

3.5 Das Klima im Bereich der deutschen Küsten seit Beginn des 20. Jahrhunderts

GUDRUN ROSENHAGEN

The climate along the German coast since the beginning of the 20th century: The article describes the climate along the German coasts of the North and Baltic Sea basing on in-situ measurements of different meteorological parameters. To detect possible trends, time series of homogeneous data of high quality for the period 1900 to 2010 are analyzed. As the climate in Northern Germany is strongly influenced by the weather conditions on the Atlantic Ocean the North Atlantic Oscillation Index (NAOI) as an acknowledged proxy for the pressure distribution is shown first. Afterwards wind, storm, temperature, precipitation and sunshine are discussed. Sea ice data of the Baltic coast and water temperature measurements of the isle of Helgoland complete the description. The investigation of the time series shows a significant increase of the temperature with an accelerated trend in the last decades whereas there is no clear evidence of a trend for the other parameters, storms included.

Beschreibungen des Klimas der Atmosphäre basieren auf Einzelbeobachtungen bzw. -messungen meteorologischer Parameter. Da das Klima eine erhebliche natürliche Variabilität auf allen Zeitskalen besitzt, empfiehlt die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) zur Beschreibung der klimatischen Situation eines Ortes die Verwendung von Datenreihen, die mindestens 30 Jahre umfassen. Zur Analyse von Klimaänderungen sind Messdaten hoher Qualität für deutlich längere Zeiträume erforderlich. Sie müssen für die jeweilige Fragestellung repräsentativ und in sich homogen, d.h. unbeeinflusst von zusätzlichen Änderungen, wie Wechsel der Mess- und Beobachtungsverfahren, Änderungen der Umgebung (Bewuchs, Bebauung, etc.) sein.

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über das Klima an den deutschen Küsten von Nord- und Ostsee mit den beobachteten Änderungen seit Beginn des 20. Jahrhunderts gegeben.

Atmosphärische Zirkulation

Der norddeutsche Küstenraum befindet sich innerhalb der Westwinddrift zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und der subpolaren Tiefdruckrinne. Die klimatischen Variationen werden entscheidend durch die Zirkulationsverhältnisse über dem Nordatlantik bestimmt. Diese werden oft vereinfachend durch den Nordatlantischen Oszillationsindex (NAOI) beschrieben, der insbesondere im Winter in engem Zusammenhang zur Witterung in Mitteleuropa steht. Im Sommer sind die Luftdruckgegensätze über dem Nordatlantik schwächer und die Kopplung weniger ausgeprägt (TINZ 2003).

Der NAOI wird häufig durch die Luftdruckdifferenz zwischen zwei Stationen im Bereich des Azorenhochs und des Islandtiefs beschrieben (ROSENHAGEN et al. 2010). Abb. 3.5-1 zeigt den NAOI für die Monate Dezember bis März, berechnet als Luftdruckdiffe-

