

BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

KLIMATOLOGISCHER EISATLAS für die Deutsche Bucht (mit Limfjord)

CLIMATOLOGICAL ICE ATLAS for the German Bight and Limfjord

(1961–2010)

Digitaler Anhang/Digital supplement:
Eisverhältnisse in 30-jährigen Zeiträumen
1961–1990, 1971–2000, 1981–2010

*Ice conditions in the 30-year periods
1961–1990, 1971–2000, 1981–2010*

Eisverhältnisse in mäßigen und starken Eiswintern
Ice conditions in moderate and strong ice winters

Autoren/*Authors:*

Natalija Schmelzer, Jürgen Holfort, Peter Loewe

Abt. Meereskunde, BSH, Hamburg und Rostock

Dep. Marine Sciences, BSH, Hamburg and Rostock

Die Inhalte dieser Publikation sind rechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Verbreitung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen dieser Publikation ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen der Bundesrepublik Deutschland zulässig.

© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Hamburg und Rostock 2015
www.bsh.de

ISBN-Nr. 978-3-86987-660-3
BSH-Nr. 2339

Vorwort

In vereisten Gewässern ist das Navigieren auch mit einem guten, sicheren Schiff nur schwer möglich. Das musste auch die Mannschaft eines der ersten deutschen Schraubendampfer "Großfürst Constantin" erleben. Auf einer Fahrt von Rostock nach St. Petersburg geriet das Schiff 1861 in einen schweren Eissturm, sodass das stabile Eisenschiff im angrenzenden Packeis stecken blieb und sank. Zum Glück konnte sich die 17-köpfige Mannschaft über das Eis retten.

Rund 150 Jahre später birgt das Eis auf dem Meer immer noch Gefahren für die moderne Seeschifffahrt und für Bauwerke auf See. Der letzte Eisatlas für Nord- und Ostsee von 1956 stammt noch von unserer Vorgänger-Institution, dem Deutschen Hydrographischen Institut. Im Jahr 2012 haben wir den Eisatlas für die westliche und südliche Ostsee neu herausgegeben. Der vorliegende Eisatlas für den Bereich der Deutschen Bucht vervollständigt die Übersicht über die deutschen Gewässer. Ich freue mich, dass damit wieder eine aktuelle, moderne Gesamtausgabe für die Nord- und Ostsee verfügbar ist.

Im aktuellen Eisatlas werden unter anderem die Häufigkeit, die Verteilung und die Dicke des Eises in der Deutschen Bucht dokumentiert. Mehrere tausend Beobachtungen und Eismeldungen wurden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Eisdienstes über viele Jahre analysiert und verarbeitet. Die Daten wurden auch digitalisiert, um sie einfacher nutzbar zu machen. Sie stammen aus den Jahren 1960 bis 2010 und ergeben somit einen repräsentativen Überblick über die Eisverhältnisse der letzten 50 Jahre.

Schwankungen und Änderungen im Eisvorkommen können gut an langfristigen Vergleichen von 30-jährigen Zeiträumen deutlich gemacht werden, die daher ebenfalls im Eisatlas enthalten sind. Ganz neu aufgenommen wurden Zeitreihen über die Wassertemperaturen der Deutschen Bucht.



Eis ist ständig in Bewegung und kann in starken Eiswintern zum Erliegen des gesamten Schiffsverkehrs auf wichtigen Routen führen. Zudem sind in den letzten Jahren weitere Bauwerke hinzugekommen, die durch Eisgang gefährdet werden können: Offshore-Windenergieanlagen fernab der Küste versorgen die Küstenländer mit sauberem Strom.

Gefahren der Schifffahrt im Eis und Gefährdungen von Bauwerken können mit Hilfe dieses Eisatlas kalkulierbarer werden. Das ist ein gutes Beispiel, wie die fachkundige Aufbereitung unserer Datensätze zur Sicherheit auf See beitragen kann.

Ich danke den Kolleginnen und Kollegen des Eisdienstes in Rostock und der Abteilung Meereskunde für die Arbeit und ihr Engagement bei der Erarbeitung dieses Eisatlas.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Monika Breuch-Moritz'.

Monika Breuch-Moritz
Präsidentin des Bundesamtes für Seeschifffahrt
und Hydrographie

Inhalt

Vorwort	3
Einleitung	9
Datenmaterial	10
Klassifizierung der Eiswinter an der deutschen Nordseeküste	20
Allgemeines	22
Eisverhältnisse in der Nordsee sowie auf der Ems, Unterweser und Unterelbe im Zeitraum 1961–2010	24
Statistische Angaben für die deutschen Beobachtungsstationen	24
Eiskarten der Winterstatistik	35
Häufigkeit des Eisauftretens	37
Beginn und Ende des Eisauftretens	38
Anzahl der Tage mit Eis	42
Statistische Eiskarten am 1., 11., 21. Januar; am 1., 11., 21. Februar; am 1., 11., 21. März	45
Häufigkeit des Eisauftretens	46
Eisbedeckungsgrad	59
Mittlerer (alle Winter)	60
Mittlerer (nur Winter mit Eis)	72
Maximaler	84
Dicke des ebenen Eises	97
Mittlere (alle Winter)	98
Mittlere (nur Winter mit Eis)	110
Mittlere maximale	122
Maximale	134
Maximale Dicke und Topographie des Eises	143
Vergleich der Lufttemperatur- und Eisverhältnisse in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern	153
Statistische Angaben für die deutschen Beobachtungsstationen	159
Eiskarten der Winterstatistik	165
Häufigkeit des Eisauftretens	167
Beginn und Ende des Eisauftretens	168
Anzahl der Tage mit Eis	172
Maximaler Eisbedeckungsgrad am 21. Februar	175
Maximale Eisdicke am 21. Februar	176
Lufttemperatur- und Eisverhältnisse in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter	177

Vergleich der Lufttemperatur- und Eisverhältnisse in 30-jährigen Zeiträumen	
1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010	193
Statistische Angaben für die deutschen Beobachtungsstationen	203
Eiskarten der Winterstatistik	209
Häufigkeit des Eisauftretens	211
Beginn und Ende des Eisauftretens	212
Anzahl der Tage mit Eis	216
Maximaler Eisbedeckungsgrad am 21. Februar	219
Maximale Eisdicke am 21. Februar	220
Meereswassertemperaturen in der Deutschen Bucht (1968–2015)	221
Vorbemerkungen	222
Temperatur und Eiswintertyp	224
Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10	239
Klimatologien: 1971–2000 und 1981–2010	248
Literatur	258
Abkürzungen, Adressen und Danksagung	260
Verzeichnis der Abbildungen	261
Verzeichnis der Tabellen	269
Anhang	271
Digitaler Anhang	DVD

Contents

Preface	3
Introduction	9
Data material	10
Classification of the ice winters on the German North Sea coast	20
General	22
Ice conditions in the North Sea as well as on the Ems, Lower Weser, and Lower Elbe in the period 1961-2010	24
Statistical data for the German monitoring stations	24
Ice charts for winter statistic	35
Frequency of ice occurrence	37
Beginning and end of ice occurrence	38
Number of days with ice	42
Statistical ice charts on 1, 11, 21 January; on 1, 11, 21 February; on 1, 11, 21 March	45
Frequency of ice occurrence	46
Ice concentration	59
Mean (all winters)	60
Mean (only winters with ice)	72
Maximum	84
Ice thickness of level ice	97
Mean (all winters)	98
Mean (only winters with ice)	110
Mean maximum	122
Maximum	134
Maximum thickness and topography of ice	143
Comparison of air temperatures and ice conditions in weak, moderate, and strong to extremely strong ice winters	153
Statistical data for the German monitoring stations	159
Ice charts for winter statistic	165
Frequency of ice occurrence	167
Beginning and end of ice occurrence	168
Number of days with ice	172
Maximum ice concentration on 21 of February	175
Maximum ice thickness on 21 of February	176
Air temperatures and ice conditions in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter	177

Comparison of air temperature and ice conditions in 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010	193
Statistical data for the German monitoring stations	203
Ice charts for winter statistic	209
<i>Frequency of ice occurrence</i>	211
<i>Beginning and end of ice occurrence</i>	212
<i>Number of days with ice</i>	216
<i>Maximum ice concentration on 21 of February</i>	219
<i>Maximum ice thickness on 21 of February</i>	220
Seawater temperatures in the German Bight (1968–2015)	221
<i>Introductory remarks</i>	222
<i>Temperature and ice-winter type</i>	224
<i>Winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10</i>	239
<i>Climatologies: 1971–2000 and 1981–2010</i>	248
References	258
Abbreviations, addresses, and acknowledgement	260
List of figures	261
List of tables	269
Appendix	271
Digital Supplement	DVD

Einleitung

Im vorliegenden Eisatlas werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Eisdaten aus dem Zeitraum 1961–2010 (50 Jahre) für die Deutsche Bucht, Nordseezuflüsse und Limfjord dargestellt. Die Analyse erfasst den Seebereich und alle relevanten Eisbeobachtungsstationen an den deutschen und dänischen Küsten sowie ausgewählte Stationen an der niederländischen Küste. Zusätzlich werden die Eisparameter in den 30-jährigen Zeiträumen (1961–1990, 1970–2000, 1981–2010) analysiert und untereinander verglichen. Auch die mittleren und extremen Eisverhältnisse in mäßigen und starken Eiswintern werden untersucht und dargestellt. Die Resultate sind in Form von Karten auf beiliegender DVD gespeichert.

Zusätzlich wird die Entwicklung der Wassertemperatur in der Deutschen Bucht erläutert.

Der letzte bekannte Eisatlas für die Deutsche Bucht wurde vom Deutschen Hydrografischen Institut vor mehr als 50 Jahren herausgegeben (DHI, 1956). Ab etwa Ende der 70-er Jahre werden bedeutende Veränderungen der Eisverhältnisse, bedingt durch Klimawandel, fortschreitende Entwicklung der Schiffstechnik und des Transportwesens, registriert, vgl. Abb. 1. Dieser Atlas gibt die aktuellen Eisverhältnisse wieder und wird als praktische Hilfe für die Schifffahrt und Ingenieure angesehen. Wir hoffen, dass er auch für Wissenschaftler von Interesse ist.

Introduction

This ice atlas presents the findings from the statistical evaluation of the ice data for the German Bight, North Sea tributaries and Limfjord from the period 1961 to 2010 (50 years). The analysis covers the sea area and all relevant ice observation stations on the German and Danish coasts as well as selected stations on the Dutch coast. The ice parameters in the 30-year periods (1961 to 1990, 1970 to 2000, 1981 to 2010) are also analysed and compared with one another. The mean and extreme ice conditions during moderate and strong ice winters are also analysed and presented. The results are stored in the form of maps on the enclosed DVD.

The development of the water temperature in the German Bight is also explained.

The last known ice atlas for the German Bight was published by the German Hydrographic Institute more than 50 years ago (DHI, 1956). Significant changes in ice conditions caused by climate change and advancing developments in maritime technology and transport have been registered, approximately from the end of the 1970s onwards, cf. Fig. 1. This atlas depicts the current ice conditions and is seen as a practical aid for shipping and engineers. We hope that it will also be of interest to scientists.

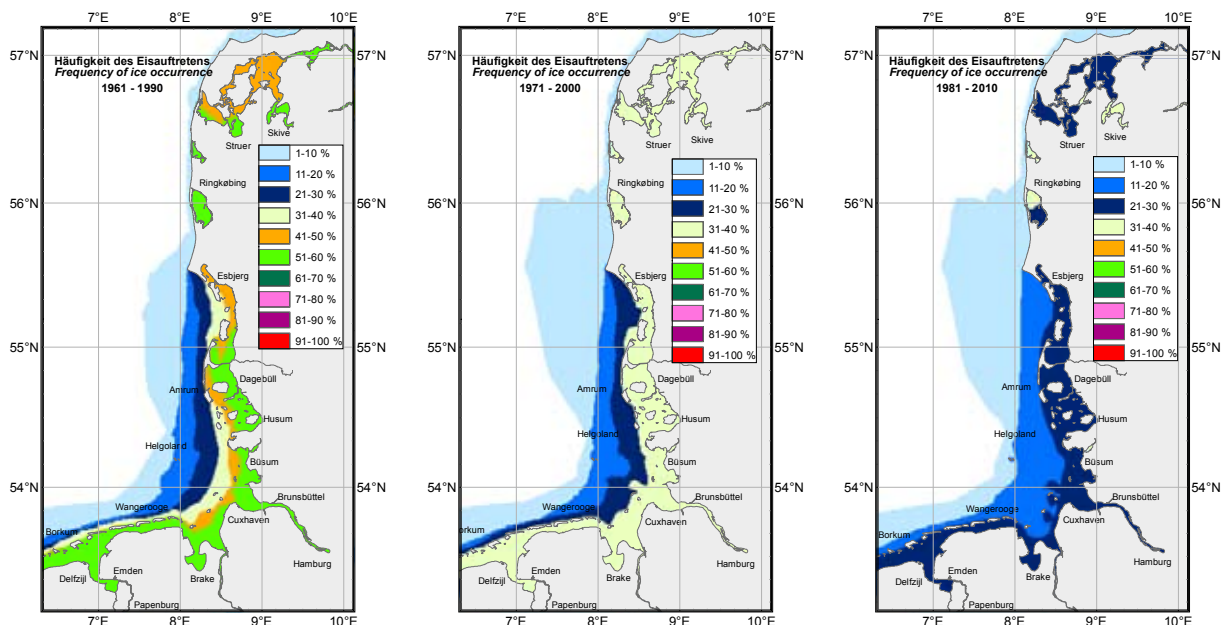


Abb. 1: Häufigkeit des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 1: Frequency of ice occurrence in the 30-year periods 1961 to 1990, 1971 to 2000, and 1981 to 2010

Datenmaterial

Die statistischen Karten, die in diesem Atlas dargestellt werden, basieren auf deutschen Echtzeiteiskarten aus dem 50-jährigen Zeitraum 1961 bis 2010 und dänischen Echtzeiteiskarten aus dem Zeitraum 1979 bis 1987. Alle Eiskarten wurden im Eisdienst des BSH mit einem Eiskartenprogramm auf Basis von ArcGIS erstellt oder durch Nachzeichnen digitalisiert. Dabei wurden teilweise Korrekturen vorgenommen und fehlende Parameter oder Zeiten ergänzt. Die Ausgangsparameter sind Eisbedeckungsgrad und Eisdicke, wobei die Werte dieser Parameter nur in den durch Eis-Nomenklatur vorgegebenen Intervallen vorkommen (WMO, 1970). Für die statistischen Berechnungen wurden diese Vektorkarten auf ein geographisches Gitter mit 0.005 Grad Auflösung abgebildet. Zusätzliche Informationen wurden den kodierten Meldungen der dänischen, deutschen und niederländischen Eisbeobachtungsstationen und lokalen Eisberichten entnommen. Die Lage der berücksichtigten Eisbeobachtungsstationen ist in den Abb. 2 und 3 sowie in den Tabellen 1, 2 und 3 ersichtlich.

Data material

The statistical charts depicted in this atlas are based on real-time German ice charts from the 50-year period of 1961 to 2010 and real-time Danish ice charts from the period 1979 to 1987. All ice charts were produced at the Federal Maritime and Hydrographic Agency's ice service with an ice chart program based on ArcGIS or digitalised by means of redrawing. Some corrections have been made and missing parameters or periods added in the process. The output parameters are ice concentration and ice thickness, with the values of these parameters only occurring in the intervals specified by the ice nomenclature (WMO, 1970). These vector maps were mapped to a geographical grid with a resolution of 0.005 degrees for the statistical calculations. Additional information was taken from the coded messages of the Danish, German, and Dutch ice observation stations and local ice reports. The positions of the ice observation stations which were consulted can be seen in Fig. 2 and 3 and in Tab. 1, 2, and 3.

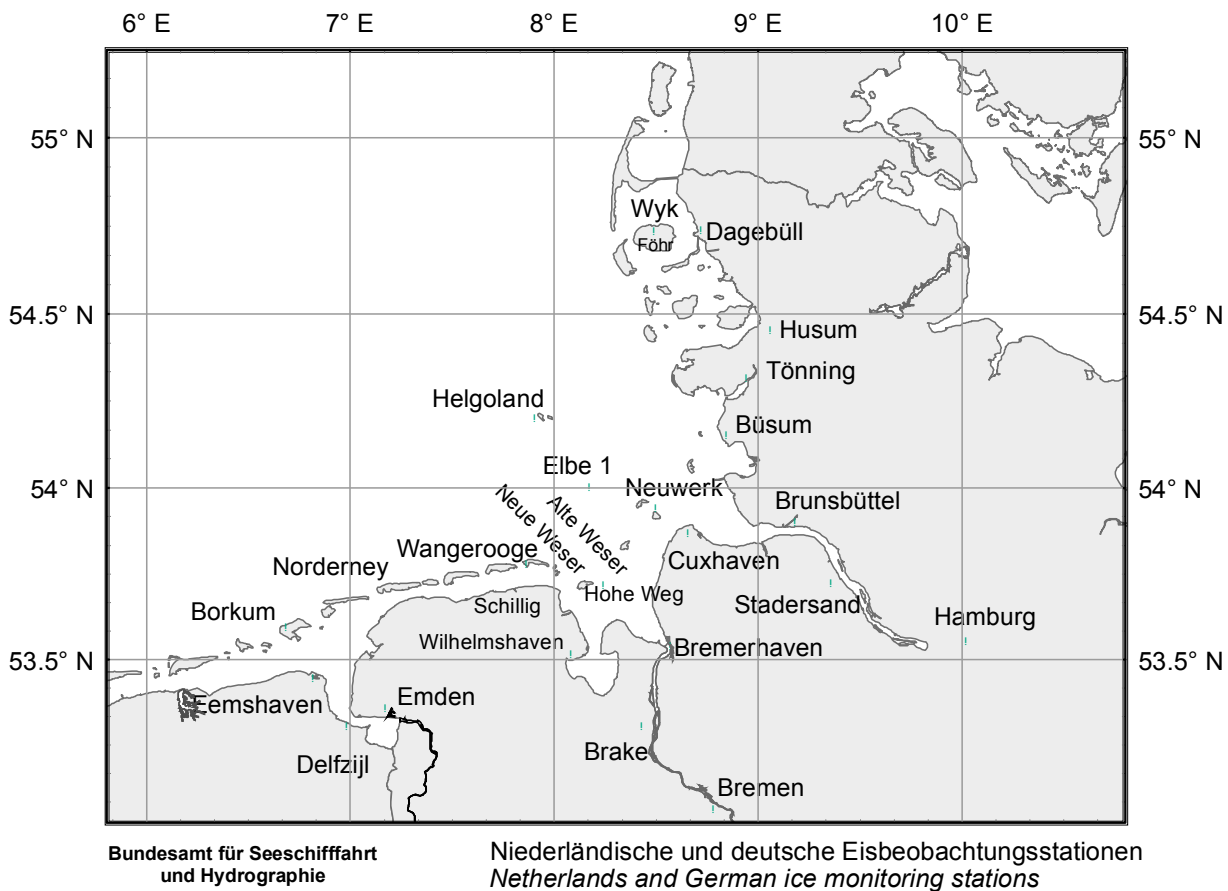


Abb. 2: Lage der niederländischen und deutschen Eisbeobachtungsstationen

Fig. 2: Position of Netherlands and German ice monitoring stations included in the study

Beobachtungsstation Monitoring station	Breite/Latitude N	Länge/Longitude E
Delfzijl	53.33	6.92
Eemshaven	53.45	6.84
Eems: Oterdum – Eemshaven	53.40	6.95
Eems: Eemshaven – Huibergat	53.55	6.67

Tabelle 1: Niederländische Eisbeobachtungsstationen

Table 1: Dutch ice monitoring stations which have been included in the study

Beobachtungsstation Monitoring station	Breite/Latitude N	Länge/Longitude E	Beobachtet seit Observed since
Dagebüller Fahrwasser	54.70	8.65	1947
Wyk auf Föhr, Norderaue	54.66	8.50	1949
Husum, Au	54.45	8.92	1939
Nordstrand, Hever	54.43	8.70	1955
Tönning, Hafen	54.31	8.95	1939
Büsum, Norderpiep	54.17	8.65	1945
Büsum, Süderpiep	54.10	8.60	1945
Hamburg-Landungsbrücken	53.54	9.97	1939
Stadersand, Elbe	53.63	9.53	1939
Glückstadt, Elbe	53.79	9.40	1939
Brunsbüttel, Elbe	53.88	9.13	1939
Cuxhaven, Elbe	53.87	8.72	1939
Cuxhaven – Neuwerk	53.96	8.65	1939
Neuwerk, Elbe	53.97	8.52	1939
Großer Vogelsand	53.98	8.47	1939
Ansteuerungstonne „Elbe“	54.00	8.12	1954
Helgoland, Hafen und Einfahrten	54.17	7.92	1939
Bremen, Weser	53.11	8.75	1939
Brake, Weser	53.34	8.50	1939
Bremerhaven, Weser	53.56	8.55	1939
Hohe-Weg-Leuchtturm, Fahrwasser	53.72	8.25	1939
Alte Weser, Fahrwasser	53.87	8.10	1939
Neue Weser, Fahrwasser	53.87	7.83	1955
Schillig, Jade	53.78	8.07	1939
Wangerooge, Fahrwasser	53.83	7.92	1939
Wangerooge, Watten	53.78	7.90	1939
Norderney, Watten	53.69	7.23	1939
Norderney, Seegat	53.70	7.12	1939
Emden, Ems und Außerhafen	53.33	7.18	1939
Ems, Emden – Randzelgat	53.50	6.80	1957
Borkum, Randzelgat	53.57	6.64	1939
Borkum, Westerems	53.62	6.52	1939

Tabelle 2: Deutsche Eisbeobachtungsstationen/ *Table 2: German ice monitoring stations*

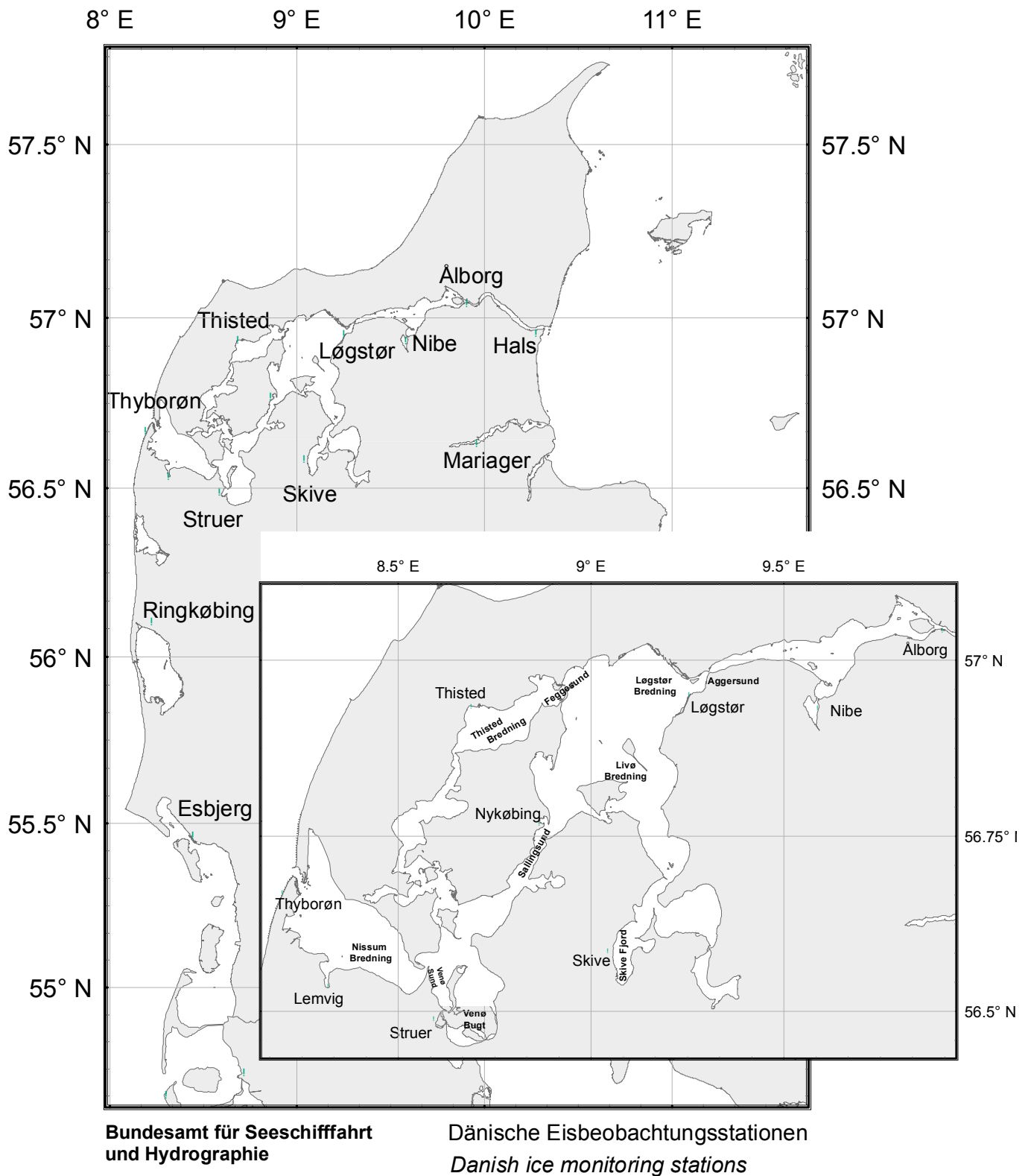


Abb. 3: Lage der untersuchten dänischen Eisbeobachtungsstationen
 Fig. 3: Position of the Danish ice monitoring stations included in the study

Beobachtungsstation Monitoring station	Breite/Latitude N	Länge/Longitude E
Esbjerg, harbour	55.48	8.43
Esbjerg, fairway	55.45	8.30
Ringkøbing, harbour	56.09	8.22
Ringkøbing, fjord	56.04	8.22
Thyborøn, Channel	56.71	8.23
Lemvig, harbour and Bight	56.55	8.30
Nissum, Bredning	56.62	8.37
Sælhundeholmløb	56.67	8.23
Struer, harbour	56.51	8.60
Struer, Venø Sund	56.55	8.61
Nykøbing, Mors Håfen	56.79	8.86
Nykøbing M, Sallingsund	56.72	8.81
Oddesund	56.58	8.56
Thisted, Feggesund	56.98	8.92
Thisted, harbour	56.95	8.70
Thisted, Bredning	56.92	8.74
Skive, harbour	56.57	9.05
Skive, Fjord to Lundøhage	56.62	9.09
Livø, Bredning	56.87	9.05
Løgstør, Bredning	57.00	9.13
Løgstør, fairway W	56.98	9.23
Løgstør, fairway E	56.97	9.27
Aggersund	57.03	9.45
Nibe, harbour	56.99	9.63
Ålborg, fairway	57.08	10.00
Ålborg, Ålborg – Hals	57.03	10.12
Entrance at Hals Barre	56.99	10.31
Mariager, harbour and fjord	56.65	9.98

Tabelle 3: Dänische Eisbeobachtungsstationen

Table 3: Danish ice monitoring stations which have been included in the study

Dänische Daten

- Echtzeiteiskarten aus dem Zeitraum 1979–1987
- Jahresberichte des dänischen Eisdienstes (Ice and Navigational Conditions in Danish waters) aus dem Zeitraum 1965–2006
- Tägliche verschlüsselte Meldungen der Eisbeobachter aus dem Zeitraum 1961–2006, veröffentlicht in den Eisberichten des DHI und des BSH

Danish data

- *Real-time charts covering the time from 1979 to 1987*
- *Annual reports of Danish Ice Service (Ice and Navigational Conditions in Danish waters) covering the time 1965 to 2006*
- *Daily coded information of ice observers covering the time from 1961 to 2006, published in the ice reports of DHI and BSH*

- Tägliche verschlüsselte Meldungen der Eisbeobachter und Eisberichte des dänischen Eisdienstes in den Jahren 2006–2010
<http://forsvaret.dk/MST/NATIONALT/ISTJE-NESTEN/Pages/default.aspx>
- *Daily coded information of ice observers and Danish ice reports covering the time from 2006 to 2010*
<http://forsvaret.dk/MST/NATIONALT/ISTJE-NESTEN/Pages/default.aspx>

Deutsche Daten

- Die Eiskarten des deutschen Eisdienstes wurden 1–2x wöchentlich, bei starker Änderung der Eislage auch häufiger herausgegeben
- Tägliche verschlüsselte Meldungen der Eisbeobachter: Baltische Eisschlüssel (I, J, K) in den Wintern 1961–1981 und Ostsee-Eisschlüssel ($A_B S_B T_B K_B$) von 1982–2010, siehe Anhang
- Die Eisberichte (Amtsblatt) des DHI und des BSH (Mo–Fr)

Niederländische Daten

- Mitteilungen des „Infozentrum Binnengewässer“ (Infocentrum Binnenwateren), RIZA Küste: (Staatliches Institut für Integrale Verwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung)
- Täglich verschlüsselte Meldungen der Eisbeobachter, veröffentlicht in den Eisberichten (Amtsblatt) des deutschen Eisdienstes.

