Meeresspiegelanstieg. Insgesamt können Sturmfluten in der Deutschen Bucht dann drei bis elf Dezimeter höher auflaufen (nach WOTH 2005, verändert).

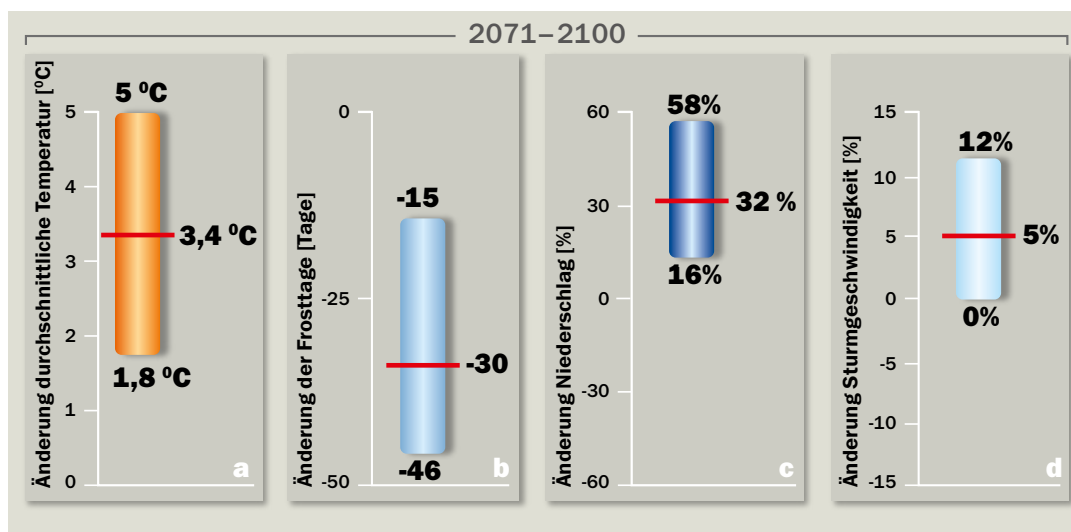


Abb. 7: Mögliche Änderungen im Winter bis Ende des 21. Jahrhunderts verglichen mit heute. Temperatur (a), Frosttage (b), Niederschlag (c), Sturmgeschwindigkeit (d) (MEINKE, GERSTNER 2009, NORDDDEUTSCHES KLIMABÜRO 2010).