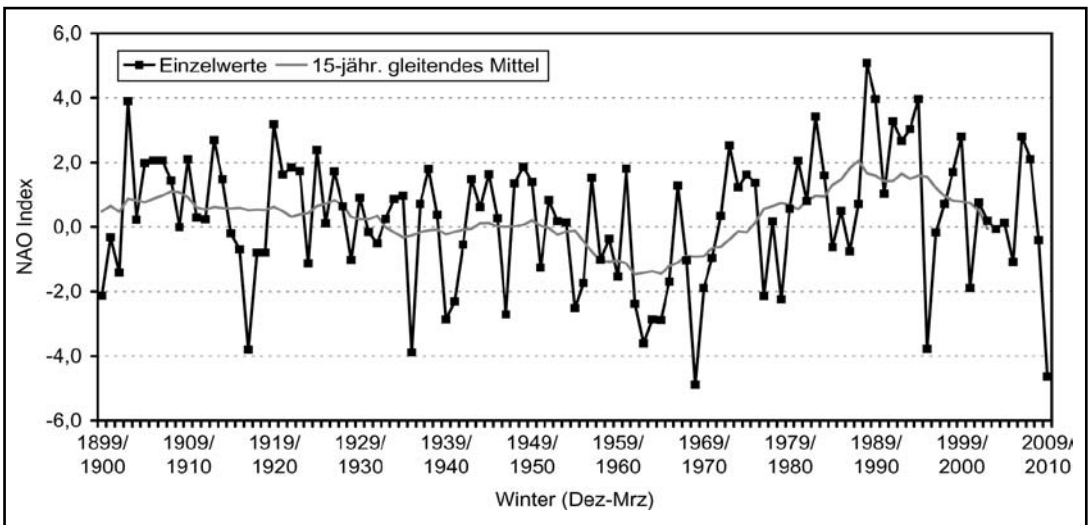


Abb. 3.5-1: Nordatlantischer Oszillationsindex (NAOI) berechnet als normierte Werte der Luftdruckdifferenz zwischen Lissabon und Stykkisholmur/Reykjavik für Dezember bis März im Zeitraum 1899/1900 bis 2009/2010 (Quelle: NCAR, Boulder USA; <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

renz zwischen Lissabon (Portugal) und Stykkisholmur/Reykjavik (Island) für den Zeitraum 1899/1900 bis 2009/10 (HURRELL 1995). Sind sowohl das Island-Tief als auch das Azorenhoch stärker als gewöhnlich ausgeprägt, werden in weiten Teilen Europas milde Winter als Folge der Verstärkung der Zonalzirkulation beobachtet (»high index«-Situation, insbesondere zwischen 1980 und 2000). Den umgekehrten Verhältnissen entsprechen die »low index«-Situationen, die in den 1960er Jahren gehäuft auftraten. Offensichtlich besitzt die nordatlantische Zirkulation eine starke Variabilität von Jahr zu Jahr, die von einer langperiodischen Schwankung überlagert ist. Ein langzeitiger Trend ist in der hier verwendeten Zeitreihe nicht feststellbar (vgl. HURRELL 1995), lediglich Trends für bestimmte Subintervalle. Der Winter 2009/10 weist nach 1968/69 den absolut niedrigsten Wert des NAOI dieser Reihe auf.

Wind

In den deutschen Küstengebieten ist der Wind das prägende Klimatelement. Dieser ist vor allem gebunden an durchziehende Tiefdruckgebiete und kommt vorherrschend aus West bis Südwest. In der warmen Jahreszeit stellt sich bei ruhigen Hochdruckwetterlagen häufig eine Land-Seewind-Zirkulation ein, die das großräumige Strömungsmuster modifiziert. Die Windgeschwindigkeit weist einen ausgeprägten Jahresgang

auf mit einem Maximum im Winterhalbjahr zwischen November und März.

Statistisch gesicherte Aussagen zur langzeitlichen Veränderung lassen sich auch für Windrichtung und -geschwindigkeit nur aus langen und homogenen Messreihen ableiten. Der lokal gemessene Wind ist im Vergleich zur Temperatur, aber auch zum Niederschlag ungleich empfindlicher gegenüber Änderungen der Umgebung und der Beobachtungsverfahren. Zudem liegen mit Instrumenten gemessene Winddaten erst seit wenigen Jahrzehnten vor. Ein Nachweis von Änderungen des Windklimas über einen langen Zeitraum ist jedoch mit indirekten Methoden über Untersuchungen der Luftdruckverteilung möglich. Anders als bei der direkten Windmessung hatte sich das Verfahren der Luftdruckmessung in den letzten 100 Jahren nicht geändert. Oft wird der geostrophische Wind analysiert. Er ist dem horizontalen Gradienten des Luftdrucks in Meereshöhe proportional und damit ebenso ein Maß für die atmosphärische Bewegung wie der reale Wind. Direkte Rückschlüsse auf den Wind an einem bestimmten Ort in der Referenzhöhe 10 m über Grund lassen sich mit diesen Methoden aber nicht ableiten.