Im Ostsee-Eisschlüssel von 1981 werden der Bedeckungsgrad und die Eisdicke durch Schlüsselzahlen A_B und S_B deutlich definiert. Weniger deutlich ist die Information in dem Baltischen Eisschlüssel mit drei Schlüsselzahlen I, J, K, der in den Wintern 1956–1981 benutzt wurde. Die täglichen verschlüsselten Meldungen der Eisbeobachter, die als Datenmaterial noch am vollständigsten vorliegen, enthalten nur bedingt Hinweise auf die Eisdicken oder auf den Bedeckungsgrad. Dennoch kann man den Bedeckungsgrad mit einer Unsicherheit von $\pm 1/10$ durch die Kombination der Schlüsselzahlen I, J und K bestimmen (Schmelzer, 2009 und Anhang).

Bestimmung der fehlenden Eisdicken in den dänischen Gewässern

Die Angaben zu Eisdicken in den Wintern 1961–1981 existieren in den Eiskarten so gut wie gar nicht. Auch in den Eisberichten aus dieser Zeit findet man keine Informationen über die gemessenen oder geschätzten Werte. Nur die dänischen Jahresberichte weisen für einige Stationen Daten der im Winter erreichten maximalen Eisdicken auf.

German data

- *The German ice charts were normally produced once or twice a week, or more often as required by major changes in ice condition*
- *Daily coded information of ice observers: Baltic Ice Code (I, J, K) in the winters 1961 to 1981 and Baltic Sea ice code ($A_B S_B T_B K_B$) from 1982 to 2010, see appendix*
- *Ice reports (Amtsblatt) of DHI and BSH (issued Monday to Friday)*

Netherlands data

- *Information of Inland Shipping Centrum, RIZA Coast: (Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment)*
- *Daily coded information of ice observers covering the time from 1961 to 2010, published in the ice reports of DHI and BSH*

The ice concentration and the ice thickness are defined clearly by the code numbers A_B and S_B in the Baltic Sea ice code from 1981. The information in the Baltic ice code with the three code numbers I, J, K, used in the winters 1956 to 1981, is less clearly. The daily, encrypted messages from the ice observers, which is the data material that is most extensively available, only contain limited references to ice thickness and degree of coverage. However, the degree of coverage can be defined with an uncertainty of $\pm 1/10$ with a combination of the codes I, J and K (Schmelzer, 2009 and appendix).

Determination of missing ice thickness in Danish waters

There is almost no information in the ice charts on ice thickness for the winters 1961 to 1981. There is no information on measured or estimated values in the ice reports from this period to be found, either. Only the annual Danish reports present data for some stations on the maximum ice thickness reached in the winter.

Die Ermittlung der Eisdicken aufgrund von bekannten Zahlen (I, J, K) des Baltischen Eisschlüssels war in vielen Fällen möglich, da es sich in den untersuchten Gewässern am häufigsten um Festeis handelt, siehe Umrechnungstabelle im Anhang.

Die noch fehlenden Eisdicken aus dem Zeitraum 1961–1981 wurden auch durch Verwendung der Beziehung zwischen der Kältesumme und der Eisdicke bestimmt. Nach der im Eisdienst des BSH erarbeiteten Methodik zur Berechnung der unbekanntenen Eisdicken kann man das Datum des ersten und des letzten Eisauftretens in einem Bereich abschätzen und die tägliche zunehmende oder abnehmende Eisdicke berechnen. Diese Methode wird im Eisdienst seit mehreren Jahren für die Ermittlung der fehlenden Eisdicken genutzt, besonders gut funktioniert sie in abgeschlossenen Gewässern (Düskau, 2013; Schmelzer und Holfort, 2014).

Limfjord und Ringkøbingfjord an der dänischen Küste sind von der offenen See weitgehend abgeschnitten, das Eiswachstum hängt in ähnlichen inneren Gewässern (z. B. im Stettiner Haff an der deutschen Ostseeküste) hauptsächlich von den vorherrschenden Temperaturverhältnissen ab. Ausgehend vom Tagesmittel der Lufttemperatur an den Stationen Ålborg, Thyborøn und Vestervig (Laurson, 2004) und gegebenen Eisdicken aus den Jahren 1982–2010 wurden für jede untersuchte dänische Eisbeobachtungsstation die empirischen Gleichungen für Zuwachs und Abnahme der Eisdicke abgeleitet, siehe als Beispiel Abb. A-3 im Anhang. Die täglichen Eisdicken für diese Gewässer wurden theoretisch berechnet und in den Eiskarten aus den Jahren 1961–1981 eingesetzt. Verglichen mit vorhandenen Angaben (maximale Eisdicke in Jahresberichten) und aus den Baltischen Schlüsselzahlen bestimmten Eisdicken geben die theoretisch berechneten Werte reale Dickenverhältnisse wieder, siehe Tabelle A-5 und Abb. A-4 und A-5 im Anhang. Die Unsicherheit beträgt ± 10 cm.

Behandlung der Eisdicken in den deutschen Gewässern

Für die Wattenbereiche der Nordsee und deren Zuflüsse ist der Begriff der „thermisch gewachsenen Eisdicke“ nicht anwendbar. Durch den Tideinfluss auf diese Gebiete wird das Eis ständig aufgebrochen und bei auflandigen Winden an den Küsten zusammen- und übereinandergeschoben. Diese Eisansammlungen können bei kalter Wit-

The calculation of ice thickness based on known code numbers (I, J, K) from the Baltic ice code was possible in a number of instances, since the ice in the waters analysed was most commonly fast ice; see conversion table in appendix.

The ice thickness information still missing from the period 1961 to 1981 was also determined using the functional relation between cold sum and ice thickness. According to the method developed by the Federal Maritime and Hydrographic Agency's ice service to calculate unknown ice thickness, the date of the first and last ice formation in an area can be estimated and the daily increasing or decreasing ice thickness calculated. This method has been used by the ice service to calculate missing ice thickness for many years and works especially well in enclosed waters (Düskau, 2013; Schmelzer and Holfort, 2014).

Limfjord and Ringkøbingfjord on the Danish coast are largely cut off from the open sea; in similar internal waters (e. g. in the Szczecin Lagoon on the German Baltic coast), ice growth mainly depends on the prevailing temperatures. Based on the average daily air temperature at the Ålborg, Thyborøn and Vestervig stations (Laurson, 2004) and pre-existing ice thickness from the years 1982 to 2010, the empirical equations for ice thickness growth and reduction were inferred for each Danish ice observation station analysed; see Fig. A-3 in the appendix as an example. The daily ice thickness for these waters was calculated theoretically and inserted into the ice charts from the years 1961 to 1981. Compared with the available information (maximum ice thickness in annual reports) and ice thickness determined from the Baltic codes, the theoretically calculated values convey real thickness rates; see Tab. A-5 and Fig's A-4 and A-5 in the appendix. The uncertainty is ± 10 cm.

Approach to ice thickness in German waters

The term "thermal ice growth" cannot be applied to the Wadden Sea areas of the North Sea or its tributaries because tidal influence in these areas causes the ice to break up and onshore winds on the coasts cause ice rafting and ridging. Cold weather conditions can mean that these accumulations of ice freeze together to form thick floes

terung zu dickeren Schollen zusammenfrieren und bei ablandigen Winden in die offenen Seebereiche gelangen. Die Dicken des geschichteten Eises können fast doppelte Werte verglichen mit thermischem Wachstum aufweisen. Deshalb besteht keine Möglichkeit, die Eisdicken in diesen Bereichen ausgehend nur von den Temperaturverhältnissen theoretisch abzuschätzen. Für die deutschen Gewässer bestand auch keine zwingende Notwendigkeit dies zu tun, da die Beobachtungsstationen neben den Häfen auch die inneren Fahrwasserabschnitte und die offene See abdecken. Die Beobachtungsdaten sind bereits aufgearbeitet und in der Eisdatenbank des BSH archiviert. Die in den vom DHI herausgegebenen Eiskarten im Zeitraum 1961–1981 fehlenden Eisdicken wurden aus der Datenbank übernommen.

Abschätzung der Genauigkeit

War die Abschätzung der Ungenauigkeiten schon in der westlichen und südlichen Ostsee schwer, so ist er in der Nordsee noch schwerer, da als ein weiterer Faktor die viel größeren Gezeiten hinzukommen. Allgemein ist davon auszugehen, dass sich die Genauigkeit der Eiskarten im Laufe der Zeit verbessert hat. Dies ist hauptsächlich auf der vermehrten Verwendung von Satellitendaten, die am Anfang ja gar nicht vorlagen und wirklich zeitnah und in halbwegs ausreichender Anzahl erst in der letzten Dekade vorlagen, zurückzuführen.

Bei den Eisdaten der Beobachtungsstationen hat sich, außer bei der Kodierung der Meldungen beim Wechsel von dem alten zum neuen Eisschlüssel in 1982, nichts prinzipiell geändert. Noch immer gehen Menschen meist morgens gegen 7:00 Uhr raus, schauen aufs Meer und melden dann die visuell gemachten Beobachtungen zum Eisdienst. Die kodierten Meldungen werden plausibilisiert und in einer Datenbank gespeichert. Eisdicken werden meist nur von weitem geschätzt, da eine direkte Messung, besonders in Gezeiten geprägten Gebieten, meist nur schwer, oder aus Sicherheitsgründen gar nicht, durchführbar ist. Sogar sehr genaue Beobachtungen sind nicht unbedingt repräsentativ für die tägliche Eislage. Zum Beispiel kann durch den Gezeitenstrom das morgens bei Flut an der Station befindliche Gebiet mit sehr dichtem und dickem Eis soweit verdriften, dass später bei Ebbe an der Station überhaupt kein Eis vorhanden ist. Oder eine gemeldete sehr große maximale Eisdicke rührte nur von einem einzelnen Eisblock oder starken Aufpressung/Übereinanderschlebung her. In gewissem Maße werden

which can end up in areas of open water in the event of offshore winds. The thickness of the stratified ice can have almost double the values compared with thermal growth, which is why it is not possible to make a theoretical estimate of the ice thickness in these areas based only on the temperature conditions. There was also no imperative need to do this for the German waters since the observation stations, along with the ports, also cover the inner fairway sections and the open sea. The observation data has already been processed and archived in the Federal Maritime and Hydrographic Agency's ice database. The ice thickness missing in the ice charts published by the German Hydrographic Institute for the period 1961 to 1981 was taken from the database.

Assessment of accuracy

The estimation of inaccuracies was already difficult in the western and southern Baltic and is even more difficult in the North Sea, due to the much larger influence of tides. Generally it can be assumed that the accuracy of the ice charts has improved over time. This is mainly due to the increased use of satellite data, which were not available in the beginning and it has been really only the last decade in which they are available in near real time and in almost sufficient number.

The way ice data is gathered at observation stations has not changed very much, almost the only substantial change being the switch from the old to the new Baltic sea ice code for encoding messages in 1982. People are still going out in the morning, mostly around 7:00 clock, look at the sea and then report the visual observations made to the Ice Service. The coded messages are checked for plausibility and stored in a database. Ice thickness is usually estimated only from a distance, as a direct measurement, especially in tidal affected areas, is very difficult and usually also not feasible for safety reasons. Even highly accurate observations do not need to be representative of the daily ice conditions, as for example the very close ice present at the station at high tide in the morning can drift away with the tidal current leaving the station surroundings ice free at low tide around midday. Or the very large maximum ice thickness reported derives from a single floe bit or strongly rafted and ridged ice floe. To some extent the peculiarities of the observational data is taken in account by the ice analyst when creating the

die Besonderheiten der Beobachtungsdaten von dem Eisanalysten bei Erstellung der Karte mit berücksichtigt, wobei auch zusätzliche Informationen der Eisbeobachter, die nicht in die Datenbank einfließen und Satellitendaten benutzt werden. Ein direkter Vergleich der Beobachtungsdaten mit den Karten, mit teils größeren Abweichungen, kann daher nicht direkt zur Abschätzung der Unsicherheiten der Eiskarten benutzt werden.

In früheren Jahren brauchten die Daten meist etwas länger bis sie zur Weiterverarbeitung vorlagen. „Aktuelle“ Daten konnten daher nicht in der Eiskartenerstellung berücksichtigt werden. Retrospektiv betrachtet, besonders bei schnellen Änderungen der Eislage, können die Eisinformationen nicht mit der entsprechenden Eiskarte übereinstimmen. In sehr deutlichen Fällen wurde dies aber bei der Digitalisierung der Eiskarten mit berücksichtigt und die Karte für die statistische Auswertung dahin gehend angepasst. Die für die statistischen Berechnungen benutzte horizontale Auflösung von weniger als 1 km ist in den meisten Gebieten sehr viel kleiner als die Genauigkeit der Eisgrenzen in den einzelnen Karten. Allein durch Wind und Gezeiten können sich die Eisgrenzen in den Ästuarien und auf offener See in einem Tag um mehrere Kilometer verschieben. Dort aber, wo schmale Landzungen z. B. Fjorde von der Außenküste abgrenzen, ist diese Auflösung notwendig, damit Außen- und Innenbereiche klar getrennt werden können.

Man kann versuchen die Fehler des Bedeckungsgrades und der Eisdicke durch Vergleich der verfügbaren deutschen und dänischen Eiskarten abzuschätzen. Hierfür lagen Eiskarten an 62 Tagen in den Jahren 1979 bis 1987 vor. Theoretisch wäre es möglich gewesen, dass bei der Kartenerstellung auch Satellitendaten einfließen, dies konnte im Nachhinein aber nicht festgestellt werden. Gemeinsam decken die Karten hauptsächlich nur den Limfjord ab, sodass hieraus nicht auf die Genauigkeit auf offener See geschlossen werden kann. Lokal kann der Mittelwert der Abweichungen größer als 20 % bei der Bedeckung und 5 cm bei der Dicke sein, der Medianwert der Abweichungen ist aber auch lokal meist kleiner als 2% bei der Bedeckung und 2 cm bei der Dicke. Die Verteilungsfunktion der Abweichungen folgt also nicht der Gauß'schen Normalverteilung und ist außerdem noch räumlich inhomogen. Durch diese Umstände war es nicht möglich über diesen Vergleich einfache, allgemein gültige Abschätzungen der Genauigkeit zu machen.

ice chart, also using additional information from the ice observer which are not included in the database as well as satellite data. The observed differences between the direct ice observations of the data base and the corresponding ice charts, which can be huge, therefore cannot be used directly for the estimation of the uncertainties in the ice charts.

In previous years, the data usually needed a little bit longer until they were available for further processing. "Current" data could therefore not be considered in the production of the ice chart. In retrospect therefore sometimes the ice information from observations and satellites does not match with the chart information, especially in cases when in addition there were rapid changes in the ice conditions. But very clear cases were noted in the digitization of ice charts and for the statistical analysis the charts were adjusted accordingly. The spatial resolution used for the statistical calculations were less than 1 km. In general this is much smaller than the accuracy of the position of the ice edge in the charts, as the position of the ice edge can change several kilometers solely by wind and tides in the estuaries and the open sea in a day. But where narrow headlands separate inner waters from the outer coast, this resolution is necessary to clearly separate exterior and interior regions.

One can try to estimate the uncertainty in the ice concentration and the ice thickness by comparing available German and Danish ice charts. For this ice charts from 62 days in the years 1979–1987 were at hand. Although it would have been theoretically possible that also satellite data was used in drawing the charts, this cannot be determined in retrospect. The common area of the charts is mainly the Limfjord; therefore not much can be learned about the errors off the outer coast and open sea. Locally, the mean deviation can reach over 20 % in the ice concentration and 5 cm in the ice thickness, but the local median value of the deviations is usually less than 2 % in concentration and 2 cm in thickness. The distribution function of the deviations thus does not follow the Gaussian normal distribution, and in addition is also spatially inhomogeneous. Due to these circumstances it was not possible to make a simple, general assessment of the accuracy by such a comparison.

Auch bei den Karten liegen die Eisinformationen hauptsächlich diskretisiert nach dem Ostseeschlüssel vor, wobei in der Berechnung jeweils die Mittelwerte der einzelnen Intervalle benutzt werden. Diese Diskretisierung kann für eine grobe Abschätzung der mittleren Genauigkeit verwendet werden. So hat sehr lockeres Eis (1/10 bis 3/10) eine Bedeckung von $20\% \pm 10\%$ und lockeres Eis (4/10 bis 6/10) eine von $50\% \pm 10\%$. Die Genauigkeit ist also jeweils 10%, die weiteren Bedeckungsklassen haben durch die kleineren Bereiche auch kleinere Fehler. Man kann genauso auch auf einen maximalen Fehler von 15% kommen: bei 35% Bedeckung muss man sich entweder für sehr lockeres (20%) oder lockeres Eis (50%) entscheiden. In ähnlicher Weise kommt man bei der Dicke auf eine Genauigkeit von etwa 10 cm (mitteldickes, erstjähriges Eis kommt in der Nordsee so gut wie nicht vor). Entsprechend der Fehlerrechnung (bei Annahme von normal verteilten Fehlern) ist der Fehler des Mittelwertes entsprechend kleiner. Bei 50 Werten (Jahren), ist der Fehler in der mittleren Bedeckung, ausgehend von 10% Einzelfehler dann etwa 1.5% und bei der mittleren Eisdicke, bei 10 cm Einzelfehler, dann etwa 1.5 cm. Dies ist unsere bestmögliche Abschätzung der Genauigkeit für die gesamte 50-jährige Periode.

Sobald die Daten vollständig vorlagen, war die Berechnung der statistischen Angaben (Häufigkeit des Eisauftretens, mittlerer Bedeckungsgrad, mittlere Eisdicke, etc.) unkompliziert. Aber bei der Interpretation der Ergebnisse sollte man die unten angegebenen Punkte beachten:

- Bei der statistischen Analyse basierend nur auf den Daten aus den Eiskarten werden die Ergebnisse zu niedrigerer Häufigkeit, späterem Termin des frühesten Eisauftretens und früherem Ende der Eissaison tendieren. Das liegt daran, dass die Herausgabe der Eiskarten erst beginnt, wenn genügend Eis im Seebereich auftritt, und endet, wenn auf See keine Behinderungen für Schiffe durch Eis auftreten.

In the ice charts the ice information is mainly given in the discrete intervals of the Baltic sea ice code, and in the later calculations the mean values of these intervals were used. This discretization can be used for a rough estimate of the average accuracy. So very open ice (1/10 to 3/10) as a concentration of $20\% \pm 10\%$ and open ice (4/10 to 6/10) $50\% \pm 10\%$. The inaccuracy in both is 10%, with smaller errors in the other concentration classes due to their smaller range. In similar way one can also arrive to a maximum error of 15%, as at 35% concentration the decisions is between very close ice (20%) and close ice (50%). Using the same argumentation for the thickness the error is about 10 cm (practically no medium first year ice is present in the North Sea). According to the error calculation (assuming normally distributed errors) the error of the statistical mean value is correspondingly smaller, with 50 values (years) a single error of 10% leads to an error of about 1.5% in the mean concentration and a single error of 10 cm leads to an error of about 1.5 cm in the mean thickness. This is our best estimate of the accuracy for the whole 50 years period.

Once the gridded data was available, the calculation of the statistical data (ice frequency, mean concentrations and thickness, etc.) was straightforward. But some care has to be applied to the interpretation:

- *The statistical charts are based solely on the data from the ice charts and so the results will tend to lower frequency, later date of the earliest ice occurrence and earlier end of the ice season. The reason lies in the fact that the publication of ice charts does not begin until enough occurs in the area and ends when the few ice still present does not pose obstacles for ships at sea.*

- Die Karten der Mittelwerte des Bedeckungsgrades und der Eisdicke für Winter mit Eisauftreten, können auf ersten Blick unrealistisch aussehen, weil im Seebereich größere Werte als an der Außenküste oder in den inneren Küstengewässern vorkommen können. Jedoch wird dieses Verhalten durch ein einfaches Beispiel leicht erklärt: In einem extrem starken oder sehr starken Eiswinter sind die Küstengewässer und der Seebereich zu 100 % eisbedeckt. Wenn es der einzige Winter mit Eisauftreten auf See war, ist das Mittel dieses einzelnen Wertes natürlich auch gleich 100 %. In den Küstengewässern, in denen Eis in weiteren Wintern, aber mit einer Bedeckung unter 100 %, auftrat, wird auch der Mittelwert kleiner als 100 % sein.
- *Maps showing the mean ice concentration or thickness based exclusively on years with ice may be counter-intuitive because the ice concentration or thickness in the open sea exceeds that near the coast or in the inner waters. However, this behaviour is easily explained by a simple example. In a very severe winter, both the open sea and the coastal waters are 100 % ice covered. If this is the only winter with ice at sea, the mean is equal to this single value, i. e. 100 %. In the coastal waters, where ice is present in all other winters but at concentrations below 100 %, also the mean concentration is less than 100 % and is thus smaller than the mean (using just winters with ice) at sea.*

Klassifizierung der Eiswinter an der deutschen Nordseeküste

Für die eisklimatologischen Untersuchungen wurden aus dem langjährigen Beobachtungsnetz an der deutschen Nordseeküste 13 repräsentative Stationen ausgewählt, durch welche die spezifischen Eisverhältnisse des Küstengebiets annähernd ausgewogen erfasst werden, Abb. 4.

Classification of ice winters on the German North Sea coast

Thirteen representative stations were selected from the long-standing observation network on the German North Sea coast for the ice climate analyses. These stations recorded the specific ice conditions in the coastal region in an approximately balanced way; Fig. 4.