Neben den mittleren Windgeschwindigkeiten sind für die Küstenregionen hohe Windgeschwindigkeiten und Stürme von besonderer Bedeutung. *Abb. 3.5-2* zeigt den geostrophischen Wind über der Deutschen Bucht für die Monate Dezember bis März der Jahre

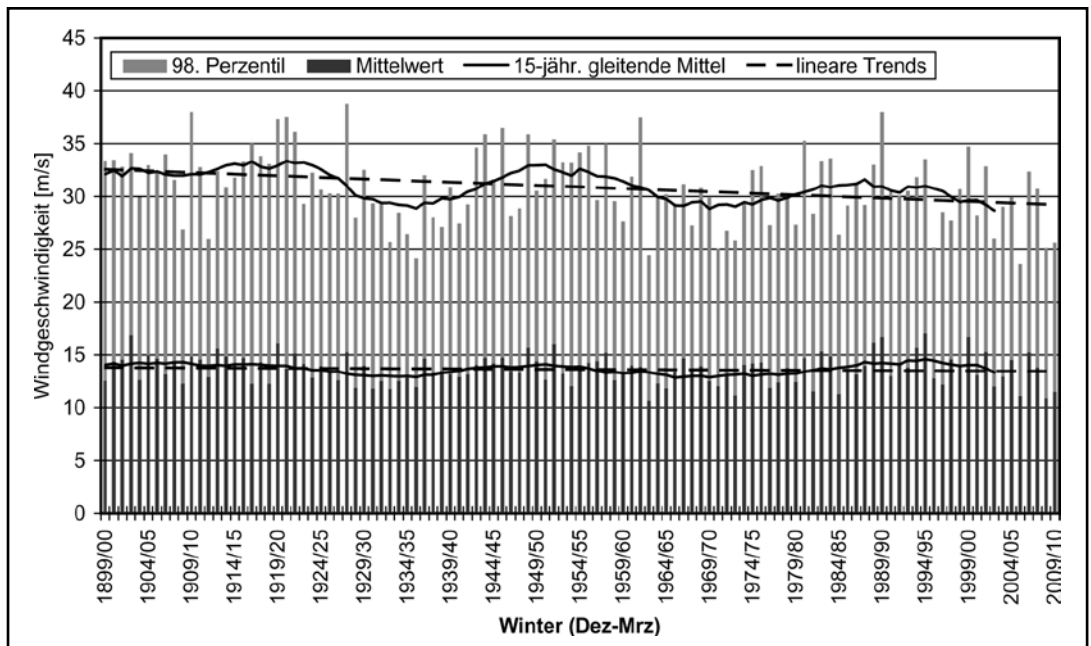


Abb. 3.5-2: Verlauf des Mittels und des 98. Perzentils der geostrophischen Windgeschwindigkeit in m/s über der Deutschen Bucht für die Wintersaison (Dezember bis März) im Zeitraum 1899/1900 bis 2009/2010 (Daten: Deutscher Wetterdienst).

1899/1900 bis 2009/2010, berechnet aus den Luftdruckwerten von Hamburg, Borkum (ersatzweise auch Emden oder Cuxhaven) und Fanö (ersatzweise auch Sylt), (SCHMIDT & VON STORCH 1993) für jeweils drei Termine pro Tag. Dargestellt sind sowohl die mittlere Windgeschwindigkeit als auch das 98. Perzentil der Geschwindigkeit der Wintermonate. Das 98. Perzentil ist der Wert der Windgeschwindigkeit, der in 2% der Fälle erreicht oder überschritten wurde. Beide Zeitreihen weisen eine ausgeprägte Variabilität auf. Während bei den Mittelwerten kein Trend sichtbar ist, zeigen die Stürme über den Gesamtzeitraum eine leichte Abschwächung, die nach dem Student's t-Test für die Zeitreihe des 98. Perzentils des geostrophischen Windes signifikant auf dem 5%-Niveau ist.

Lufttemperatur

Tages- und Jahresgang der Temperatur an den deutschen Küsten sind maritim geprägt. Durch die ausgleichende Wirkung der Wassertemperaturen von Nord- und Ostsee sind die Temperaturextreme gegenüber dem Binnenland gemäßigt: Die Tageshöchsttemperaturen sind im Sommer niedriger und die Tiefsttemperaturen im Winter höher. Die Jahresmittel der Lufttemperatur an Nord- und Ostsee nehmen nach Osten und Norden hin leicht ab (siehe auch LEFEBVRE & ROSENHAGEN 2008). Die maritime Prägung des Klimas wird in den relativ hohen Mitteltemperaturen von Januar und Februar von 2°C an der Nordsee und 1°C an der Ostsee deutlich. Der August ist mit etwa 17°C meist der wärmste Monat.

Zur Beschreibung des Klimas in den letzten Jahrzehnten werden beispielhaft die Daten der Wettersta-

tionen des Deutschen Wetterdienstes von Cuxhaven, List auf Sylt und Warnemünde in Tab. 3.5-1 aufgelistet. Sie enthält die Mittelwerte der direkt aufeinander folgenden 30-jährigen Abschnitte 1951 bis 1980 und 1981 bis 2010. Dabei zeigen sich auffällige Unterschiede: Die zweite Bezugsperiode war bei allen drei Stationen um etwa 0,8 Kelvin wärmer als die erste. Besonders deutlich wirkt sich der Anstieg der Lufttemperatur auf die mittlere Anzahl der meteorologischen Ereignistage pro Jahr aus. So hat sich die Häufigkeit der Sommertage (Tage mit Temperaturmaxima von mindestens 25°C) in den letzten 30 Jahren gegenüber dem Bezugszeitraum 1951 bis 1980 zum Teil fast verdoppelt (List auf Sylt von 4,1 auf 8,0 Tage). Gegenläufig hat sich die mittlere Anzahl der Frost- und Eistage (Tage mit Temperaturminimum bzw. -maximum unter 0°C) deutlich verringert. Lag die Zahl 1951 bis 1980 in List bei 61,6 Frost- und 18,7 Eistagen pro Jahr, waren es 1981 bis 2010 nur noch 48,0 bzw. 13,1 Tage.

Zur Untersuchung der langzeitlichen Änderung der Lufttemperatur wird beispielhaft die lange Zeitreihe der Ostseestation Kirchdorf (Insel Poel) des Zeitraums 1900 bis 2010 herangezogen.

Die Zeitreihe zeigt bis 1980 eine unter Schwankungen erfolgende geringfügige Zunahme (Abb. 3.5-3). Auffällig ist das bekannte Temperaturminimum Anfang der 1940er Jahre. Danach erfolgte eine deutliche Trendzunahme.

Niederschlag

Niederschläge fallen überwiegend beim Durchzug atlantischer Tiefausläufer. Sie werden in den Küstenge-