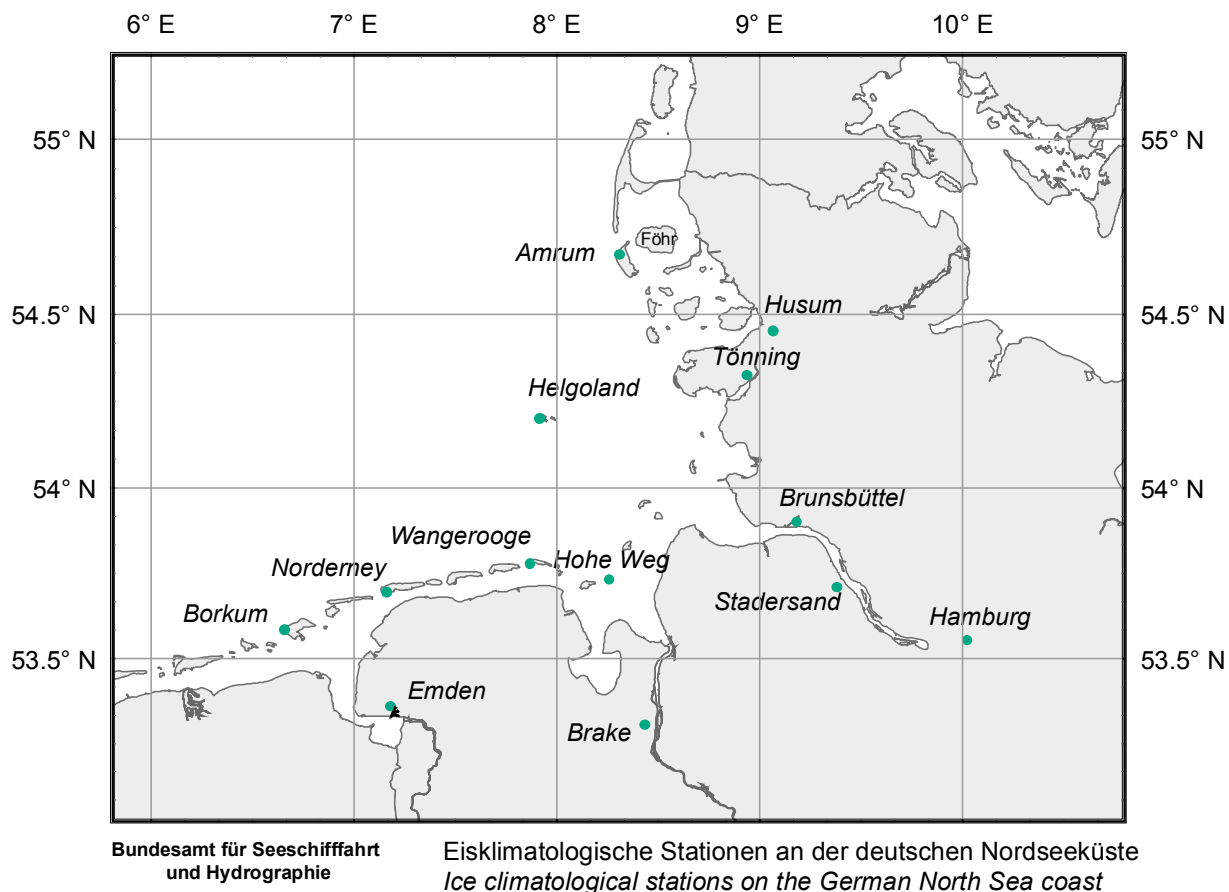


Abb. 4: Eisklimatologische Stationen an der deutschen Nordseeküste
Fig. 4: Ice climatological stations on the German North Sea coast

Aus aufsummierten Werten der Einzelstationen werden Maßzahlen für die Stärke eines Eiswinters berechnet. Diese wird durch die *flächenbezogene Eisvolumensumme* ausgedrückt. Mit der flächenbezogenen Eisvolumensumme wurde 1989 ein neues Maß zur Bewertung der Eiswinter eingeführt (Koslowski, 1989). Zusätzlich zur **Dauer der Vereisung** (reduzierte Eissumme) werden der **Bedeckungsgrad** und die **Eisdicke** zur Bestimmung hinzugezogen, um den häufig unterbrochenen Vereisungsperioden in den einzelnen Wintern besser gerecht zu werden. Die täglichen Werte der flächenbezogenen Eismenge an den 13 Eisklimastationen werden aufsummiert. Die flächenbezogene Eisvolumensumme ergibt sich daraus als Mittelwert der 13 Stationen.

Indices for the severity of an ice winter are calculated from the added-together values from the individual stations. This is expressed through the *accumulated areal ice volume*. 1989 saw the introduction of the accumulated areal ice volume and therefore a new measurement to assess the ice winter (Koslowski, 1989). In addition to the **duration of ice occurrence** (reduced ice sum), the **ice concentration** and the **ice thickness** are consulted as a determining factor in order to cater for the frequently interrupted ice periods in the individual winters. The daily values of the areal ice volume at the 13 ice climate stations are added together. The accumulated areal ice volume then arises as the mean value for the 13 stations.

$$V_{A\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_j \sum_k (NH)_{jk}$$

mit
 n - Anzahl der Stationen,
 N - Bedeckungsgrad (in Zehntel),
 H - Eisdicke,
 j - Laufzahl der 13 Stationen,
 k - Laufzahl der Tage mit Eis.

$$V_{A\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_j \sum_k (NH)_{jk}$$

where
 n - number of stations
 N - ice concentration
 H - ice thickness
 j - index of the 13 stations
 k - index of days with ice

Die Eiswinter an der deutschen Nordseeküste werden in 5 Eiswintertypen eingeteilt:

Ice winters on the German North Sea coast are grouped in 5 ice winter classes:

V_{AΣ} (Nordsee), m

Schwach	< 0.35
Mäßig	0.35–3.50
Stark	3.51–6.00
Sehr stark	6.01–13.00
Extrem stark	> 13.00

V_{AΣ} (North Sea), m

Weak	< 0.35
Moderate	0.35–3.50
Strong	3.51–6.00
Very strong	6.01–13.00
Extremely strong	> 13.00

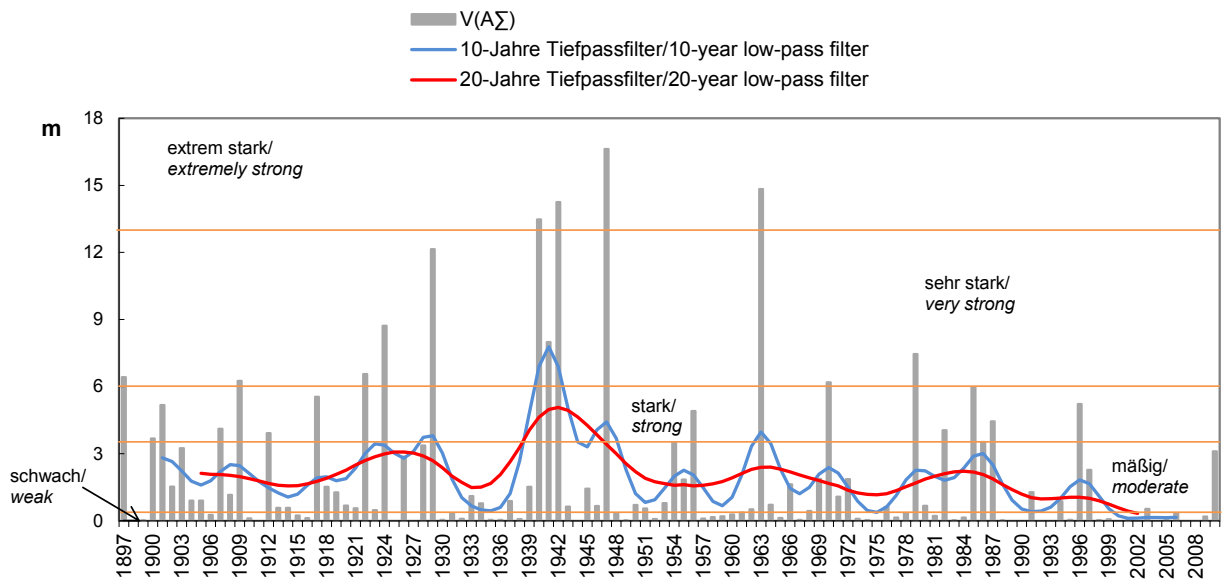


Abb. 5: Verteilung der flächenbezogenen Eisvolumensumme an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1897–2010

Fig. 5: Distribution of accumulated areal ice volume on the German North Sea coast in the period of 1897 to 2010

In den analysierten 50 Jahren (Zeitraum von 1961 bis 2010) gab es in der Nordsee 26 (52%) sehr schwache bis schwache, 16 (32%) mäßige, 4 (8%) starke und 4 (8%) sehr starke bis extrem starke Eiswinter. Im Vergleich zu der 114-jährigen, in Abb. 5 dargestellten Periode, ist eine Abnahme der extrem starken und sehr starken Eiswinter bei gleichzeitiger Zunahme der schwachen Eiswinter und Winter ohne Eisvorkommen festzustellen. Diese Tatsache spiegelt sich auch im Rückgang der Häufigkeit des Eisauftretens in drei 30-jährigen Perioden 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 wider, Abb. 1.

In the 50 years analysed (period 1961 to 2010), there were 26 (52%) very mild to mild, 16 (32%) moderate, 4 (8%) severe and 4 (8%) very severe to extremely strong ice winters. Compared with the 114-year period depicted in Fig. 5, it is possible to determine a decline in the extremely severe and very strong ice winters with a simultaneous increase in weak ice winters and winters with no ice formation. This fact is also reflected in the fall in ice formation frequency in three 30-year periods: 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010; Fig. 1.

Allgemeines

Die Küsten und Seegebiete der Deutschen Bucht gehören zur Nordsee, einem Nebenmeer des Atlantischen Ozeans im nordwestlichen Europa. Da die Nordsee an drei Seiten vom Land umgeben ist, kann man hier nicht allgemein von einem reinen milden maritimen Klima sprechen; in den südlichen und südöstlichen Abschnitten machen sich die kontinentalen Einflüsse bemerkbar. Das kontinentale Klima weist erheblich größere Jahresschwankungen der Lufttemperatur auf als das maritime. Demnach sind die Temperaturschwankungen in den einzelnen Seegebieten der Nordsee unterschiedlich stark ausgeprägt. Im Allgemeinen nehmen sie von Norden nach Süden und Südosten zu. Über der Nordsee werden im Winter im Bereich der Deutschen Bucht die niedrigsten Werte der Lufttemperatur gemessen. Aber überwiegend

General

The coasts and maritime areas of the German Bight are part of the North Sea, which is a marginal sea of the Atlantic Ocean in north-western Europe. As the North Sea is surrounded by land on three sides, it cannot generally be referred to as a purely mild maritime climate; continental influences make themselves felt in the southern and south-western sections. The continental climate exhibits significantly greater annual fluctuations in air temperature than the maritime climate. Therefore, the temperature fluctuations in the individual maritime regions of the North Sea vary different. In general, they increase from north to south and south-east. Over the North Sea, the lowest winter's air temperature values are measured in the area of the German Bight, but predominantly westerly winds, particularly in the autumn and

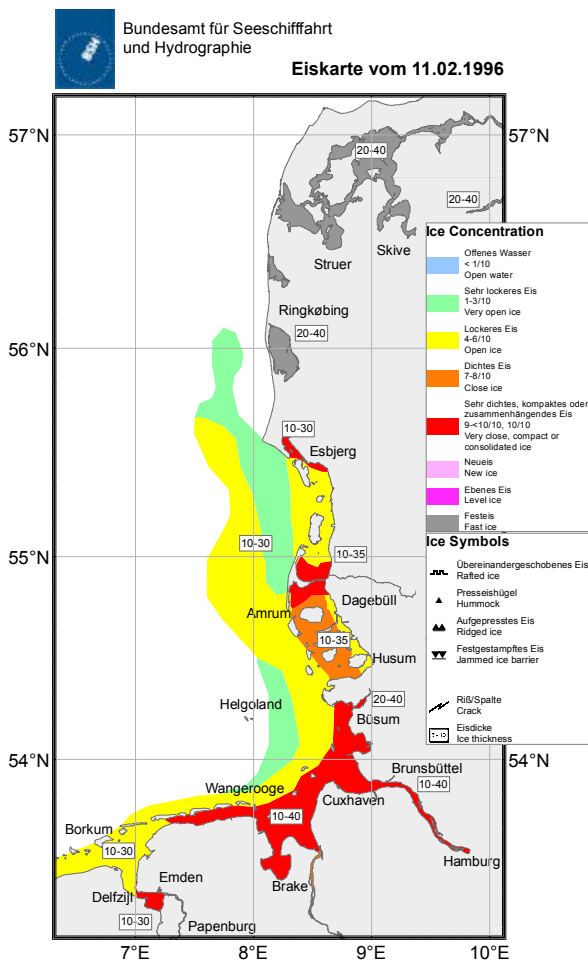


Abb. 6: Eisverhältnisse am 11. Februar des starken Eiswinters 1995/96
Fig. 6: Ice conditions on 11 February of the strong ice winter 1995/96

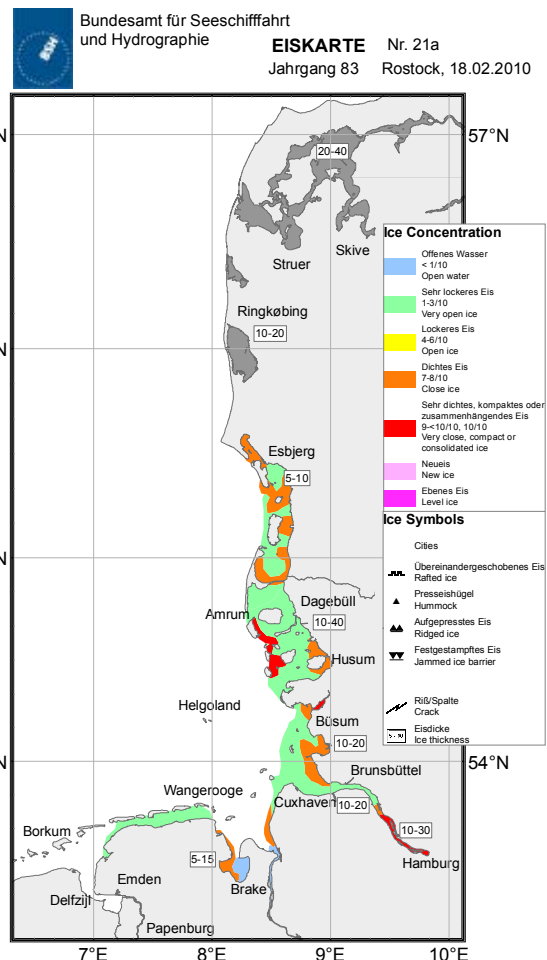


Abb. 7: Eisverhältnisse am 18. Februar des mäßigen Eiswinters 2009/10
Fig. 7: Ice conditions on 18 February of the moderate ice winter 2009/10

westliche Winde, besonders in den Herbst- und Wintermonaten, führen nicht nur milde atlantische Luftmassen nach Mitteleuropa, sondern verstärken auch die Zufuhr von relativ warmem und sehr salzhaltigem atlantischem Wasser in die Deutsche Bucht. Dadurch wird die Abkühlung der Nordsee verhindert oder verläuft sehr langsam, es kommt normalerweise zu keiner Eisbildung. Nur bei Ostwetterlagen (stationäre, großräumige Hochdruckgebiete über Nordskandinavien und dem Europäischen Nordmeer, oder ausgedehnte Hochdruckwetterlagen über Osteuropa) mit länger anhaltenden Kälteperioden kann sich das Wasser bis zur Gefrierbereitschaft abkühlen, was aber nicht unbedingt zur Eisbildung führen muss. Umfang und Dauer der Eisbedeckung in der Deutschen Bucht hängen von der Anzahl, Stärke und Länge der Kälteperioden ab. Abgesehen von den meteorologischen Faktoren spielen auch die Gezeiten, die Wassertiefe und die morphologische Großgliederung in der Deutschen Bucht in offener See, Wattenmeere und Zuflüsse eine große Rolle bei der Entwicklung der Eisverhältnisse. Während in den ufernahen Wattengebieten etwa 30% aller Winter des Beobachtungszeitraumes 1961–2010 eisfrei blieben, bildete sich im Seegebiet vor den Nord- und Ostfriesischen Inseln nur in starken bis extrem starken Eiswintern Eis, so wie z. B. im Winter 1995/96, siehe Abb. 6. In mäßigen Eiswintern beschränkt sich die Eisbildung auf Wattenbereiche und auf die inneren Bereiche der Ems, Weser und Elbe, vgl. Abb. 7. Der offene Teil der Deutschen Bucht blieb in den meisten Wintern des untersuchten Zeitraumes eisfrei. Treibeis, das in etwa 10% aller Winter westlich und nordwestlich von Helgoland beobachtet worden ist, ist nicht bei Helgoland entstanden. Es wurde durch Gezeitenströme und langandauernde östliche Winde aus dem Küstenbereich seewärts vertrieben.

winter months, do not only direct the mild Atlantic air masses to central Europe; they also intensify the influx of relatively warm and very salty Atlantic water into the German Bight. As a result, the North Sea is prevented from cooling, or this occurs very slowly, and there is usually no ice formation. It is only when there is a weather regime with pronounced high pressure over the north-eastern Baltic region (stationary, large-scale high-pressure areas over northern Scandinavia and the Nordic Seas, or extended high-pressure weather conditions over eastern Europe) with longer-lasting cold spells that the water can cool down and tend to freeze although this does not necessarily mean that ice will form. The extent and duration of ice cover in the German Bight depend on the number, severity and length of the cold spells. Apart from the meteorological factors, the tides, water depth and large scale morphological classification of the German Bight in the open sea, Wadden Seas and tributaries also play a large role in the development of the ice conditions. While approximately 30% of all winters in the observation period 1961 to 2010 were ice-free in the inshore tidal flat areas, ice only formed in the maritime area off the north and east Frisian islands in strong to extremely strong ice winters, for example in the winter of 1995/96; see Fig. 6. During moderate ice winters, the ice formation was limited to tidal flat areas and the inner areas of the Ems, Weser and Elbe; cf. Fig. 7. The open section of the German Bight remained ice-free during most of the winters in the period analysed. Drift ice observed to the west and north-west of Helgoland in approximately 10% of all winters did not develop off Helgoland. It drifted from the coastal zone out to sea as a result of tidal streams and long-lasting easterly winds.

Eisverhältnisse in der Nordsee sowie auf der Ems, Weser und Elbe im Zeitraum 1961–2010

In der südlichen Nordsee weist die niederländische Waddenzee die stärkste Eisbildung auf. Dennoch bleibt sie in etwa einem Drittel aller Winter eisfrei. Sie ist verhältnismäßig flach und durch die Westfriesischen Inseln von dem wärmeren, salzhaltigeren Wasser der Nordsee weitgehend getrennt. Bei Frostwetter gefriert das Wasser rasch an der Festlandküste und breitet sich von dort schnell aus. In normalen Wintern ist das Eisvorkommen unbedeutend. Bei einer längeren Kälteperiode bedeckt sich die ganze Waddenzee mit Festeis oder zusammenhängendem/zusammen-geschobenem Eis.

Statistische Angaben für die Eisbeobachtungsstationen im deutschen Nordseegebiet

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Eisdatenanalyse für die Beobachtungsstationen im deutschen Nordseebereich dargestellt. Angesichts der sehr unterschiedlichen klimatologischen und hydrologischen Bedingungen zwischen den nördlichen und südlichen Teilen der Nordseeküste sowie der morphologischen Großgliederung der Nordsee in offene See, Wattenmeere und Zuflüsse ist für die Beschreibung der Eisverhältnisse eine Aufteilung der Stationen in fünf Gruppen notwendig: nordfriesisches Wattenmeer, Unterlauf der Elbe, Unterlauf der Weser, ostfriesisches Wattenmeer, innere Deutsche Bucht, siehe Abb. 8.

Die deutsche Nordseeküste erstreckt sich zwischen 53° N und 55° N. Das Eisauftreten in verschiedenen Bereichen der Küste ist von der geographischen Lage (Nord-Süd-Erstreckung), von den Möglichkeiten des Wasseraustausches, von Gezeiten, von der Wassertiefe und dem Schiffsverkehr, nur um einige der Faktoren zu nennen, abhängig. Die Eisverhältnisse in den Nordseebereichen spiegeln die oben genannten Faktoren wider. So trat das Eis in der Umgebung von Helgoland in der inneren Deutschen Bucht (der am weitesten von der Küste entfernte Bereich mit größten Wassertiefen) in den betrachteten 50 Jahren nur in 5 Wintern auf, der Hafen Tönning an der nordfriesischen Küste war dagegen in 46 Wintern vereist. Die Vereisungshäufigkeit im nordfriesischen Wattenmeer beträgt zwischen 60 und 90 %, im ostfriesischen Wattenmeer höchstens 60 %, siehe Tabelle 4 und Abb. 9.

Ice conditions in the North Sea as well as on the Ems, Weser, and Elbe in the period 1961 to 2010

The Dutch Wadden Sea exhibits the greatest formation of ice in the southern North Sea, but it was still ice-free for approximately a third of all winters. It is relatively flat and largely separated from the warmer, saltier water in the North Sea by the West Frisian Islands. The water freezes quickly on the mainland coastline in frosty weather conditions and spreads rapidly from there. The ice formation during normal winters is insignificant. During longer cold spells, the entire Wadden Sea is covered with fast ice or consolidated/compact ice.

Statistical information for the monitoring stations in the German North Sea area

In the following, the findings from the ice data analysis for the observation stations in the German North Sea area will be presented. In view of the very varied climatological and hydrological conditions between the northern and southern parts of the North Sea coast and the large-scale morphological classification of the North Sea into the open sea, Wadden Seas and tributaries, it is necessary to separate the stations into five groups in order to describe the ice conditions: North Frisian Wadden Sea, lower reaches of the Elbe, lower reaches of the Weser, East Frisian Wadden Sea, inner German Bight; see Fig. 8.

The German North Sea coast stretches between 53° N and 55° N. The ice formation in various areas of the coast depends on the geographical position (North-South extent), the possibilities of water exchange, the tides, water depth and shipping traffic, to name but a few of the factors. The ice conditions in the North Sea areas reflect the above factors. The ice only appeared around Helgoland in the inner German Bight (the area furthest from the coast with the greatest water depths) during 5 winters in the 50 years under consideration; in contrast, the port of Tönning on the North Frisian coast was frozen during 46 of the winters. The frequency of ice occurrence in the North Frisian Wadden Sea is between 60 % and 90 %; in the East Frisian Wadden Sea it is 60 % at the most; see Tab. 4 and Fig. 9.

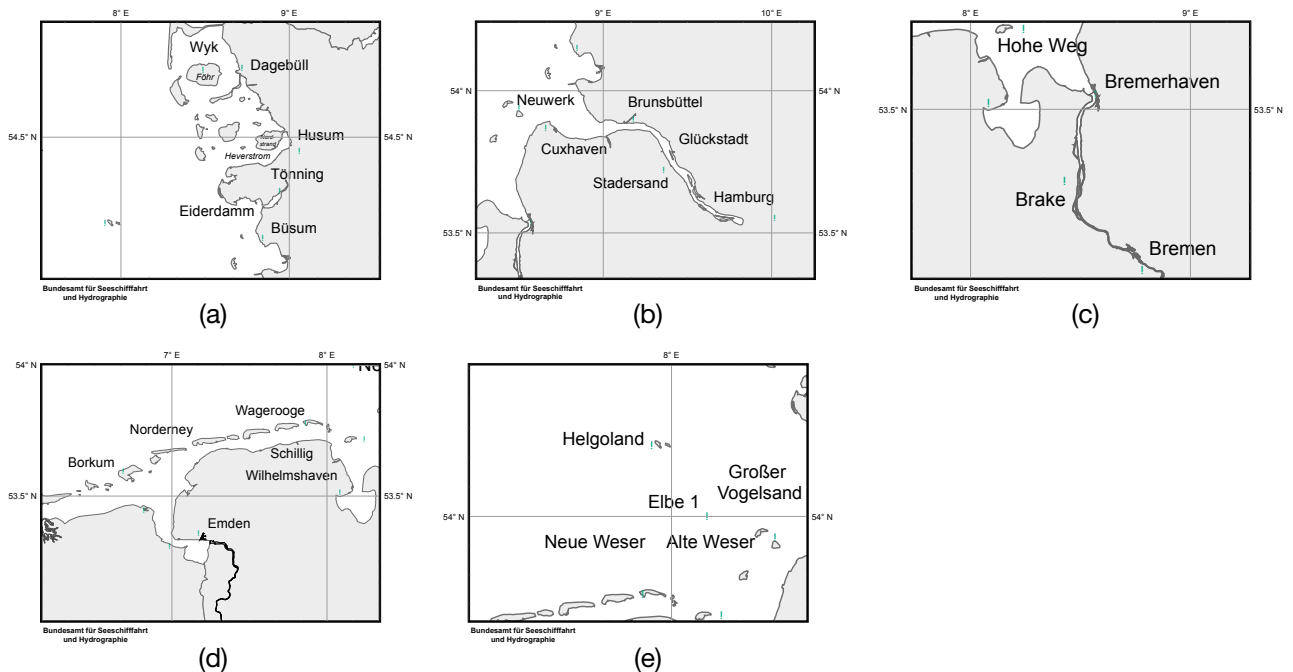


Abb. 8: Eisbeobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im nordfriesischen Wattenmeer (a), auf dem Unterlauf der Elbe (b), auf dem Unterlauf der Weser (c), im ostfriesischen Wattenmeer (d) und in der inneren Deutschen Bucht (e)

Fig. 8: Monitoring stations on the German North Sea coast in the North Frisian Wadden Sea (a), on the Lower Elbe (b), on the Lower Weser (c), in the East Frisian Wadden Sea (d), and in the inner German Bight

Das erste Eis bildet sich an der nordfriesischen Küste gewöhnlich Ende Dezember/Anfang Januar, auf den Unterläufen von Elbe, Weser und Ems sowie im ostfriesischen Wattenmeer Anfang Januar, und in der inneren Deutschen Bucht tritt das erste Eis etwa Mitte Januar auf. In extremen Jahren kann die Eisbildung in den inneren Bereichen bereits in der zweiten Novemberdekade beginnen und im Dezember auf die äußeren Abschnitte übergreifen. Alle Bereiche werden normalerweise im Februar eisfrei, nur in sehr starken Eiswintern bleibt das Eis in geschützten Lagen bis Ende März liegen, vgl. Tabelle 4 und Abb. 10.

The first ice on the North Frisian coast usually forms at the end of December/beginning of January and on the lower reaches of the Elbe, Weser and Ems as well as in the East Frisian Wadden Sea at the beginning of January. The first ice in the inner German Bight usually forms around mid-January. In years with extreme conditions, the ice can form as early as the second decade of November and extend to the outer sections in December. All areas are usually free of ice in February, and it is only in very strong ice winters that the ice remains in sheltered areas until the end of March, cf. Tab. 4 and Fig. 10.