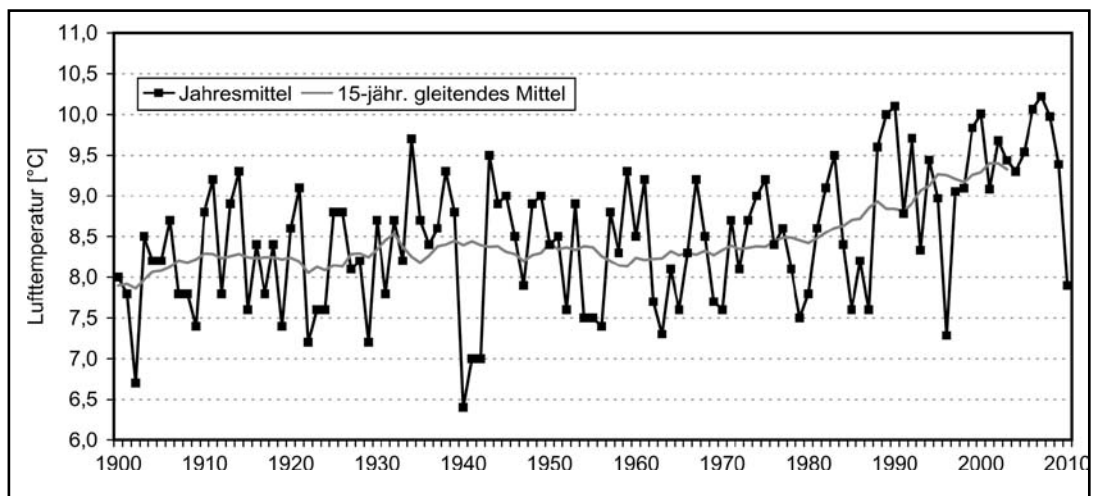


Abb. 3.5-3: Verlauf der Jahresmitteltemperatur in °C von Kirchdorf (Ostsee, Insel Poel) für den Zeitraum 1900 bis 2010 (Daten: Deutscher Wetterdienst).

bieten, je nach Jahreszeit, durch Labilisierungs- und Stabilisierungseffekte, die durch die Temperaturunterschiede zwischen den Wasserflächen von Nord- und Ostsee und den sie überströmenden Luftmassen hervorgerufen werden, beeinflusst. Von Nordfriesland bis Dithmarschen verstärken bei den vorherrschend westlichen Winden Küstenkonvergenz und zunehmende Reibungseffekte hinter der Küstenlinie den Niederschlag, während an der Ostseeküste oft Küstendivergenz mit Wolkenauflösung und die ostwärts zunehmende Kontinentalität eine Reduzierung bewirken.

Im Gegensatz zur Lufttemperatur ist der Niederschlag räumlich und zeitlich sehr variabel. Die Jahresmittel der Niederschlagshöhen nehmen von rund 900 mm im westlichen Schleswig-Holstein auf 500 bis 550 mm am Stettiner Haff ab (siehe auch LEFEBVRE & ROSENHAGEN 2008). Im Jahresverlauf fällt im Februar und April mit 30–40 mm an der Nordsee und 20–30 mm an der Ostsee die geringste Niederschlagsmenge. In den Sommermonaten ist es mit rund 60–70 mm Niederschlag pro Monat an der Nordsee und 50–60 mm an der Ostsee im Mittel deutlich nasser. Im Herbst nehmen die Niederschlagshöhen an der Ostsee wieder ab. An der Nordsee führt dann verstärkte Labilität, die durch die Zufuhr kühlerer Luft über die noch warmen Meeresflächen verursacht wird, zu einem weiteren Anstieg der mittleren Monatshöhen auf 80–90 mm, an der Westküste Schleswig-Holsteins bis auf 100 mm pro Monat. In einzelnen Monaten können je nach vorherrschender Großwetterlage oder durch Starkniederschlagsereignisse deutliche Abweichungen dazu auftreten. Dann kann das 2- bis 3-fache der mittleren Monatssummen erreicht werden oder es auch fast niederschlagsfrei bleiben.

Der Vergleich der Niederschlagsverhältnisse der beiden Bezugsperioden in *Tab. 3.5-1* ergibt für alle drei Stationen eine Zunahme der mittleren Jahressummen, jedoch eine leichte Abnahme der Niederschlagstage. Großräumige Untersuchungen zeigen für den Zeitraum

seit 1900 im Jahresmittel keine signifikanten Änderungen. Es tritt zwar vielfach eine Tendenz zu mehr Niederschlag im Winter bei gleichzeitig weniger Regen im Sommer auf. Allerdings gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen, so dass sich allgemein gültige Aussagen schwer treffen lassen (s.a. SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2005).

Sonnenscheindauer

Die Küsten und insbesondere die vorgelagerten Inseln sind gegenüber dem Binnenland insgesamt bezüglich der Sonnenscheindauer bevorzugt. Hier kommen Effekte der tagsüber im Frühjahr und Sommer relativ kühlen Meeresoberfläche zum Tragen. Während die Bewölkung über Land in den warmen Jahreszeiten vielfach durch Konvektion bei erwärmtem Boden verursacht wird, wird über dem Meer die notwendige Temperatur zur Auslösung der Konvektion oft nicht oder verzögert erreicht. An der deutschen Ostseeküste nimmt die Sonnenscheindauer von Nordwest nach Südost zu. Mit rund 1900 Jahresstunden im Mittel ist es auf Rügen und Usedom am sonnigsten.