Die mittlere Anzahl der Tage mit Eis (nur für Winter mit Eisvorkommen) variiert von 35 in einigen Häfen an der nordfriesischen Küste bis etwa 10 in der inneren Deutschen Bucht, siehe auch Tabelle 4 und Abb. 11. In sehr starken Eiswintern kann die Eissaison bis zu 108 Tage (Hafen Tönning, Winter 1995/96) dauern. Die günstigsten Eisverhältnisse sind im Hamburger Hafen, auf der Weser oberhalb von Bremerhaven und im Wangerooger Fahrwasser anzutreffen, was auf den regen Schiffsverkehr und günstige Strömungsverhältnisse zurückzuführen ist. Erwartungsgemäß dauert die Eissaison im normalen Fall an der nordfriesischen Küste länger als im ostfriesischen Wattenmeer. Die kürzeste Dauer der Eiswinter ist an den Stationen in der inneren Deutschen Bucht registriert.

The average number of days with ice (only for winters with ice formation) varies from 35 in some ports on the North Frisian coast to approximately 10 in the inner German Bight; see also Tab. 4 and Fig. 11. In very strong ice winters, the ice season can last up to 108 days (port of Tönning, winter 1995/96). The most favourable ice conditions are encountered in the port of Hamburg, on the Weser above Bremerhaven and in the Wangerooger fairway, which can be attributed to the busy shipping traffic and favourable current patterns. The expectation is that the ice season normally lasts longer on the North Frisian coast than in the East Frisian Wadden Sea. The shortest ice winter duration is registered at the stations in the inner German Bight.

Station	Häufigkeit %		Median Beginn		Früh. Beginn		Spät. Beginn		Median Ende		Früh. Ende		Spät. Ende		Mittel Tage Winter mit Eis		Mittel Tage alle Winter		Min. Tage mit Eis		Max. Tage	
	Frequency %		Median begin		Earliest begin		Latest begin		Median end		Earliest end		Latest end		Mean days winters with ice		Mean days all winters		Min. days with ice		Max. days with ice	
1961–2010																						
1961–2010																						
Dagebüll, Hafen	70		7.01	1.12	18.02	3.12	15.03	20.02	20.02	3.12	15.03	21.9	15.4	1	84							
Dagebüller Fahrwasser	66		9.01	2.12	18.02	3.12	15.03	20.02	20.02	3.12	15.03	22.3	14.7	2	82							
Wyk auf Föhr, Hafen	46		12.01	19.12	19.02	31.12	13.03	23.02	23.02	31.12	13.03	25.9	11.9	2	71							
Wyk auf Föhr, Norderaue	45		12.01	19.12	19.02	31.12	13.03	22.02	22.02	31.12	13.03	26.5	12.2	1	71							
Husum, Hafen	70		30.12	16.11	4.03	4.12	16.03	23.02	23.02	4.12	16.03	27.7	19.4	3	90							
Husum, Au	70		30.12	16.11	5.03	4.12	16.03	18.02	18.02	4.12	16.03	26.5	18.5	3	90							
Nordstrand, Hever	63		3.01	23.11	15.02	2.12	16.03	18.02	18.02	2.12	16.03	26.1	16.5	2	80							
Tönning, Hafen	92		22.12	23.11	2.03	12.12	26.03	22.02	22.02	12.12	26.03	34.9	32.1	2	108							
Eiderdamm, Seegebiet	88		22.12	22.11	11.02	11.12	25.03	25.02	25.02	11.12	25.03	33.6	29.5	1	94							
Büsum, Hafen	78		1.01	23.11	28.02	13.12	21.03	20.02	20.02	13.12	21.03	27.4	21.4	2	82							
Büsum, Norderpiep	64		4.01	26.11	14.02	13.12	18.03	20.02	20.02	13.12	18.03	26.2	16.8	1	75							
Büsum, Süderpiep	64		2.01	26.11	14.02	13.12	12.03	17.02	17.02	13.12	12.03	26	16.7	1	75							
Hamburg-Landungsbrücken	68		30.12	23.11	4.03	6.12	7.03	12.02	12.02	6.12	7.03	26.7	18.2	2	78							
Stadersand, Elbe	66		6.01	10.12	3.03	12.12	11.03	15.02	15.02	12.12	11.03	22.6	14.9	2	76							
Glückstadt, Hafen und Einfahrt	64		1.01	22.11	12.02	11.12	23.03	24.02	24.02	11.12	23.03	35.9	22.96	2	93							
Glückstadt, Elbe	60		5.01	23.11	10.02	4.01	23.03	23.02	23.02	4.01	23.03	30.8	18.5	2	86							
Brunsbüttel, Elbe	52		11.01	16.12	5.03	22.12	21.03	22.02	22.02	22.12	21.03	29.1	15.1	1	78							
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt	52		9.01	18.12	4.03	12.01	20.03	20.02	20.02	12.01	20.03	25.4	13.2	3	77							
Cuxhaven, Elbe	48		9.01	19.12	18.02	31.12	19.03	19.02	19.02	31.12	19.03	25.1	12.1	2	70							
Cuxhaven – Neuwerk	46		11.01	19.12	19.02	31.12	15.03	20.02	20.02	31.12	15.03	22.7	10.4	1	68							
Neuwerk, Elbe	42		11.01	19.12	19.02	30.12	15.03	18.02	18.02	30.12	15.03	21.2	8.9	1	65							
Großer Vogelsand	38		9.01	20.12	21.02	31.12	12.03	8.02	8.02	31.12	12.03	15.9	6.1	1	50							

Tabelle 4: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 4: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–2010

1961–2010		Häufigkeit %	Median			Früh.			Spät.			Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
Station			Beginn	Früh. Beginn	Spät. Beginn	Ende	Ende	Ende	Winter mit Eis alle Winter	mit Eis	Winter mit Eis alle Winter	mit Eis	Winter mit Eis alle Winter	mit Eis	Winter mit Eis alle Winter	mit Eis	
Station		Frequency %	Median begin	Earliest begin	Latest begin	Median end	Earliest end	Latest end	Mean days winters with ice	Min. days with ice	Max. days with ice						
Ansteuerungstonne Elbe		22	16.01	1.01	25.02	19.02	14.01	7.03	12.2	2.7	3	56					
Helgoland, Hafen und Einläufe		10	20.01	18.01	1.03	23.02	21.01	14.03	10.6	1.1	2	25					
Bremen, Weser		48	4.01	23.11	26.02	25.01	2.01	6.03	13.2	6.3	2	73					
Brake, Weser		42	4.01	21.12	23.02	28.01	30.12	7.03	15.95	6.7	1	71					
Bremerhaven, Weser		46	10.01	17.12	1.03	7.02	30.12	8.03	16.3	7.5	2	73					
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW		48	8.01	13.12	5.03	21.02	13.01	12.03	20.5	9.9	1	80					
Alte Weser, FW		32	3.01	14.12	22.02	17.02	19.12	22.03	17.6	5.6	1	56					
Neue Weser, FW		20	15.01	19.12	21.02	12.02	19.12	3.03	12.3	2.6	1	38					
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt		46	11.01	17.12	19.02	19.02	25.12	17.03	20.4	9.4	1	76					
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.		56	5.01	12.12	17.02	17.02	31.12	17.03	21.6	12.1	1	76					
Schillig, Jadegebiet		36	14.01	21.12	17.02	18.02	13.01	12.03	19.7	7.1	1	60					
Wangerooger Fahrwasser		42	10.01	17.12	22.02	9.02	5.01	8.03	11.5	4.8	1	65					
Wangerooge, Watten		56	6.01	16.11	21.02	18.02	30.12	23.03	20.2	11.3	1	76					
Wangerooge, Harle		54	4.01	16.11	21.02	19.02	30.12	24.03	20.9	11.3	1	76					
Norderney, Watten		62	4.01	16.11	14.02	17.02	30.12	15.03	21.9	13.6	1	74					
Norderney, Seegat		56	5.01	16.11	14.02	16.02	30.12	13.03	19.6	11	1	74					
Emden, Ems und Aussenhafen		58	3.01	2.12	15.02	9.02	1.01	16.03	24.2	14	1	71					
Ems, Emden – Randzelgat		58	2.01	23.11	16.02	9.02	19.12	16.03	25.1	14.5	2	80					
Borkum, Randzelgat		54	7.01	7.12	18.02	21.02	19.12	16.03	21.9	11.8	2	80					
Borkum, Westerems		46	7.01	12.12	21.02	21.02	31.12	13.03	20.1	9.3	1	78					

Tabelle 4: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 4: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

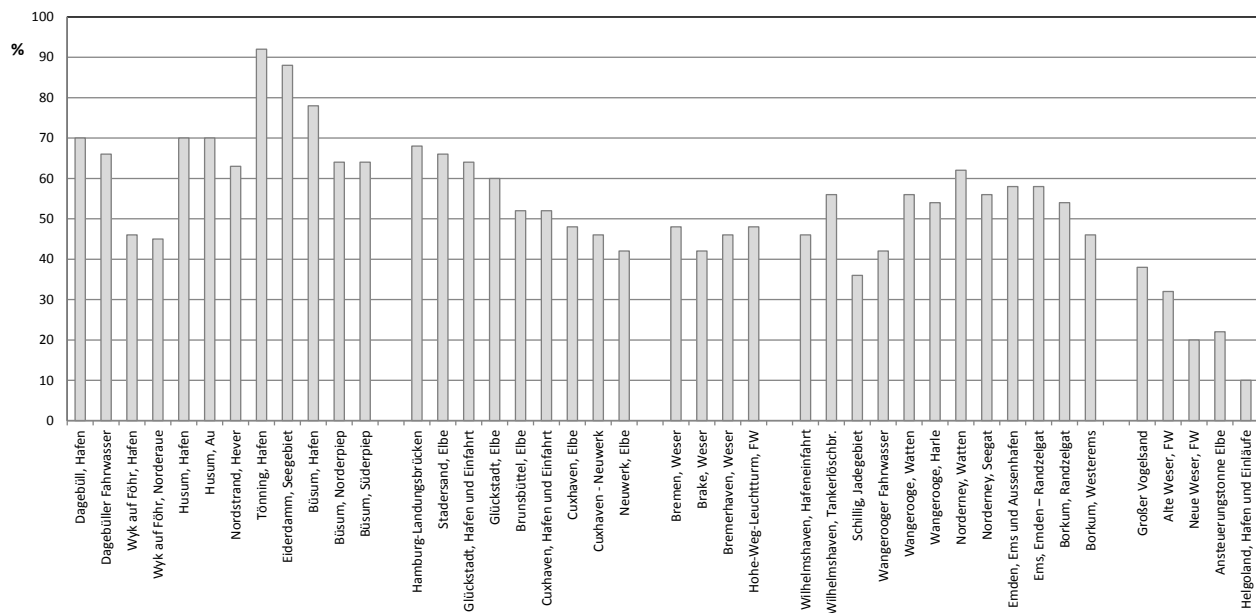


Abb. 9: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010

Fig. 9: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961 to 2010

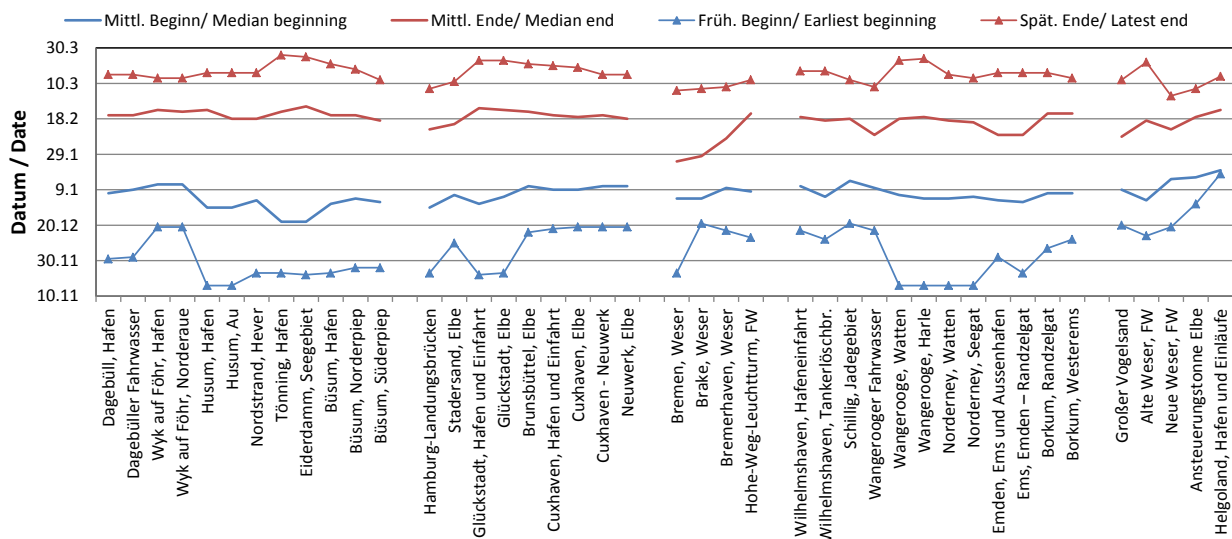


Abb. 10: Mittlere und extreme Daten für den Beginn und das Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010

Fig. 10: Median and extreme values for the beginning and end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961 to 2010

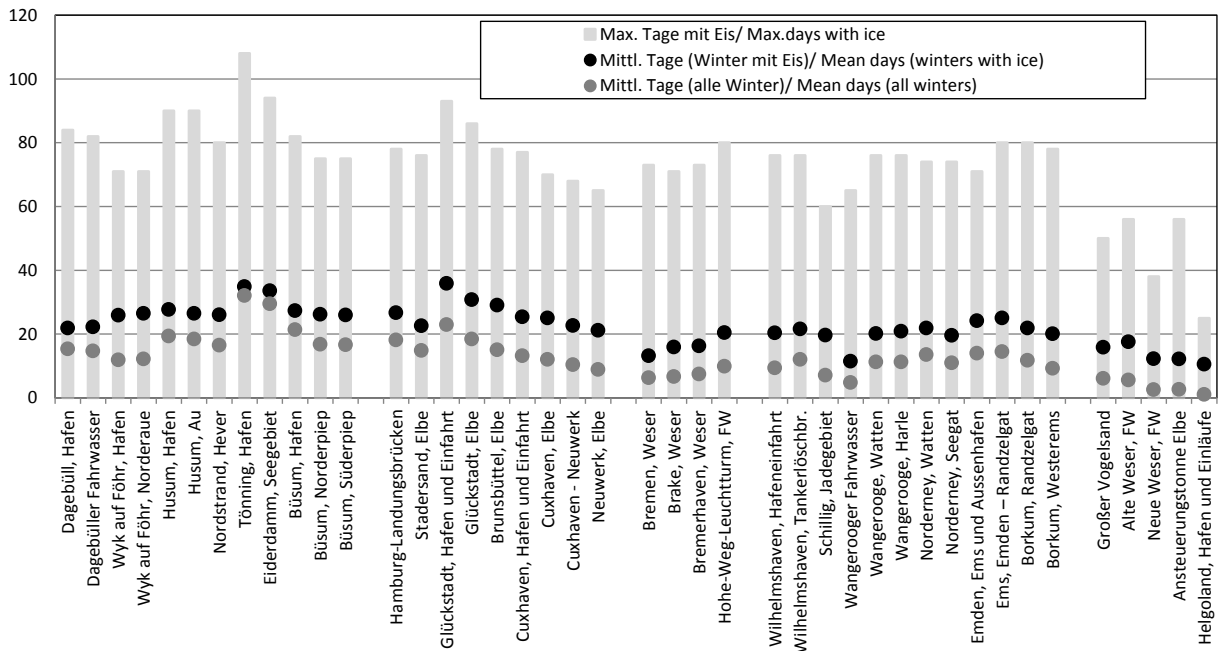


Abb. 11: Mittlere und extreme Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010
 Fig. 11: Mean and extreme values of the number of days with ice on the German North Sea coast in the 50-year period 1961 to 2010

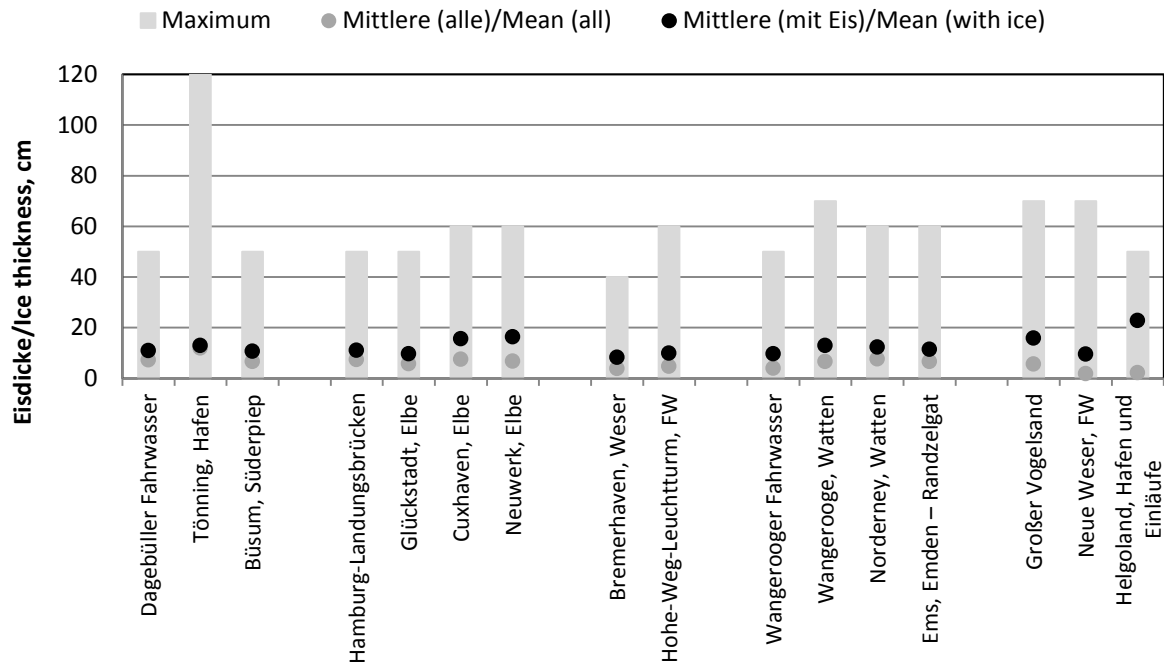


Abb. 12: Mittlere und maximale Eisdicken in verschiedenen Bereichen der deutschen Nordseeküste
 Fig. 12: Mean and maximum ice thickness in different areas of the German North Sea coast

Im Mittel, bezogen nur auf Winter mit Eisvorkommen, wächst das Eis in den deutschen Nordseegewässern während einer Saison bis auf eine Dicke von 10–20 cm an, vgl. Abb. 12. Die maximalen Werte der Eisdicke werden in sehr starken Eiswintern erreicht und betragen zum größten Teil zwischen 40 und 60 cm. Die „Ausreißer“, z. B. der Hafen Tönning mit 120 cm, kommen in einzelnen Wintern vor und sind durch Aufschichtung und anschließendes Zusammenfrieren des Eises entstanden. Auch im offenen Seebereich treiben meistens zum Ende der Eissaison dickere Eisblöcke, die sich oft in starken Eiswintern auf den Watten bilden und mit dem Gezeitenstrom oder mit dem ablandigen Wind oder mit der Strömung in die weit von der Küste entfernten Gebiete gelangen. In Abb. 13 ist die Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Eisformen (übereinandergeschobenes Eis, zusammengesobenes Eis, festgestampftes Eis, aufgedrücktes Eis, Eisblock) im Bereich der deutschen Nordseeküste mit Angaben der bekannten maximalen Höhe dargestellt. In den Karten auf den Seiten 145–152 werden die Art der Eistopographie, die gemeldete Höhe der Aufpressungen sowie räumliche und zeitliche Verteilung der Eisdeformationen gezeigt.

On average, based only on winters with ice formation, the ice in the German North Sea waters grows to a thickness of 10–20 cm in a season; cf. Fig. 12. The maximum ice thickness values are reached during very strong ice winters and are mostly between 40 and 60 cm. The “rogue results”, for example the port of Tönning with 120 cm, occur during individual winters and develop as a result of rafted ice and the ice subsequently freezing together. Thicker floe bits also float around in the open sea, usually towards the end of the ice season. They often form on the tidal flats during strong ice winters and reach the areas far away from the coast with the tidal streams or offshore winds, or with the current. Fig. 13 depicts the frequency of occurrence of the various ice forms (rafted ice, compact ice, jammed brash barrier, ridged ice, and floe bit) in the area of the German North Sea coast with information on the maximum heights known. The charts on pages 145–152 show the type of ice topography, reported height of the ridging and the spatial and chronological distribution of the ice deformations.

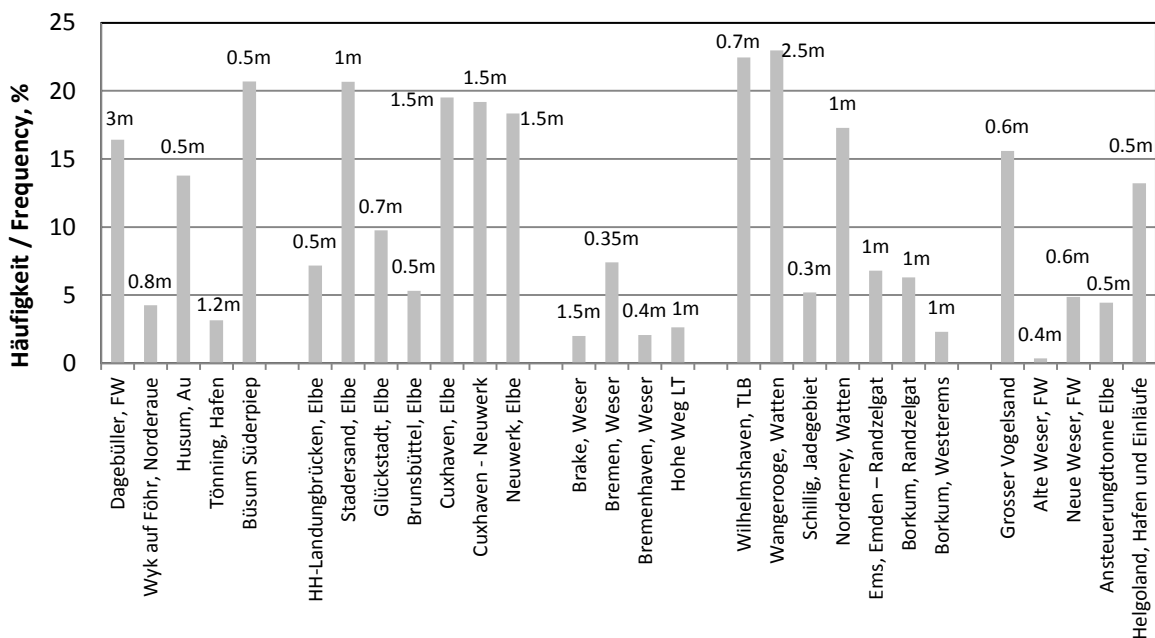


Abb. 13: Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Eisformen (übereinandergeschobenes Eis, zusammengesobenes Eis, festgestampftes Eis, aufgedrücktes Eis, Eisblock) im Bereich der deutschen Nordseeküste mit Angaben der maximalen Höhe in m

Fig. 13: Frequency of occurrence of different ice forms (rafted ice, compact ice, jammed ice barrier, ridged ice, ice floe bit) in the area of German North Sea coast with data of maximum high in m

Die tägliche Häufigkeit des Eisauftretens im Verlauf eines Winters in verschiedenen Bereichen der deutschen Nordseeküste ist zusammenfassend in Abb. 14 dargestellt. Die Häufigkeitsverteilungen zeigen zwei Maxima für fast alle untersuchten Bereiche unabhängig von den Beobachtungsgebieten. Entsprechend dem meteorologischen Charakter eines Winters in unserem Klima ist der Eiswinter nicht nur durch eine Eisperiode gekennzeichnet, sondern die Frostperioden wechseln sich mit Tauwetterperioden ab, in welchen große Teile der Küste eisfrei werden. Gewöhnlich bricht die erste kurze Eisperiode schon im Dezember auf. Erst im Januar folgen die Frostperioden, in denen sich starke Eisdecken ausbilden, die mehrere Wochen bestehen bleiben können. Am wahrscheinlichsten ist Eis in den Wattenbereichen und auf den Unterläufen der Elbe, Weser und Ems in der ersten und zweiten Januardekade anzutreffen, das zweite Maximum liegt um den 20. Februar. Der Höhepunkt des Eiswinters ist im Seegebiet nicht deutlich ausgeprägt.

A summary of the daily frequency of ice occurrence in the various areas of the German North Sea coast over the course of a winter is given in Fig. 14. The frequency distributions show two maximum levels for almost all of the sections analysed, regardless of the observation areas. In accordance with the meteorological character of a winter in our climate, the ice winter is not only distinguished by an ice period; the frost periods alternate with thaw periods, during which large sections of the coast become free of ice. The first short ice period usually starts in December. The frost periods, during which large ice cover forms which can remain for several weeks, follow later, in January. Ice is most likely to be encountered in the tidal flat areas and on the lower reaches of the Elbe, Weser and Ems in the first and second decades of January; the second maximum is around 20 February. The culmination of the ice winter is not clearly pronounced in the sea area.