Ausreichend homogene Datenreihen der Sonnenscheindauer zur Trendbestimmung gibt es bestenfalls seit Beginn der 1950er Jahre. Die Reihen zeigen jedoch nicht nur zeitliche, sondern auch komplizierte räumliche Strukturen, die zudem jahreszeitlich bzw. monatlich sehr unterschiedlich und zeitlich nicht stabil sind (SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2005). Pauschale Aussagen sind deshalb nicht möglich.

Wassertemperatur und Meeresverhältnisse

Luft- und Wassertemperatur an den Küsten stehen in enger Beziehung. Entsprechend zeigt die Zeitreihe der Wassertemperatur von Helgoland grundsätzlich einen ähnlichen zeitlichen Verlauf wie die Lufttemperatur von Kirchdorf. Auch hier kommt es zu einem beträcht-

Tab. 3.5-1: Jahreswerte (Jahresmittel, Jahressummen, Anzahl der Tage pro Jahr) verschiedener meteorologischer Größen an deutschen Küstenstationen (Quelle: Deutscher Wetterdienst).

Jahreswerte Zeitraum	Cuxhaven		List/Sylt		Warnemünde	
	1951/1980	1981/2010	1951/1980	1981/2010	1951/1980	1981/2010
Mittlere Lufttemperatur (°C)	8,8	9,6	8,3	9,1	8,4	9,3
Anzahl der Eistage	17,3	13,7	18,7	13,1	21,2	15,9
Anzahl der Frosttage	59,4	45,7	61,6	48,0	70,1	54,8
Anzahl der Sommertage	8,2	13,4	4,1	8,0	10,9	18,2
Niederschlagssumme (mm)	809	831	699	717	591	616
Anzahl der Niederschlagstage ≥ 1 mm	135,7	134,2	130,8	127,5	124,4	112,6
Anzahl der Niederschlagstage ≥ 10 mm	21,0	21,5	18,6	17,2	16,7	14,6
Summe Sonnenscheindauer (Stunden)	1671	1671	1756	1729	1736	1740

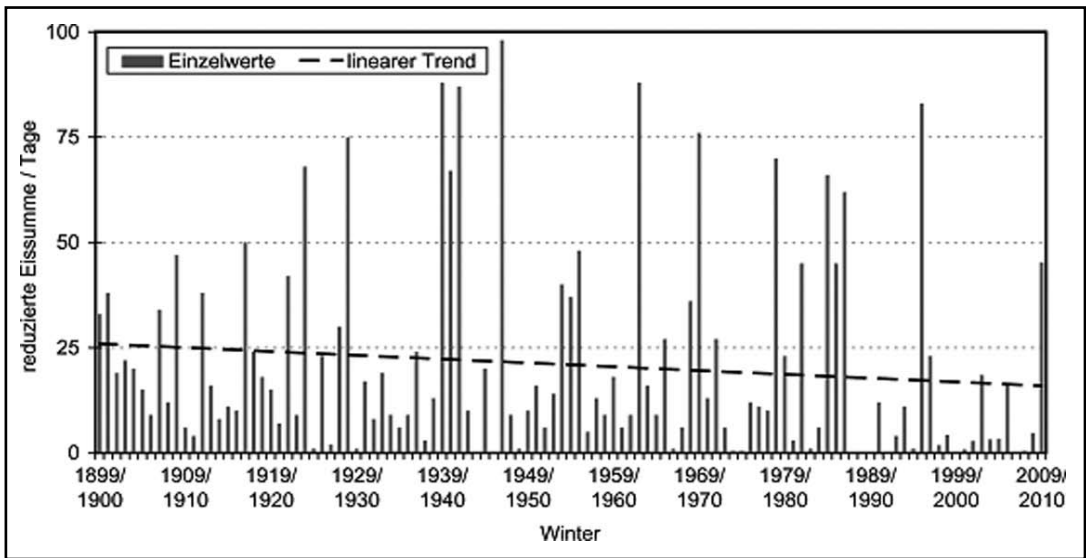


Abb. 3.5-4: Reduzierte Eissumme an der deutschen Ostseeküste für den Zeitraum 1899/1900 bis 2009/2010 (Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie).