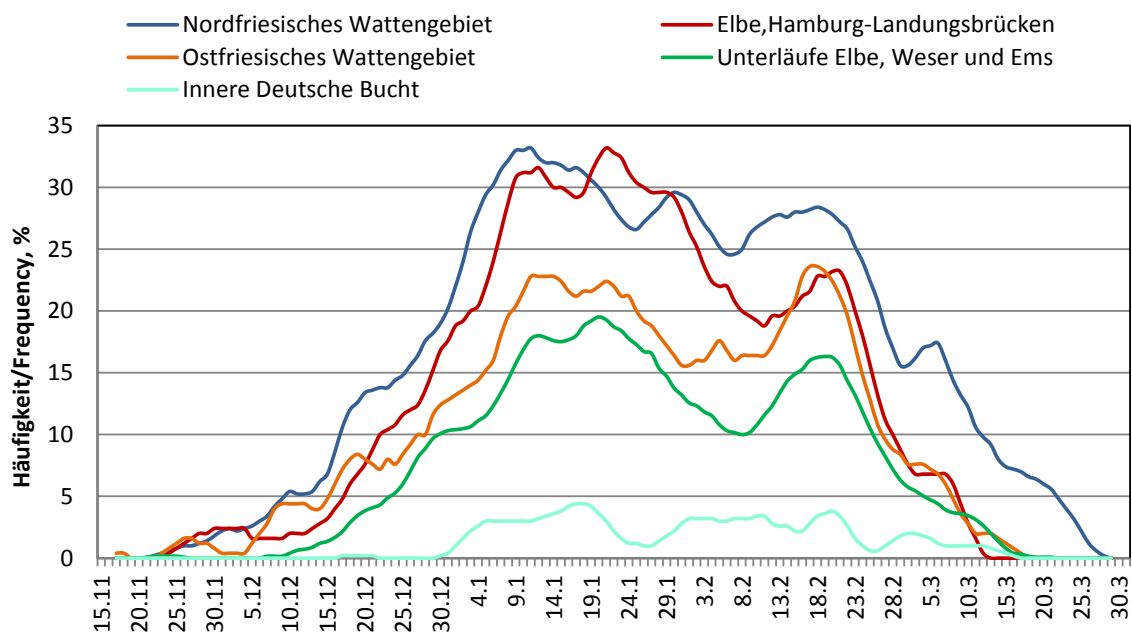


Abb. 14: Tägliche Häufigkeit des Eisvorkommens im deutschen Nordseeküstengebiet im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010

Fig. 14: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961 to 2010

In Abb. 15 wird die Verteilung der Eisbedeckung und der Eisdicken in den Wintermonaten für einige der analysierten Stationen gezeigt. Die äußere Kurve stellt die tägliche Vereisungshäufigkeit dar.

Fig. 15 shows the distribution of ice cover and the ice thickness in the winter months for some of the stations analysed. The outer curve illustrates the daily frequency of ice occurrence.

In allen Bereichen tritt überwiegend lockeres bis sehr lockeres Eis auf, nur in sehr starken bis extrem starken Eiswintern ist die Eisbedeckung dicht bis sehr dicht, teilweise auch kompakt (Bedeckungsgrade $\geq 7/10$).

Mainly very open to open ice occurs in all areas; it is only during very severe to extremely strong ice winters that the ice cover is close to very close, sometimes even compact (degrees of coverage $\geq 7/10$).

Die Dicke des ebenen Eises erreicht in den meisten Wintern maximal 10–15 cm, in starken Eiswintern 15–30 cm und in sehr starken Eiswintern zeitweise auch 30–50 cm. Am häufigsten sind die höheren Eisdickenkategorien im Februar und Anfang März zu erwarten.

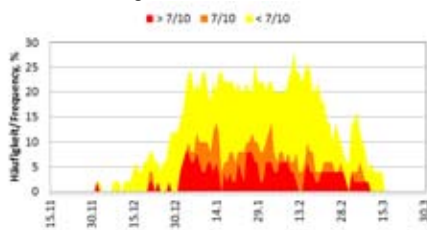
Das Binnenfahrwasser des LIMFJORDS und des RINGKØBING-Fjordes haben einen zeitlich ähnlichen Vereisungscharakter wie die geschützt liegenden Fahrwasser des nordfriesischen Wattengebiets.

The thickness of the level ice reaches a maximum of 10–15 cm in most winters, 15–30 cm in strong ice winters and sometimes even 30–50 cm in very strong ice winters. The greater ice thickness categories are most frequently to be expected in February and early March.

The inner fairways of the LIMFJORD and RINGKØBING fjord have a chronological character of ice regime which is similar to the sheltered fairways of the North Frisian tidal flat area.

Eisbedeckungsgrad/Ice concentration

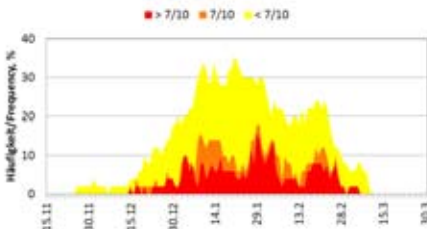
Dagebüller Fahrwasser



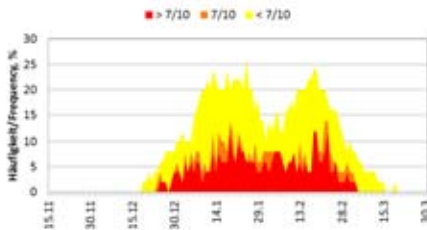
Tönning, Hafen



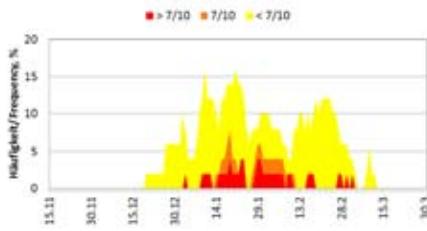
Hamburg-Landungsbrücken, Elbe



Cuxhaven, Elbe



Großer Vogelsand



Eisdicke/Ice thickness

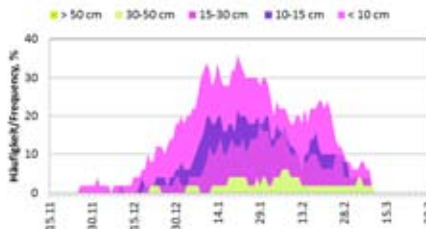
Dagebüller Fahrwasser



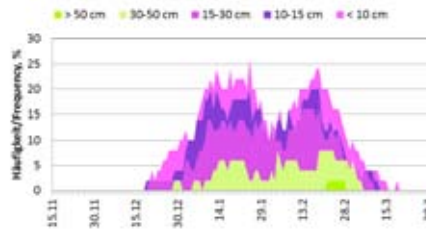
Tönning, Hafen



Hamburg-Landungsbrücken, Elbe



Cuxhaven, Elbe



Großer Vogelsand

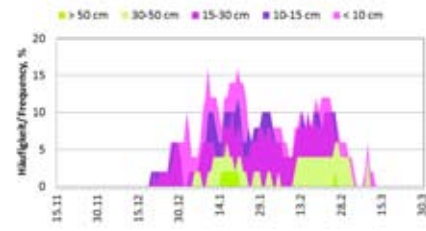
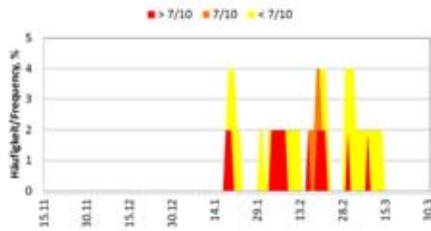


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung des Eisbedeckungsgrades und der Eisdicke in verschiedenen Abschnitten der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010. Die äußere Kurve stellt die täglichen Häufigkeiten des Eisauftretens dar.

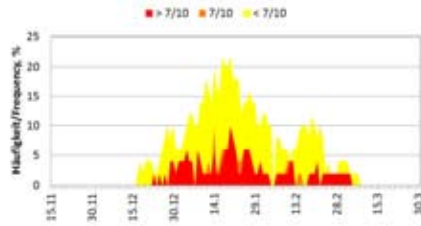
Fig. 15: Frequency distribution of ice coverage and ice thickness in different sections of the German North Sea coast in the period 1961 to 2010. The outer curve shows the daily frequency of ice occurrence.

Eisbedeckungsgrad/Ice concentration

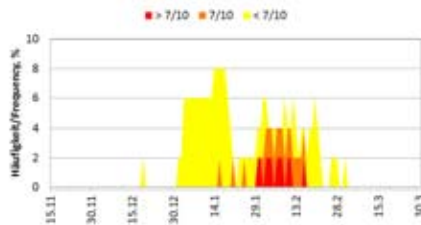
Helgoland, Hafen und Einläufe



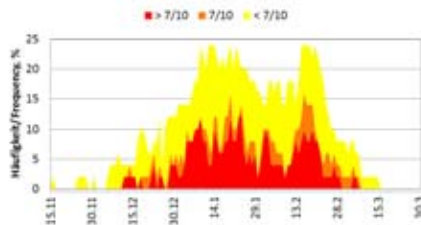
Bremerhaven, Weser



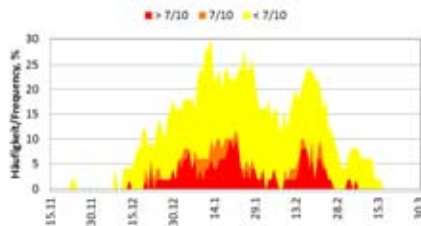
Neue Weser, FW



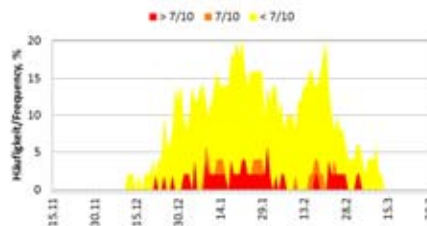
Norderney, Watten



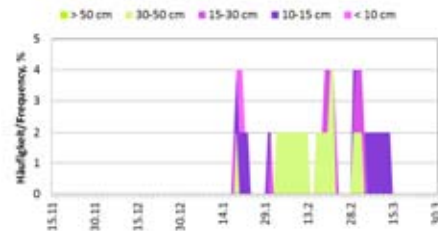
Ems, Emden – Randzelgat



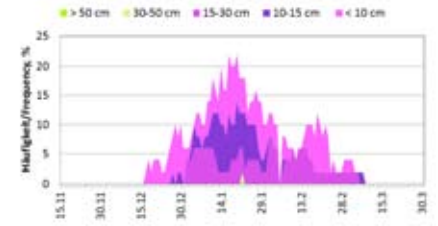
Borkum, Westerems

**Eisdicke/Ice thickness**

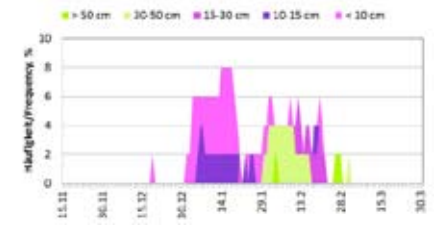
Helgoland, Hafen und Einläufe



Bremerhaven, Weser



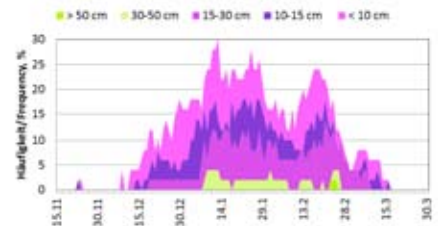
Neue Weser, FW



Norderney, Watten



Ems, Emden – Randzelgat



Borkum, Westerems

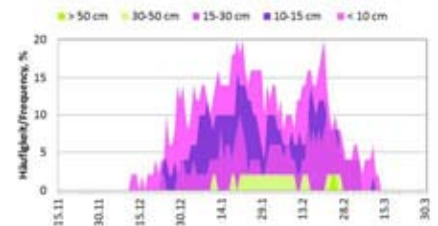
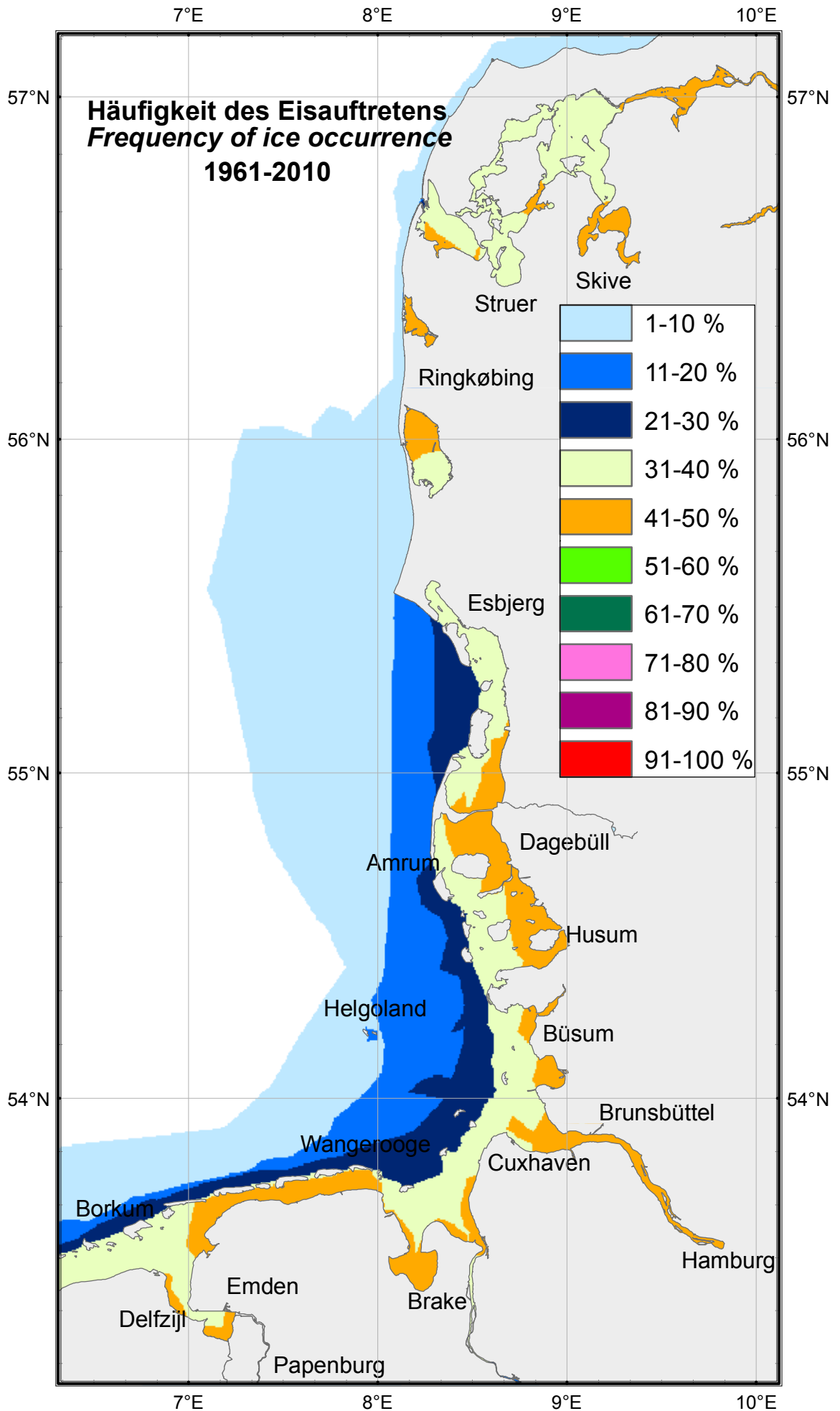


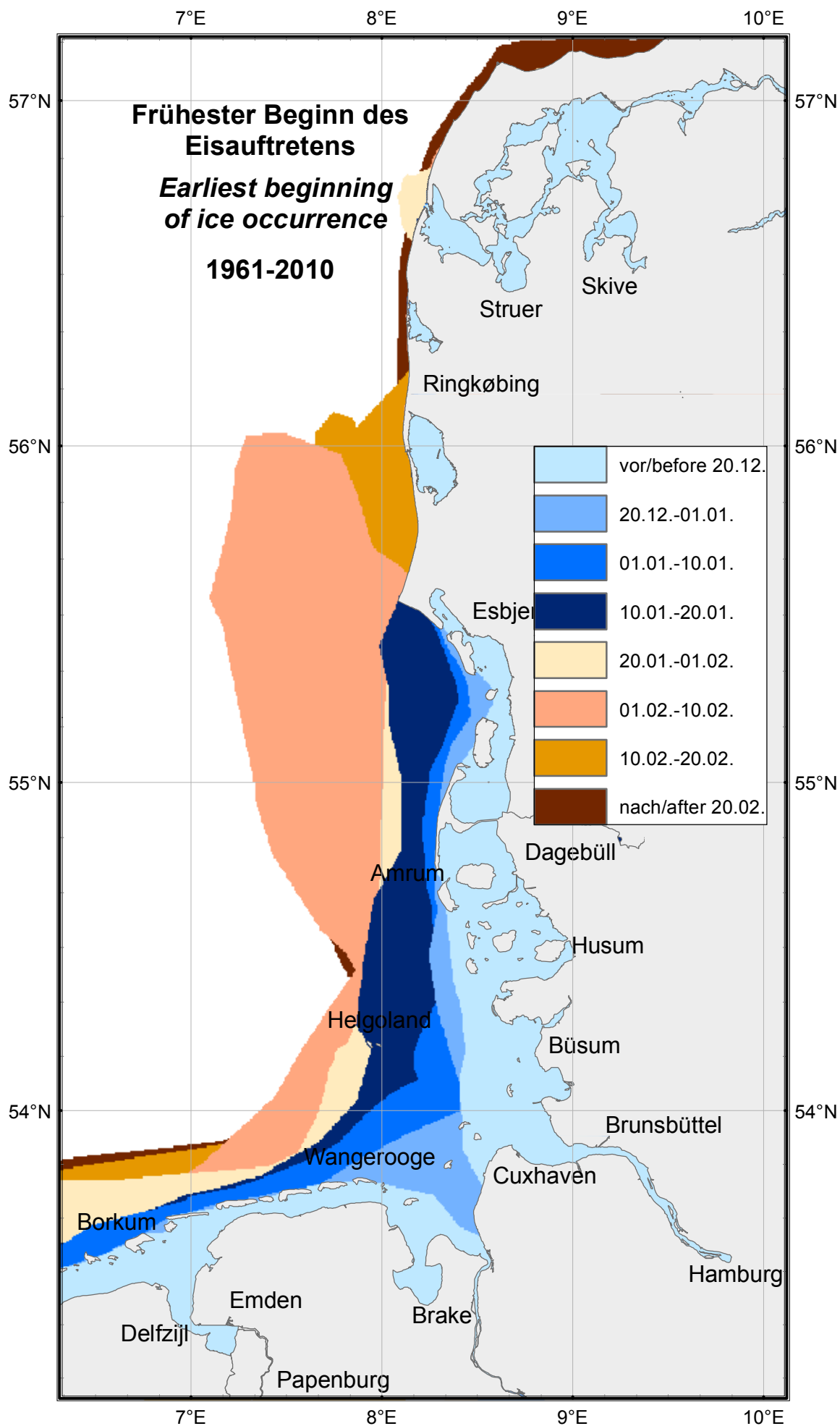
Abb. 15 (Fortsetzung): Häufigkeitsverteilung des Eisbedeckungsgrades und der Eisdicke in verschiedenen Abschnitten der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010. Die äußere Kurve stellt die täglichen Häufigkeiten des Eisauftretens dar.

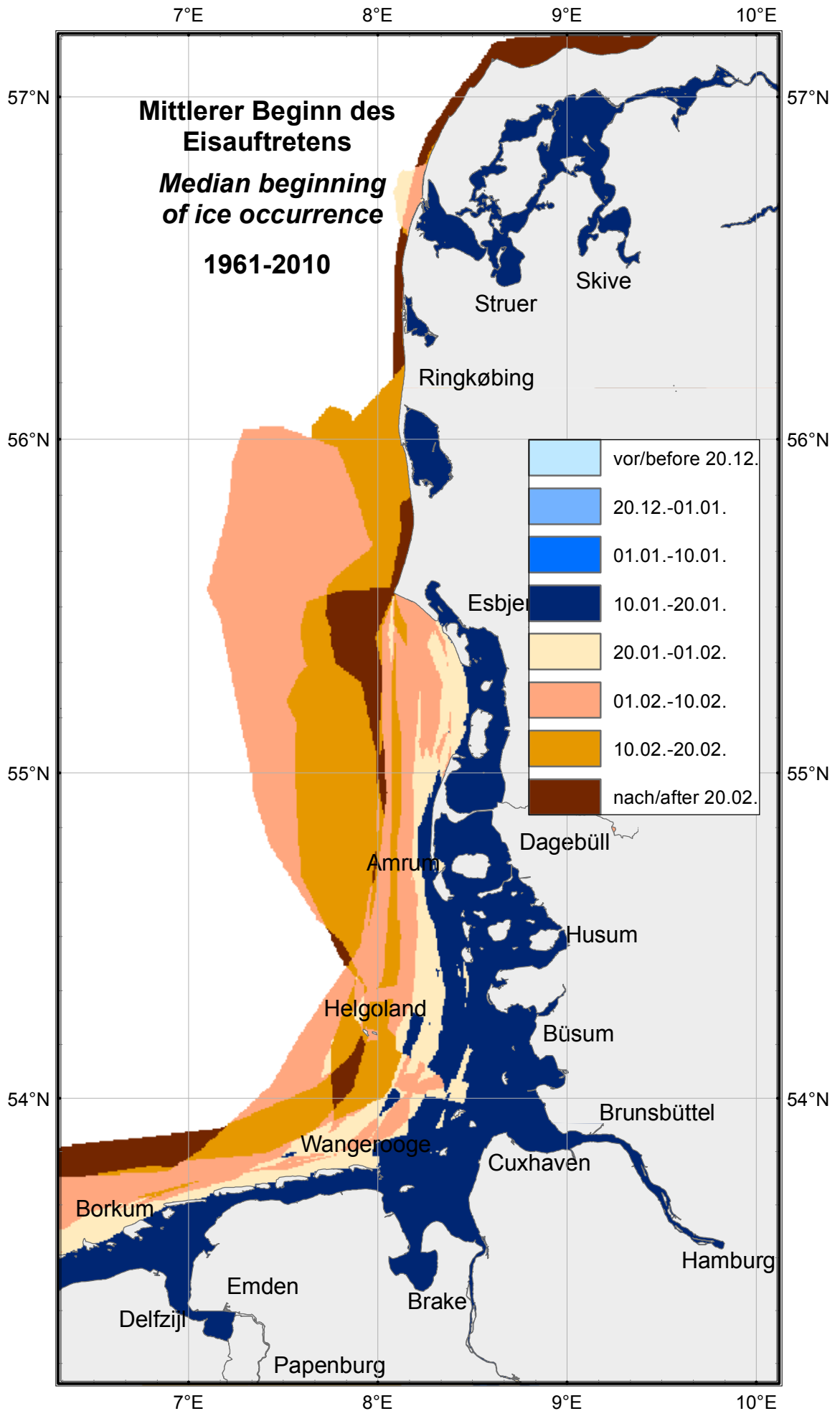
Fig. 15 (continued): Frequency distribution of ice coverage and ice thickness in different sections of the German North Sea coast in the period 1961 to 2010. The outer curve shows the daily frequency of ice occurrence.

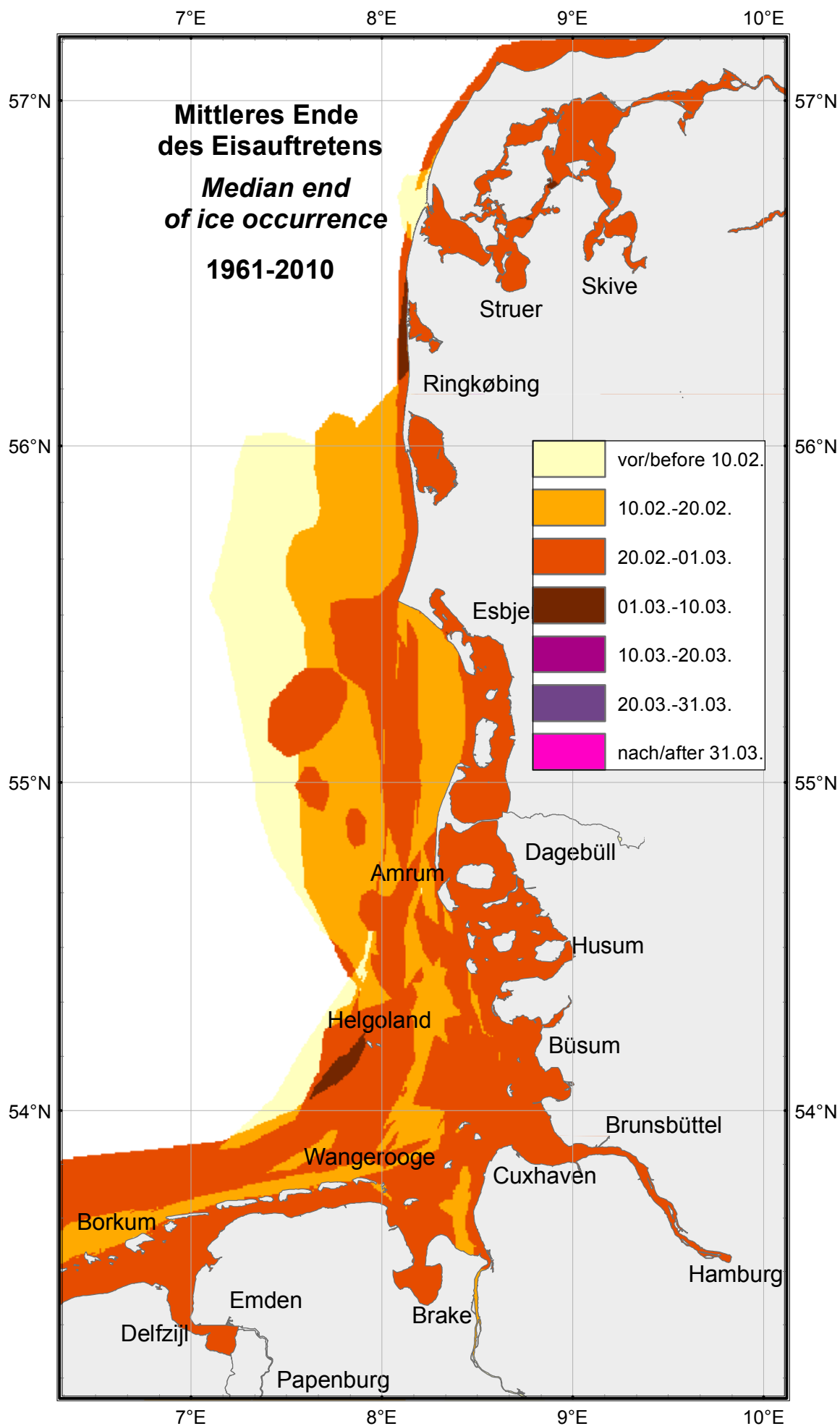
Eiskarten der Winterstatistik

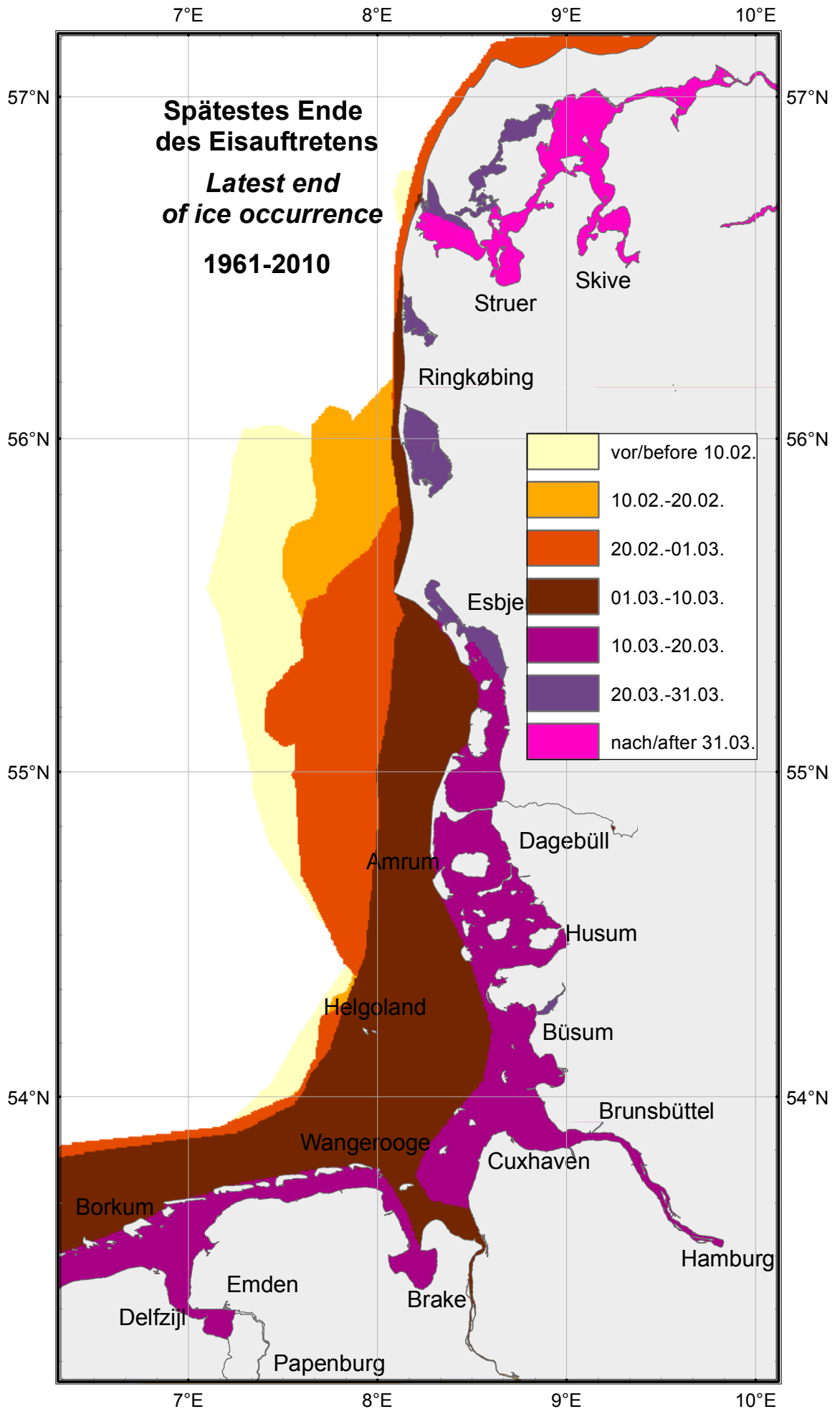
Ice Charts of Winter Statistic

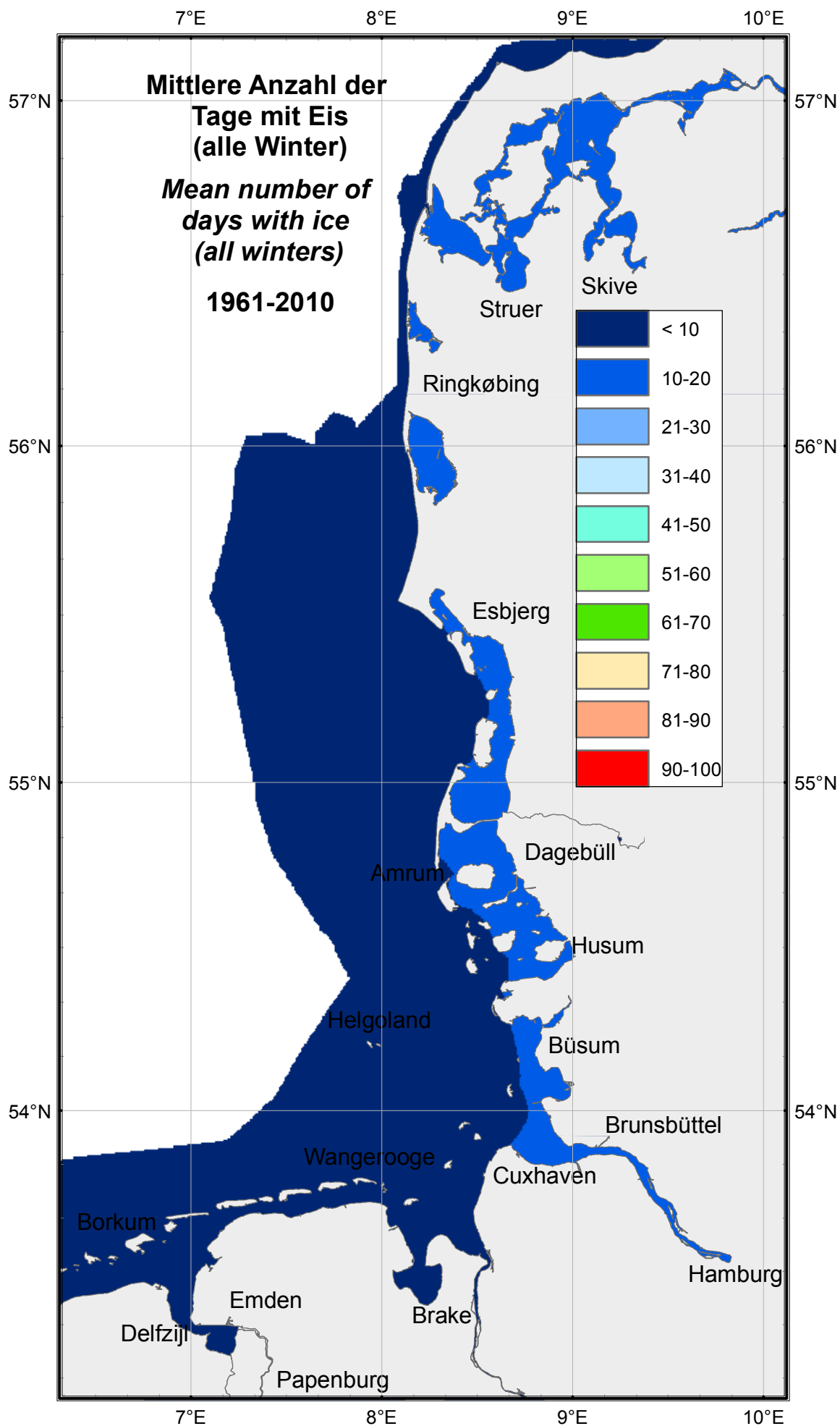


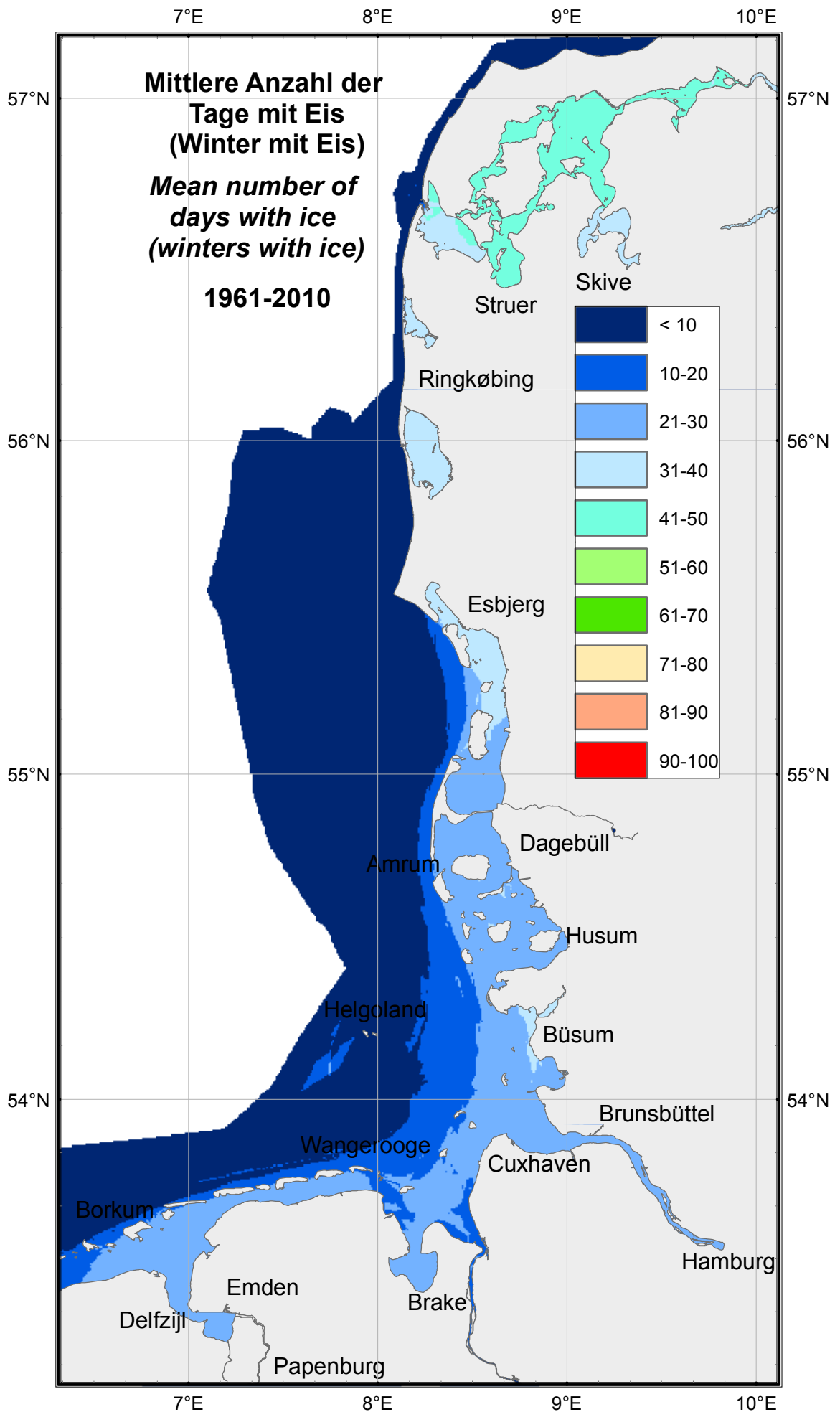


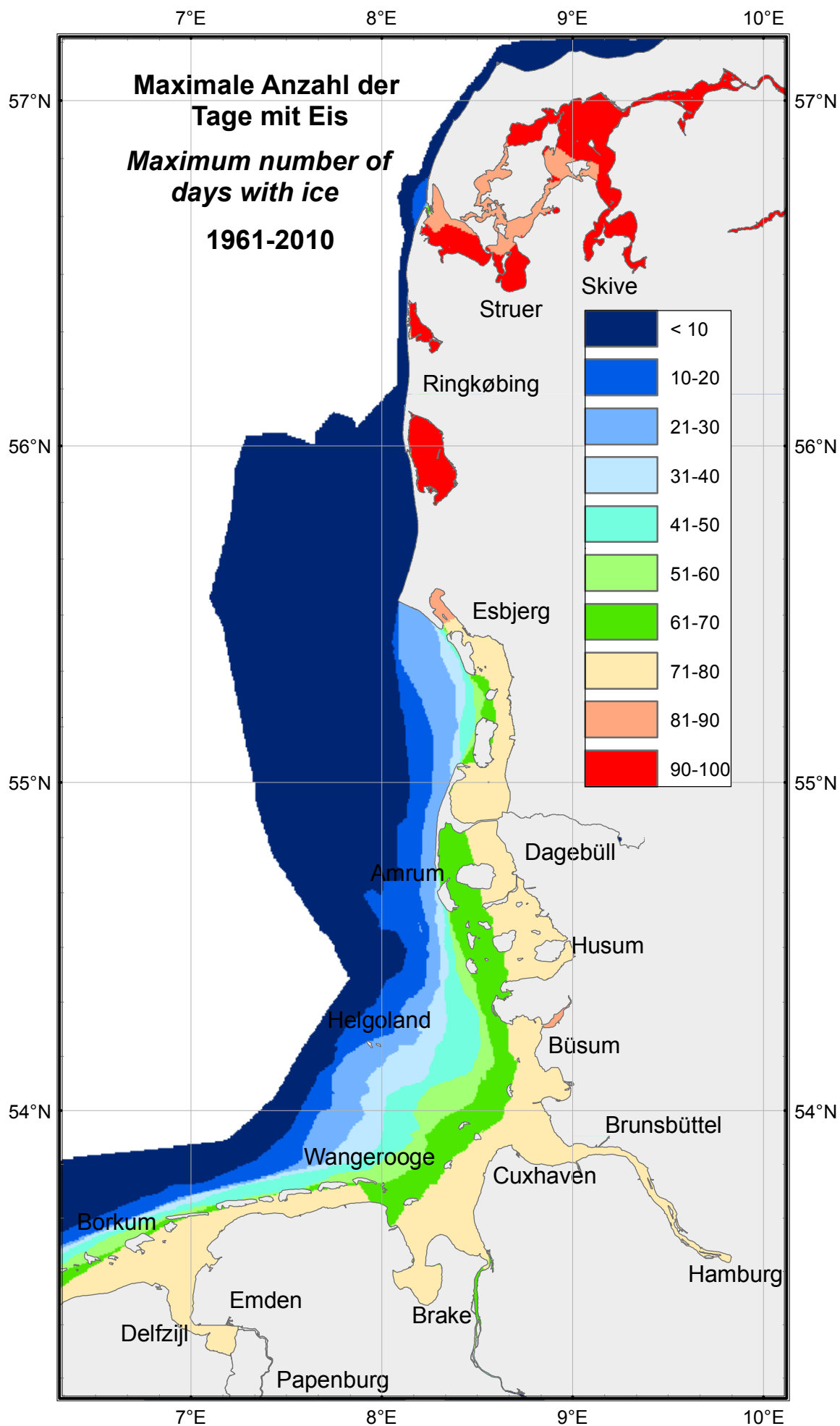












**Statistische Eiskarten
am 1., 11., 21. Januar;
am 1., 11., 21. Februar;
am 1., 11., 21. März**

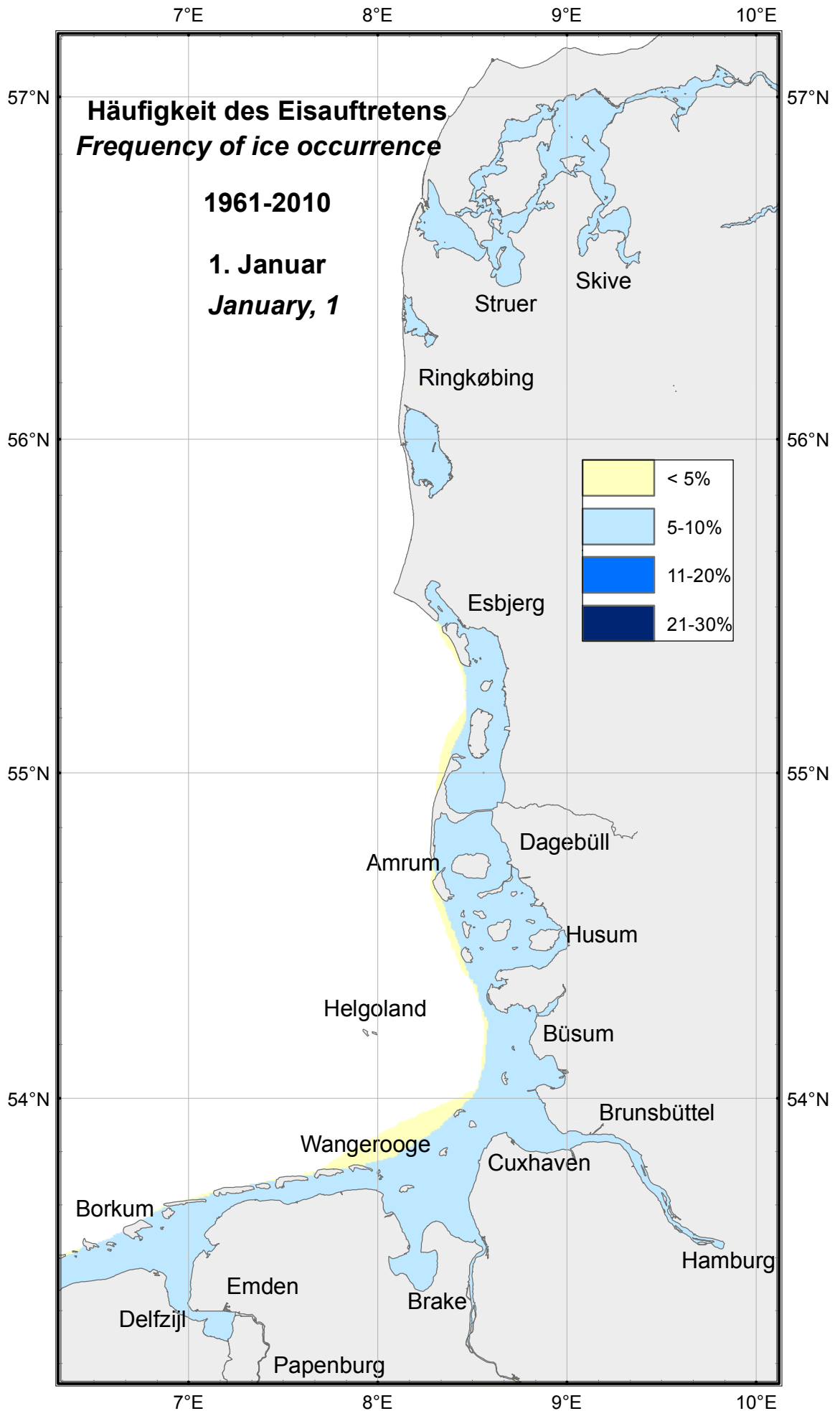
***Statistical Ice Charts
on 1, 11, 21 January;
on 1, 11, 21 February;
on 1, 11, 21 March***

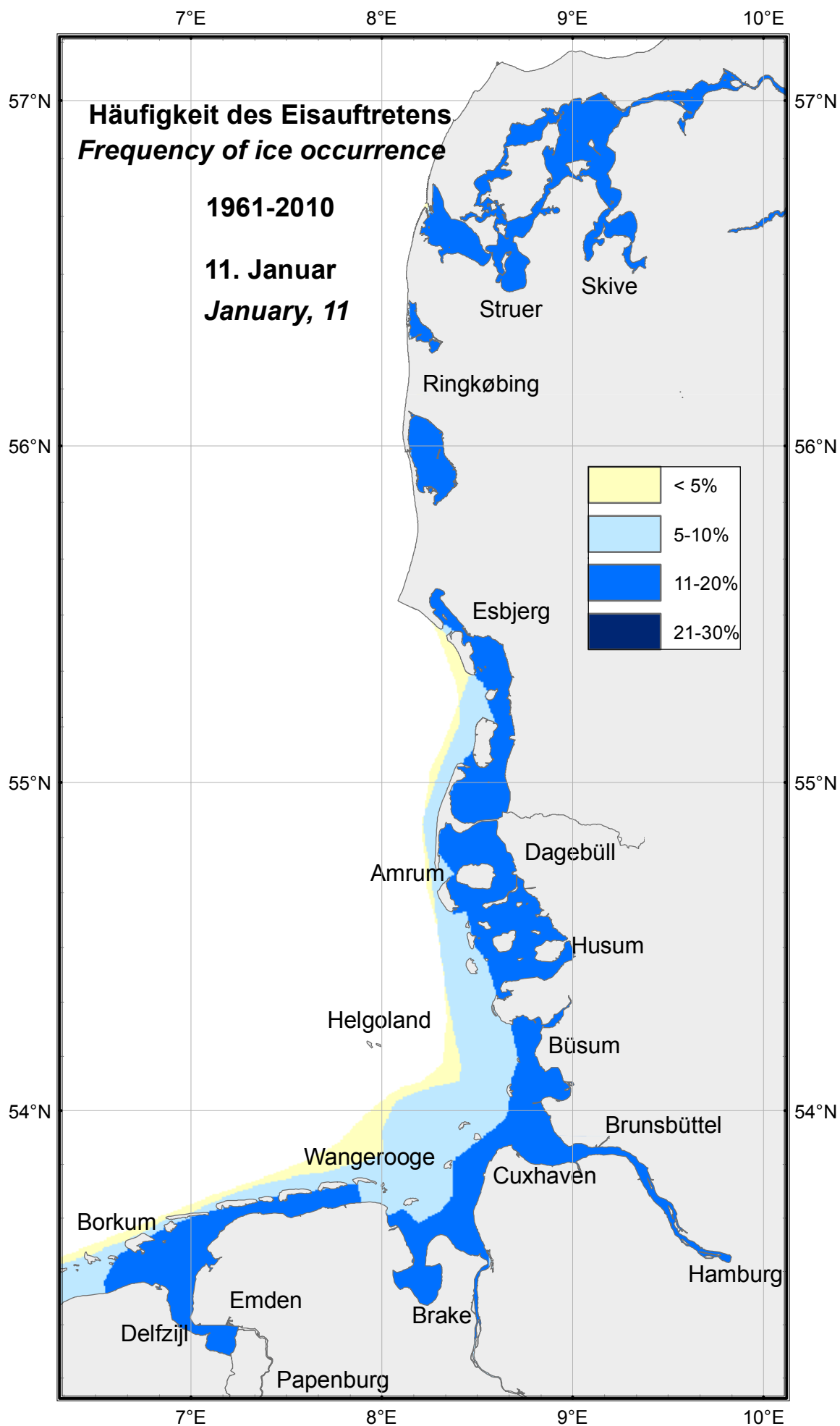
Häufigkeit des Eisauftretens in % Frequency of ice occurrence in % 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	10	14	24	28	20	24	28	14	10	0
Dagebüller Fahrwasser	2	0	10	14	20	24	20	28	28	14	10	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	4	12	18	22	16	20	22	12	6	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	4	12	20	22	16	20	22	12	6	0
Husum, Hafen	4	6	16	26	34	32	22	22	26	14	8	0
Husum, Au	4	6	16	24	30	30	24	22	24	14	8	0
Nordstrand, Hever	2	4	10	16	28	24	18	24	24	12	6	0
Tönning, Hafen	6	20	24	32	44	42	36	34	38	22	18	10
Eiderdamm, Seegebiet	8	16	22	32	42	38	36	32	36	20	16	6
Büsum, Hafen	0	4	18	26	34	32	28	24	30	14	6	2
Büsum, Norderpiep	0	4	10	14	30	32	20	20	26	14	8	0
Büsum, Süderpiep	0	4	8	16	30	32	20	20	26	14	8	0
Hamburg-Landungsbrücken	2	4	14	22	32	38	28	20	22	8	0	0
Stadersand, Elbe	0	2	10	14	26	30	20	18	22	8	4	0
Glückstadt, Elbe	0	2	12	20	26	34	28	26	22	12	6	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	8	12	20	28	22	20	22	14	4	2
Cuxhaven, Elbe	0	0	6	10	22	24	12	16	20	12	4	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	4	8	18	24	10	14	18	10	4	0
Neuwerk, Elbe	0	0	4	10	18	22	12	14	16	6	2	0
Großer Vogelsand	0	0	2	6	12	16	10	8	12	6	2	0
Ansteuerungstonne Elbe	0	0	0	2	4	8	6	4	6	2	2	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	6	0	2	4	4	2	0