lichen Anstieg in den letzten Jahrzehnten (WILTSHIRE & MANLY 2004). Davon ist insbesondere der Winter betroffen; in den letzten Jahren gab es kaum noch sehr kalte Winter, während sich im Sommer die Badesaison verlängerte.

Deutlich wird diese Entwicklung der Temperaturzunahme beim langzeitlichen Verlauf des Eisvorkommens an den deutschen Küsten. So weist die reduzierte Eissumme, das ist die mittlere Anzahl der Tage mit Meeris pro Winter von 13 Eisbeobachtungspunkten an der deutschen Ostseeküste, eine beträchtliche interannuelle Variabilität auf. Während in den meisten Wintern die Zahl der Tage mit Eis weniger als 20 beträgt, kommt es in einigen strengen Wintern zu einer lang anhaltenden Vereisung von bis zu drei Monaten (Abb. 3.5-4). Dabei hat die Zahl der eisfreien Winter seit Mitte der 1980er Jahre stark zugenommen.

Schlussbetrachtung

Die Mess- und Beobachtungswerte der deutschen Küstenstationen der letzten 110 Jahren zeigen für die einzelnen Klimatelemente unterschiedliche Verläufe. Während bei der Temperatur eine deutlich Zunahme, insbesondere in den letzten Jahrzehnten feststellbar ist, weisen Niederschlag und Sonnenscheindauer ein uneinheitliches Bild auf. Insbesondere ist weder bei der mittleren Windgeschwindigkeit noch bei Stürmen ein deutlicher Langzeittrend ersichtlich.

Die Ergebnisse der Klimamodellrechnungen lassen nach heutigem Kenntnisstand einen zunehmenden Impakt auf die Küstenregion erwarten, der alle Wirt-

schaftszweige und insbesondere den Tourismus betreffen wird. Es kommt darauf an, neben Klimaschutzmaßnahmen Anpassungsmaßnahmen an den bereits unvermeidlichen Klimawandel einzuleiten. Entsprechende Ergebnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Küsten, Häfen und Schifffahrt werden aus laufenden Forschungsprojekten (z.B. KLIWAS, www.kliwas.de) erwartet.

Literatur

- HURRELL J. W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- LEFEBVRE C. & G. ROSENHAGEN (2008): The Climate in the North and Baltic Sea Region. *Die Küste*, 74, 45-59.
- ROSENHAGEN G., M. SCHATZMANN & A. SCHRÖN (2010): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: von Storch, H., Claussen, M. (Hrsg.) und KlimaCampus Autoren Team: Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 321 pp.
- SCHMIDT H. & H. VON STORCH (1993): German Bight Storms analysed. *Nature* 365, 791.
- SCHÖNWIESE C.-D. & R. JANOSCHITZ (2005): Klima-Trendatlas Deutschland, 1901-2000. Bericht des Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt, 4, 63 pp.
- TINZ B. (2003): Die Nordatlantische Oszillation und ihr Einfluss auf die europäischen Lufttemperaturen. *Klimastatusbericht 2002*, Deutscher Wetterdienst Offenbach a. Main, 32-41.
- WILTSHIRE K. H. & B. F. J. MANLY (2004): The warming trend at Helgoland Roads, North Sea: phytoplankton response. *Helgoland Marine Research* 58: 269-273.

Dipl.-Met. Gudrun Rosenhagen

Deutscher Wetterdienst

Bernhard-Nocht-Str. 76 - 20359 Hamburg

gudrun.rosenhagen@dwd.de