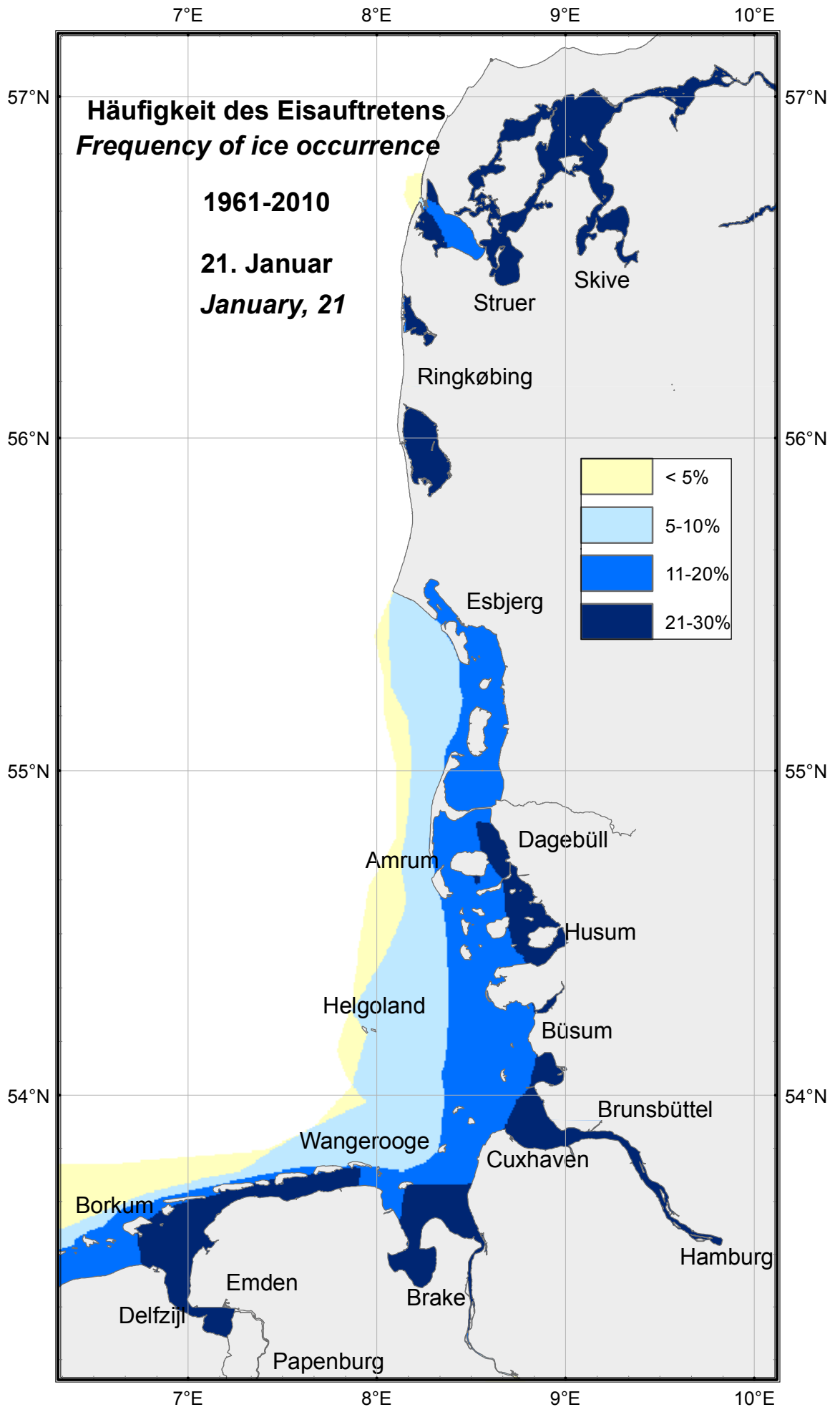
Tabelle 5: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 5: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the period 1961–2010

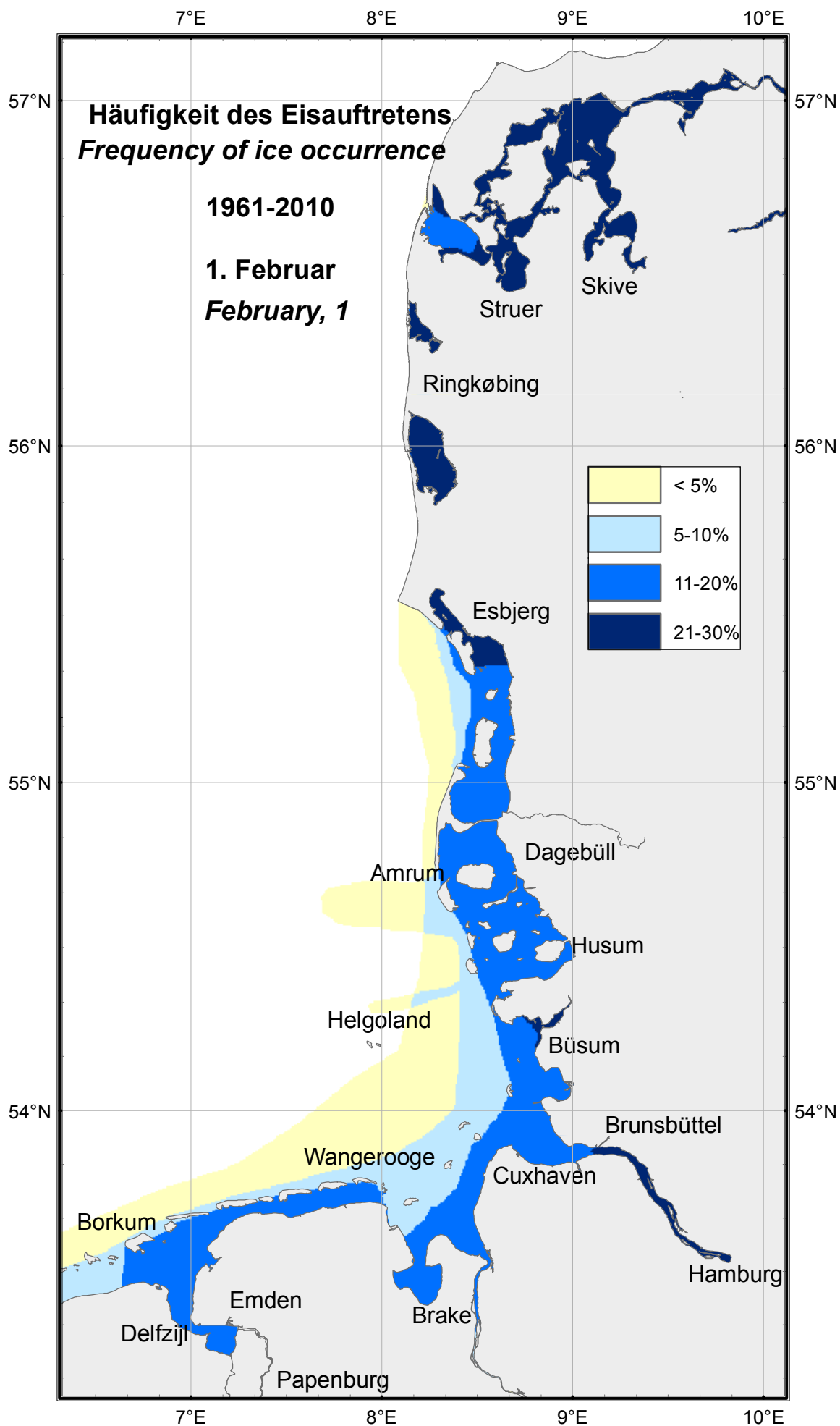
Häufigkeit des Eisauftretens in % Frequency of ice occurrence in % 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	4	12	16	8	6	6	6	2	0	0
Brake, Weser	0	0	4	6	20	18	6	4	6	2	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	6	6	18	18	12	4	8	8	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	4	6	22	24	12	10	16	6	2	0
Alte Weser, FW	0	0	0	6	10	12	10	8	8	4	2	2
Neue Weser, FW	0	0	0	2	6	6	6	4	6	2	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	8	16	26	24	14	16	18	12	0	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	2	6	12	22	14	12	18	10	2	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	2	4	6	14	6	8	18	6	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	6	10	20	24	14	12	24	10	6	2
Norderney, Watten	2	4	8	14	20	24	14	18	22	10	6	0
Norderney, Seegat	2	2	6	8	20	20	10	12	16	8	6	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	10	16	28	22	16	16	22	8	6	0
Borkum, Randzelgat	0	0	8	14	16	20	12	16	24	8	6	0
Borkum, Westerems	0	0	6	10	12	18	12	12	20	6	6	0

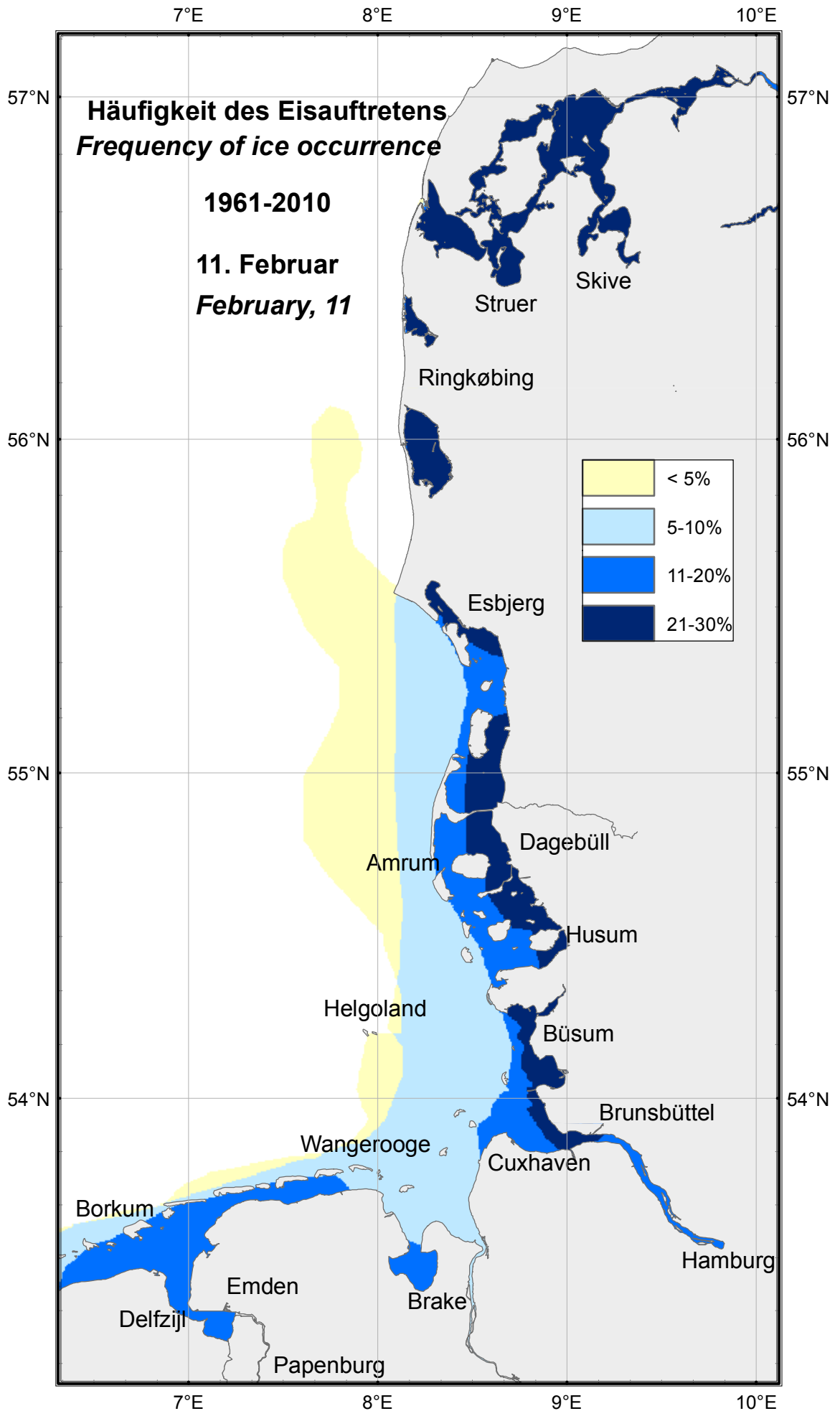
Tabelle 5: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 5: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

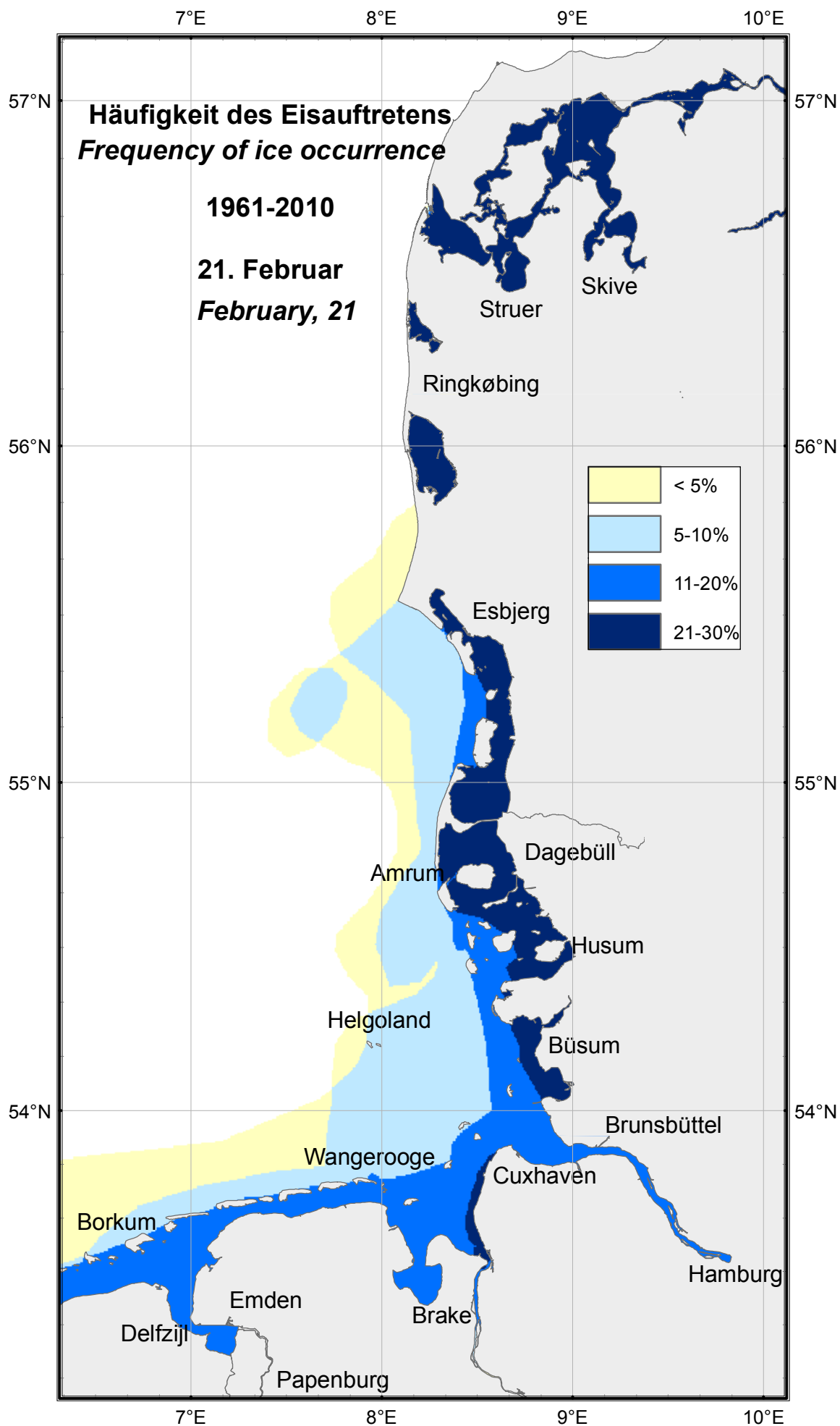


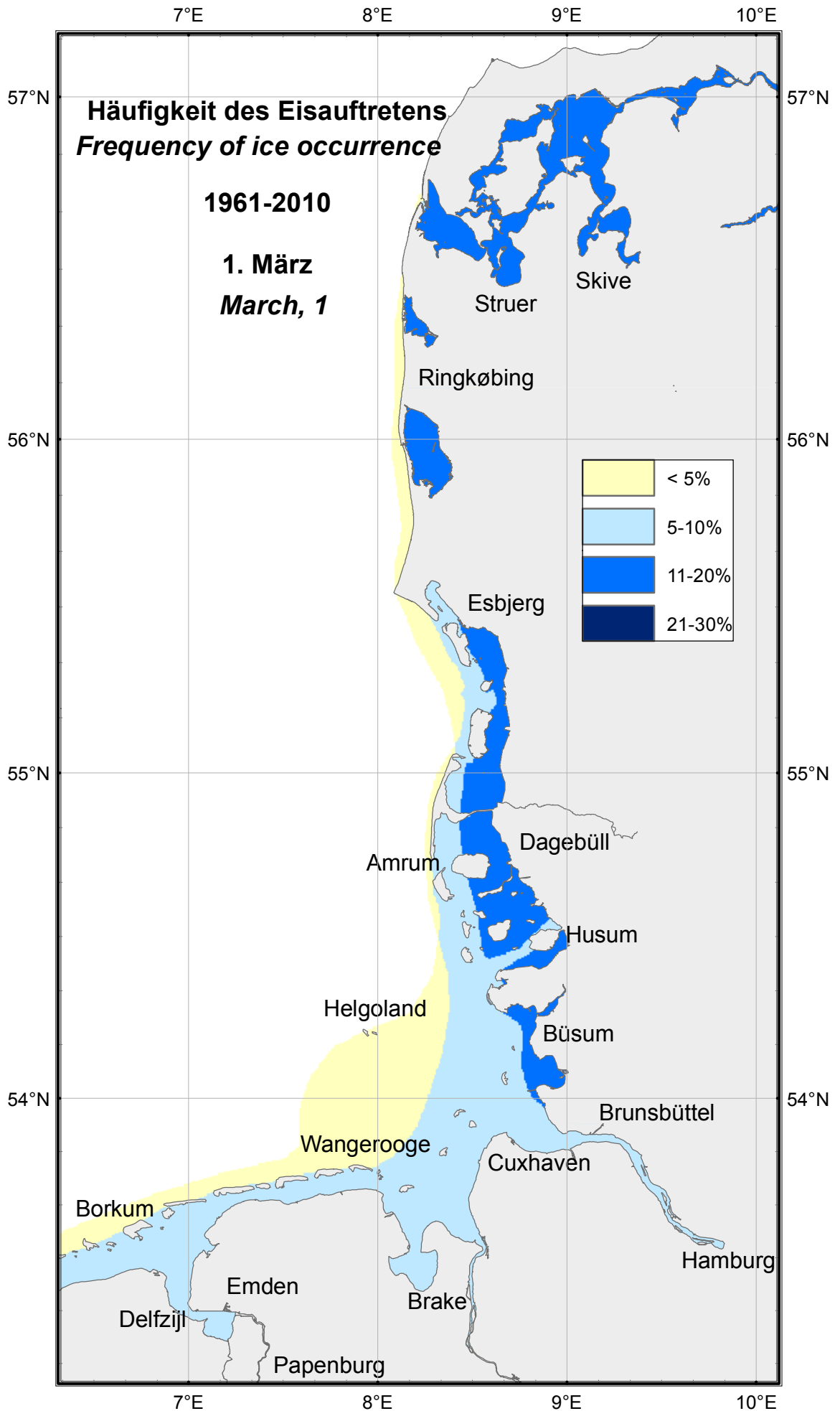


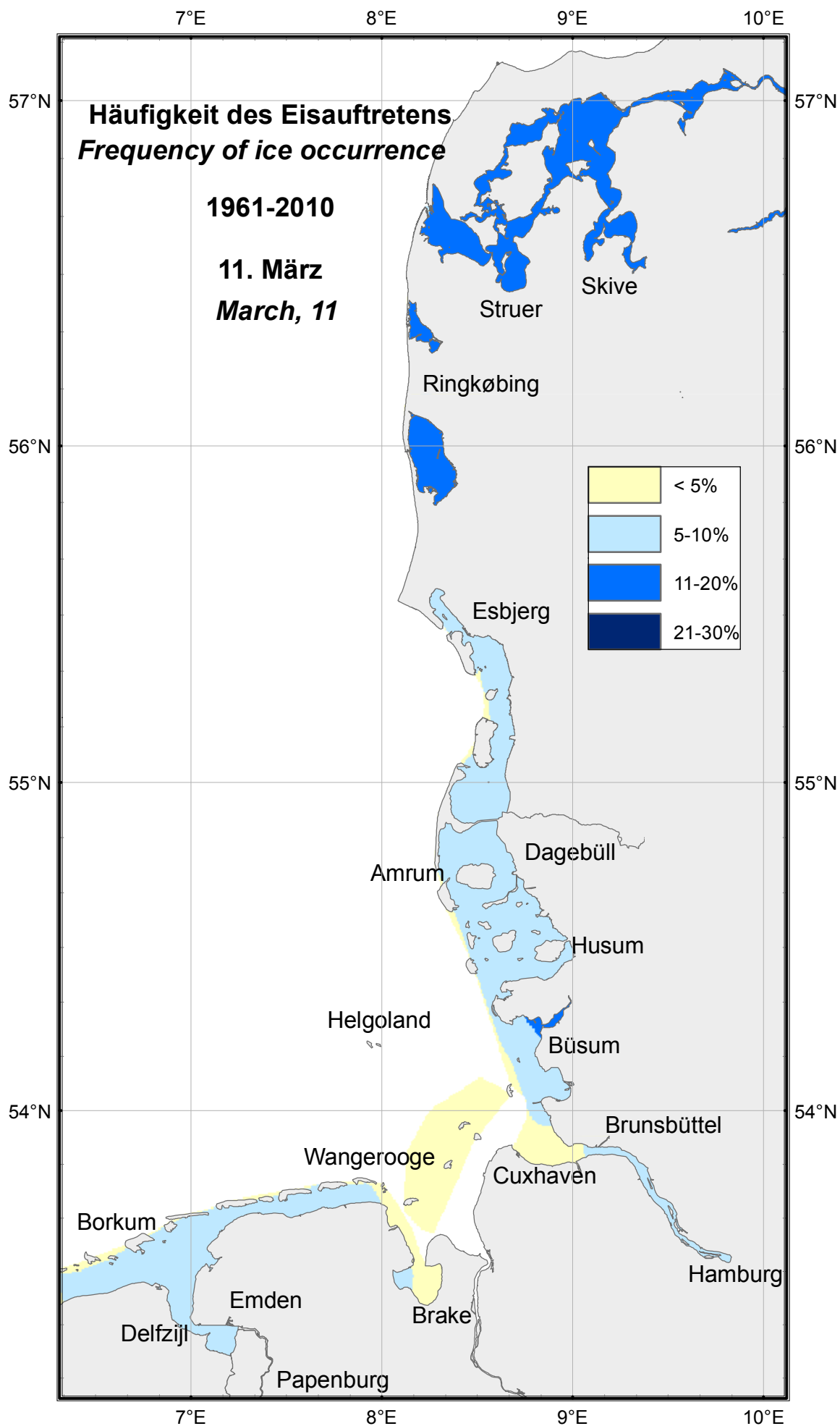


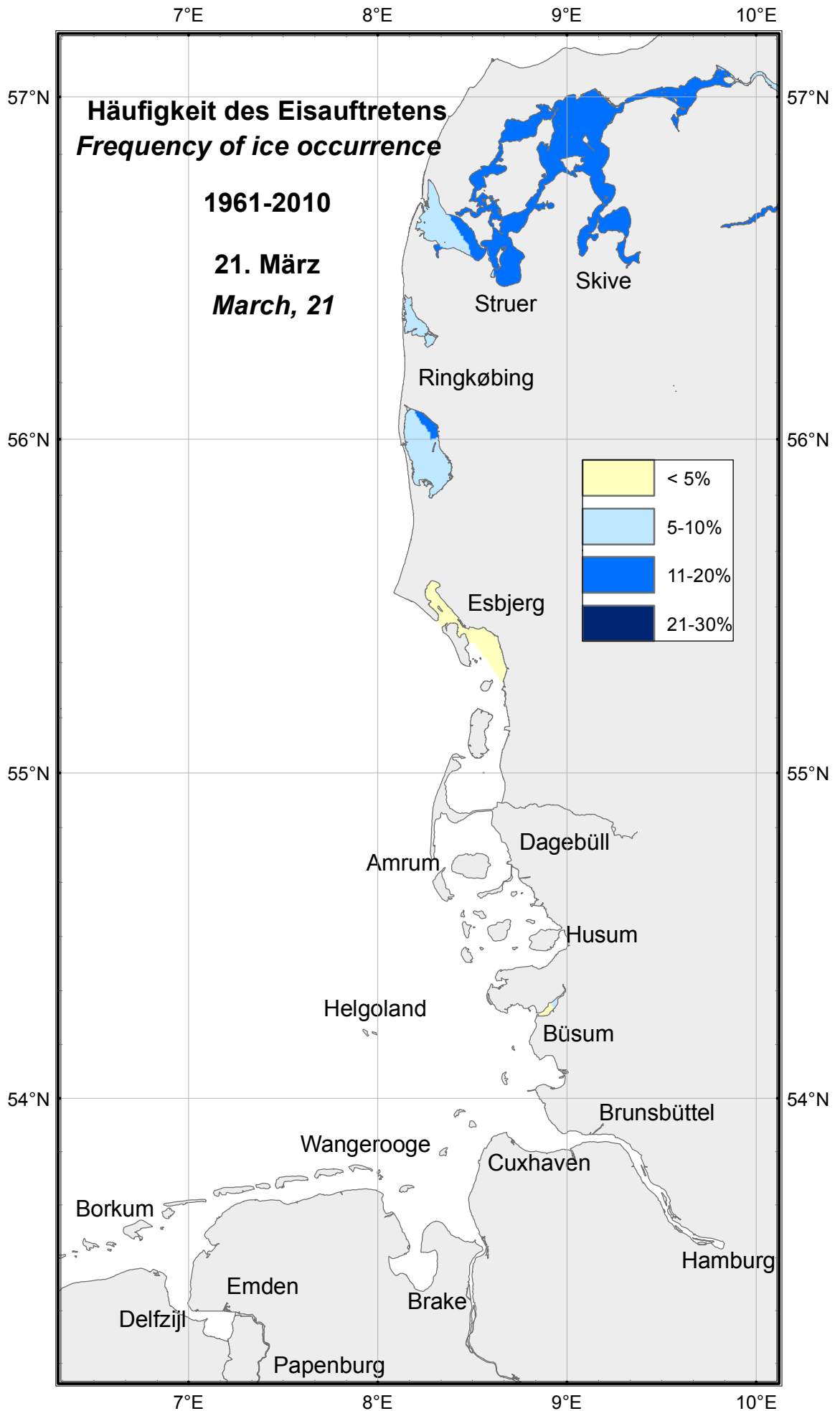












Eisbedeckungsgrad

Ice Concentration

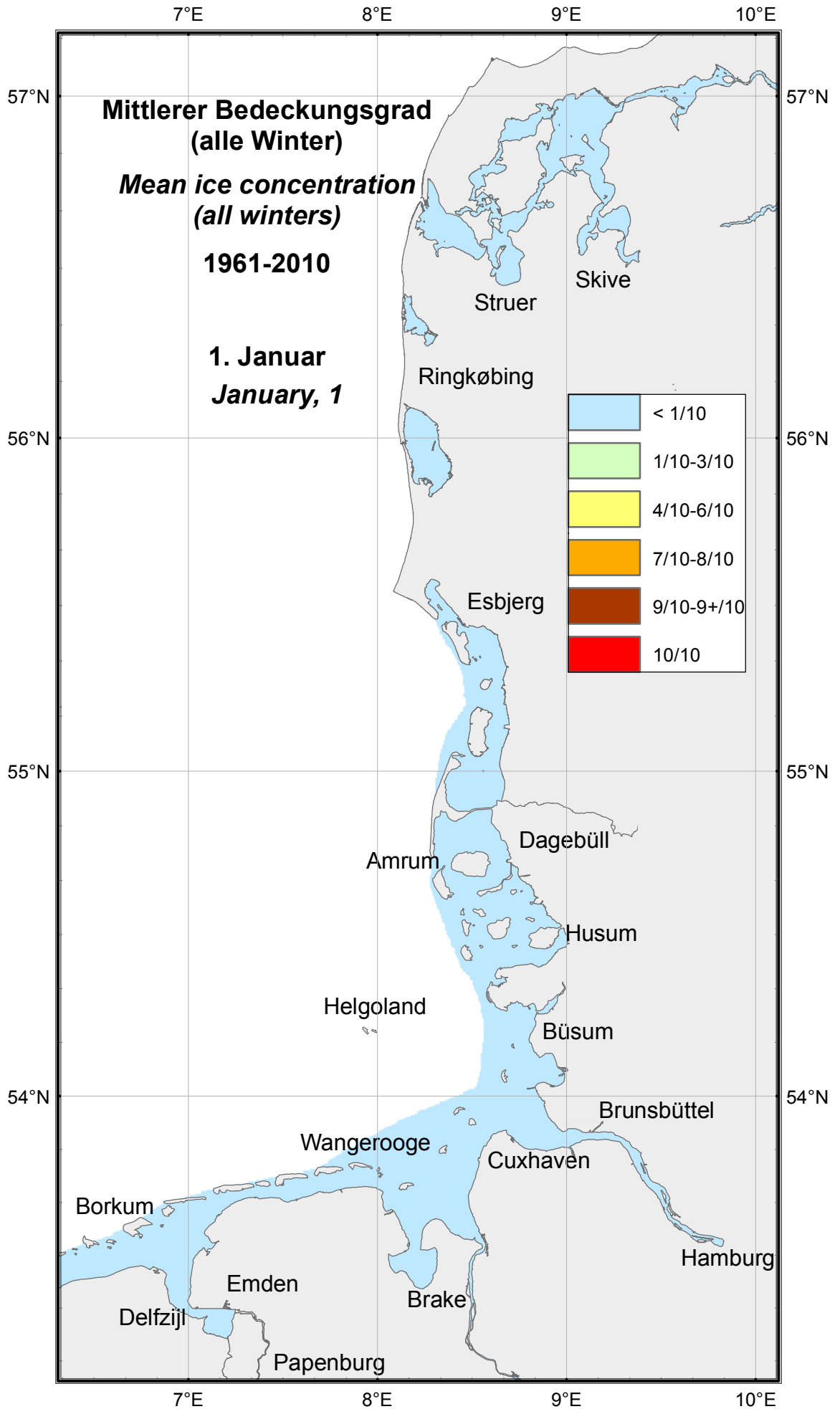
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	0.05	0.06	0.13	0.14	0.12	0.11	0.11	0.07	0.03	0
Dagebüller Fahrwasser	0.02	0	0.05	0.06	0.12	0.11	0.12	0.13	0.11	0.07	0.03	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	0.03	0.08	0.14	0.19	0.13	0.16	0.17	0.07	0.03	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	0.02	0.06	0.11	0.12	0.08	0.09	0.1	0.06	0.03	0
Husum, Hafen	0.02	0.02	0.08	0.18	0.25	0.23	0.18	0.17	0.18	0.08	0.03	0
Husum, Au	0.02	0.02	0.07	0.16	0.23	0.21	0.17	0.16	0.16	0.07	0.03	0
Nordstrand, Hever	0.01	0.01	0.04	0.07	0.15	0.13	0.12	0.13	0.12	0.06	0.02	0
Tönning, Hafen	0.03	0.07	0.16	0.24	0.37	0.35	0.28	0.27	0.32	0.2	0.16	0.06
Eiderdamm, Seegebiet	0.02	0.05	0.11	0.18	0.24	0.23	0.23	0.19	0.2	0.11	0.08	0.03
Büsum, Hafen	0	0.02	0.09	0.16	0.26	0.23	0.21	0.18	0.23	0.09	0.03	0.01
Büsum, Norderpiep	0	0.01	0.04	0.08	0.21	0.19	0.14	0.14	0.14	0.09	0.02	0
Büsum, Süderpiep	0	0.01	0.05	0.08	0.21	0.19	0.14	0.14	0.15	0.09	0.02	0
Hamburg-Landungsbrücken	0.01	0.01	0.06	0.09	0.17	0.17	0.16	0.1	0.13	0.04	0	0
Stadersand, Elbe	0	0.01	0.06	0.07	0.2	0.21	0.16	0.14	0.16	0.06	0.01	0
Glückstadt, Elbe	0	0.01	0.06	0.15	0.13	0.18	0.17	0.11	0.13	0.06	0.02	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	0.05	0.06	0.14	0.16	0.13	0.13	0.11	0.06	0.01	0.01
Cuxhaven, Elbe	0	0	0.01	0.06	0.1	0.11	0.09	0.11	0.11	0.05	0.01	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	0.01	0.04	0.07	0.12	0.06	0.1	0.08	0.04	0.01	0
Neuwerk, Elbe	0	0	0.01	0.04	0.07	0.09	0.06	0.06	0.07	0.03	0.01	0
Großer Vogelsand	0	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01	0
Ansteuerungstonne Elbe	0	0	0	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0.03	0.02	0.01	0

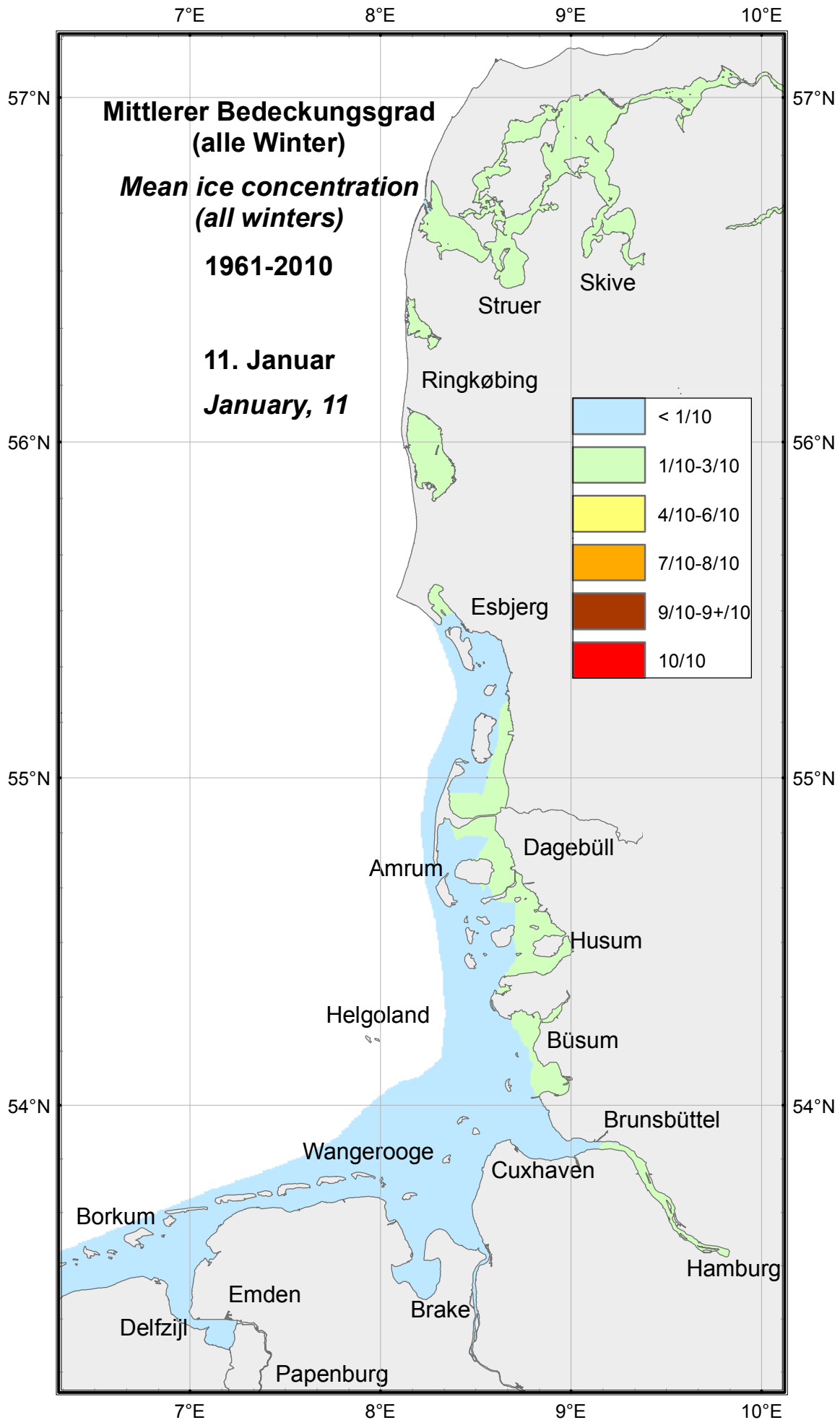
Tabelle 6: Mittlerer Bedeckungsgrad (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 6: Mean ice concentration (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

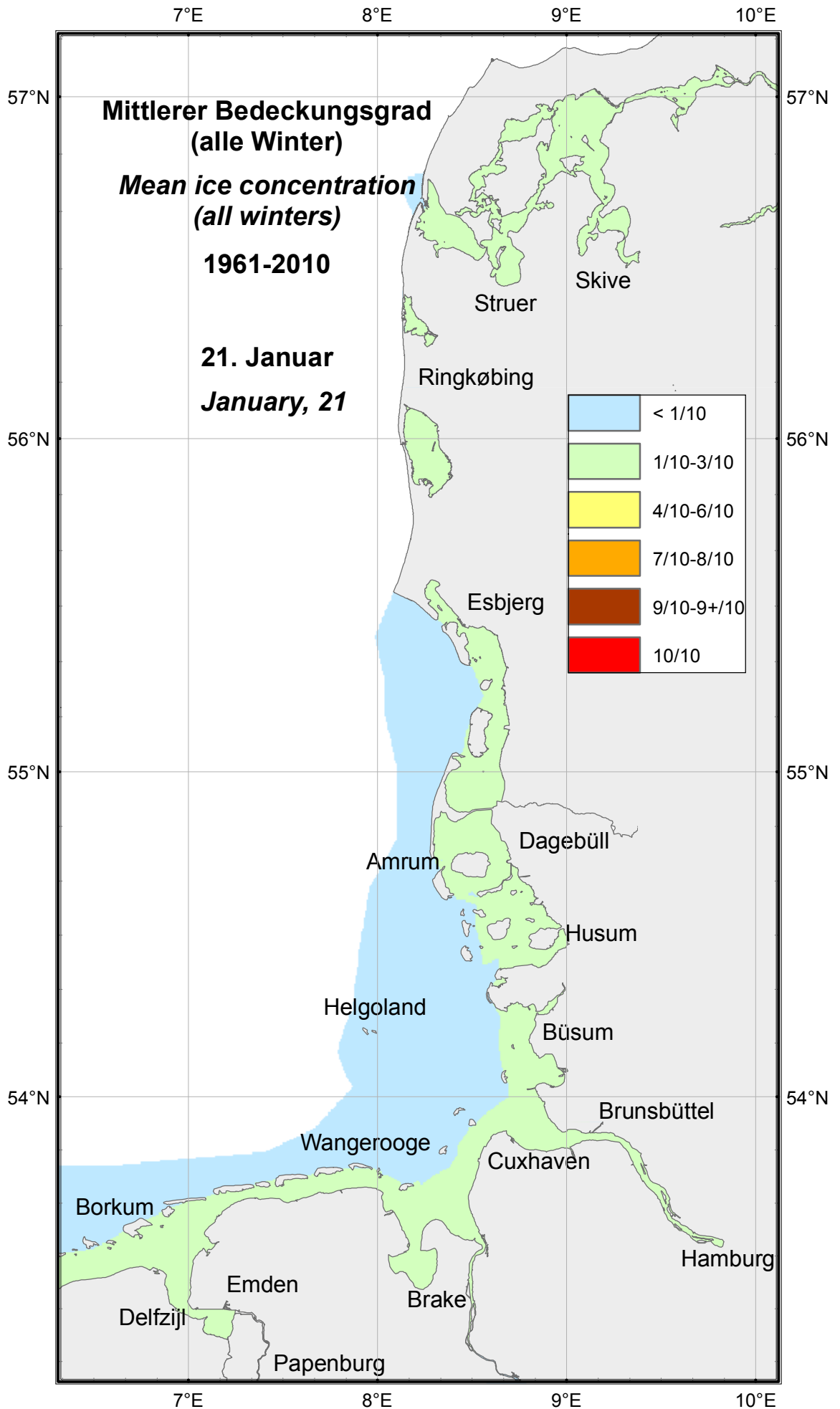
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
	Bremen, Weser	0	0	0.01	0.07	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0
Brake, Weser	0	0	0.01	0.03	0.07	0.08	0.03	0.02	0.03	0.01	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	0.01	0.04	0.07	0.1	0.05	0.04	0.05	0.03	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	0.01	0.02	0.09	0.1	0.07	0.06	0.08	0.02	0.01	0
Alte Weser, FW	0	0	0	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
Neue Weser, FW	0	0	0	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	0.04	0.07	0.15	0.14	0.09	0.09	0.1	0.05	0.01	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	0.01	0.03	0.06	0.14	0.06	0.07	0.11	0.06	0.01	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0.02	0.09	0.03	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	0.02	0.07	0.14	0.13	0.09	0.07	0.18	0.05	0.02	0.02
Norderney, Watten	0.01	0.02	0.03	0.07	0.12	0.15	0.1	0.08	0.12	0.05	0.01	0
Norderney, Seegat	0.01	0.01	0.01	0.04	0.07	0.1	0.05	0.05	0.07	0.04	0.01	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	0.04	0.09	0.12	0.13	0.08	0.07	0.11	0.03	0.01	0
Borkum, Randzelgat	0	0	0.02	0.08	0.08	0.1	0.09	0.08	0.1	0.03	0.01	0
Borkum, Westerems	0	0	0.02	0.03	0.05	0.07	0.05	0.03	0.06	0.03	0.01	0

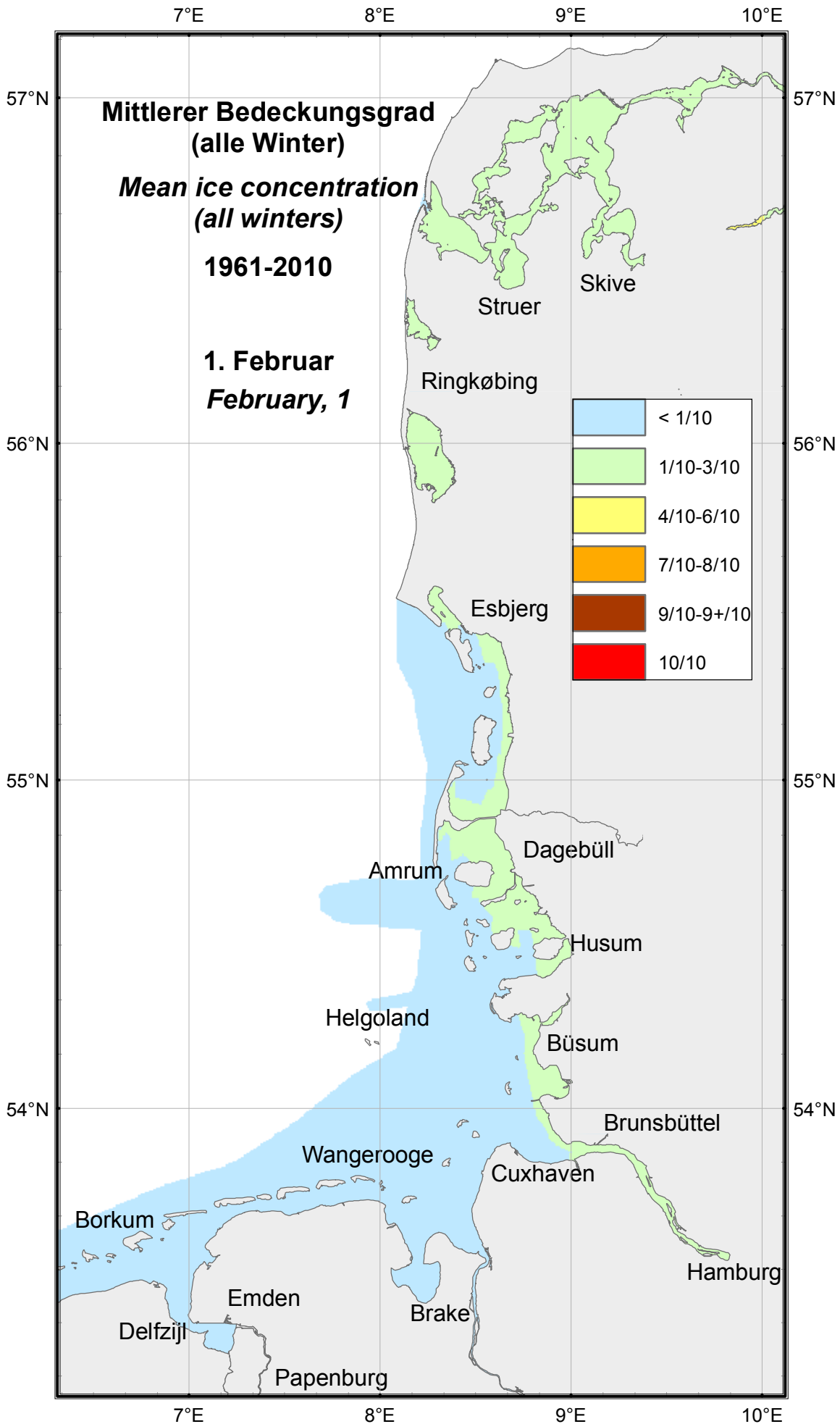
Tabelle 6: Mittlerer Bedeckungsgrad (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)

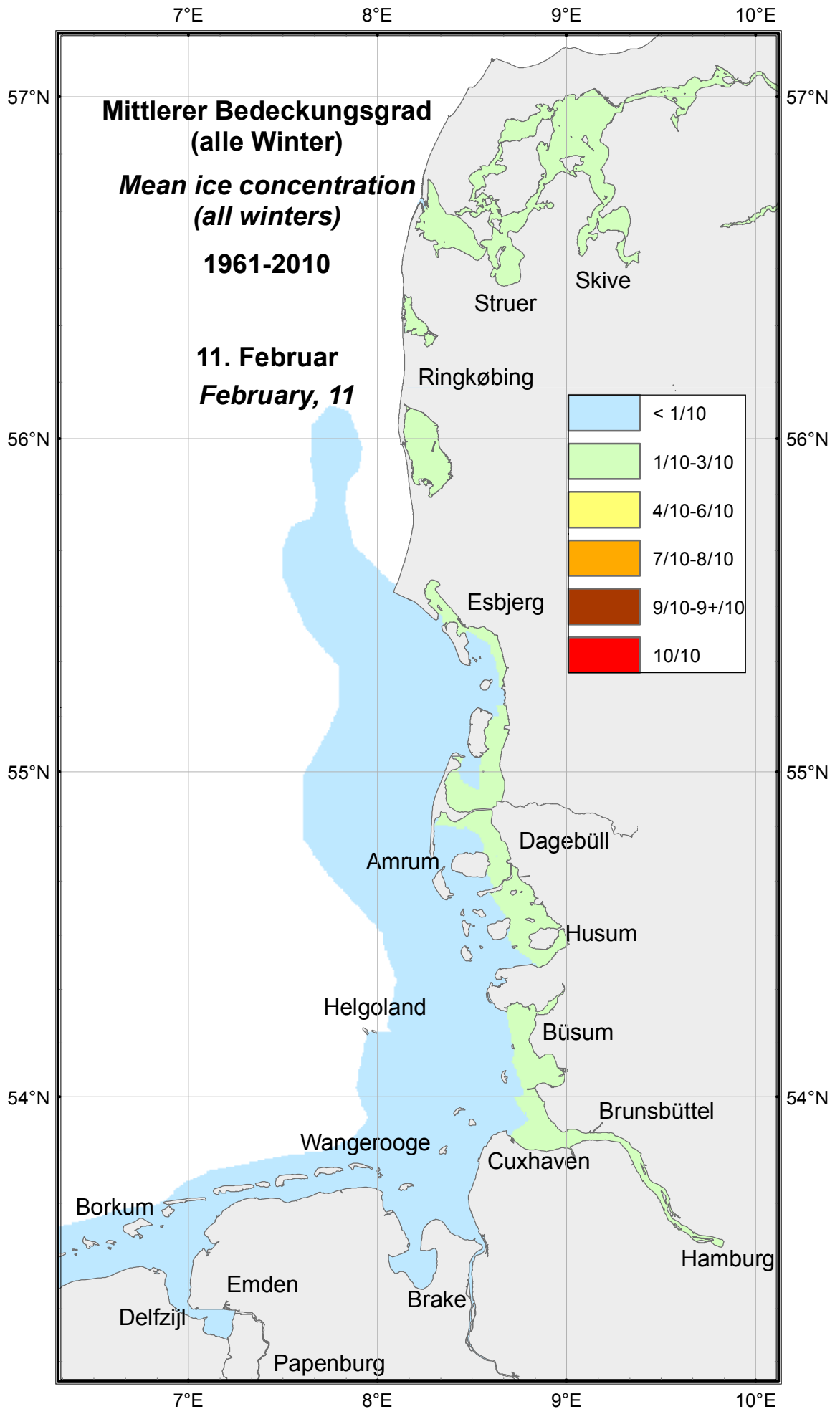
Table 6: Mean ice concentration (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

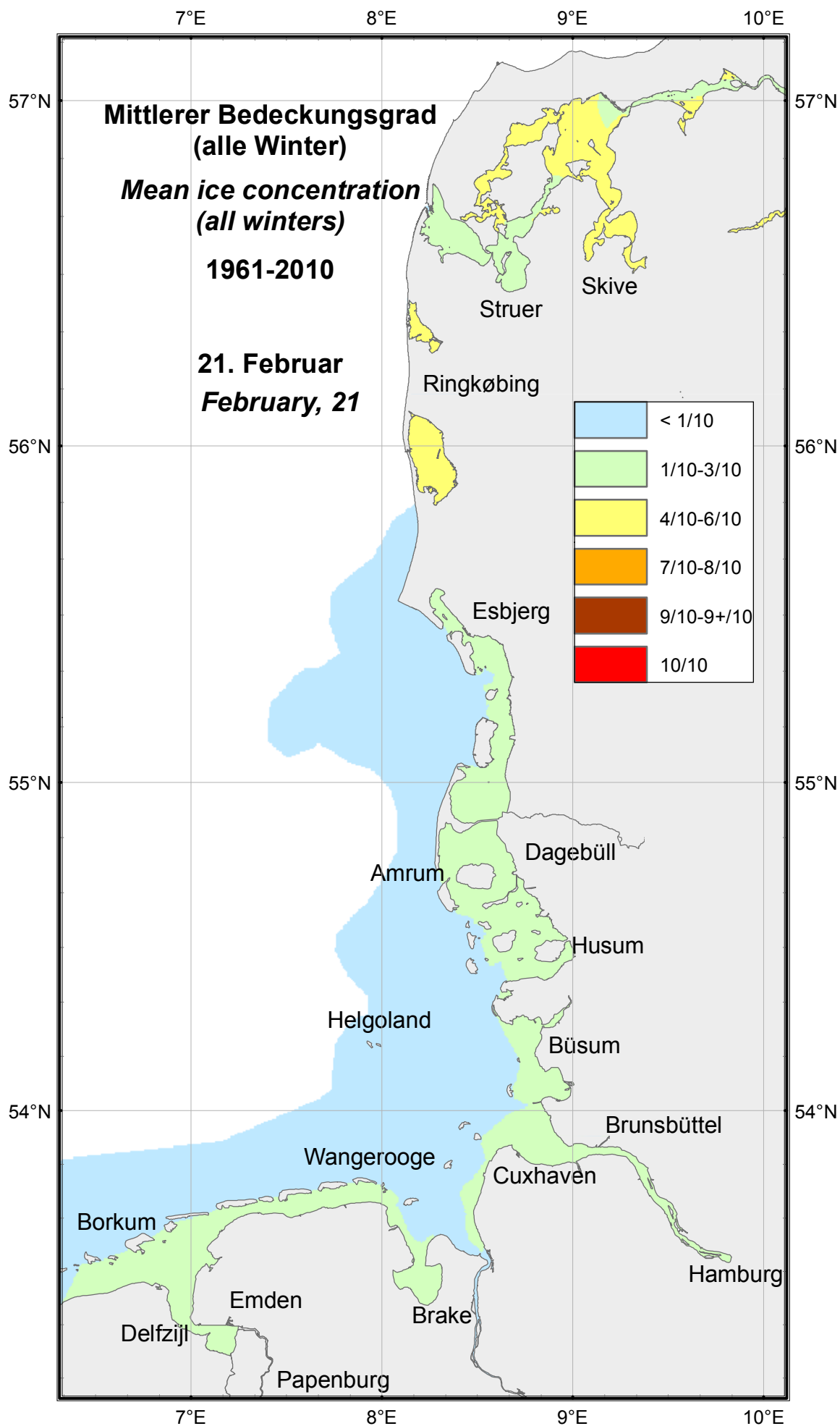


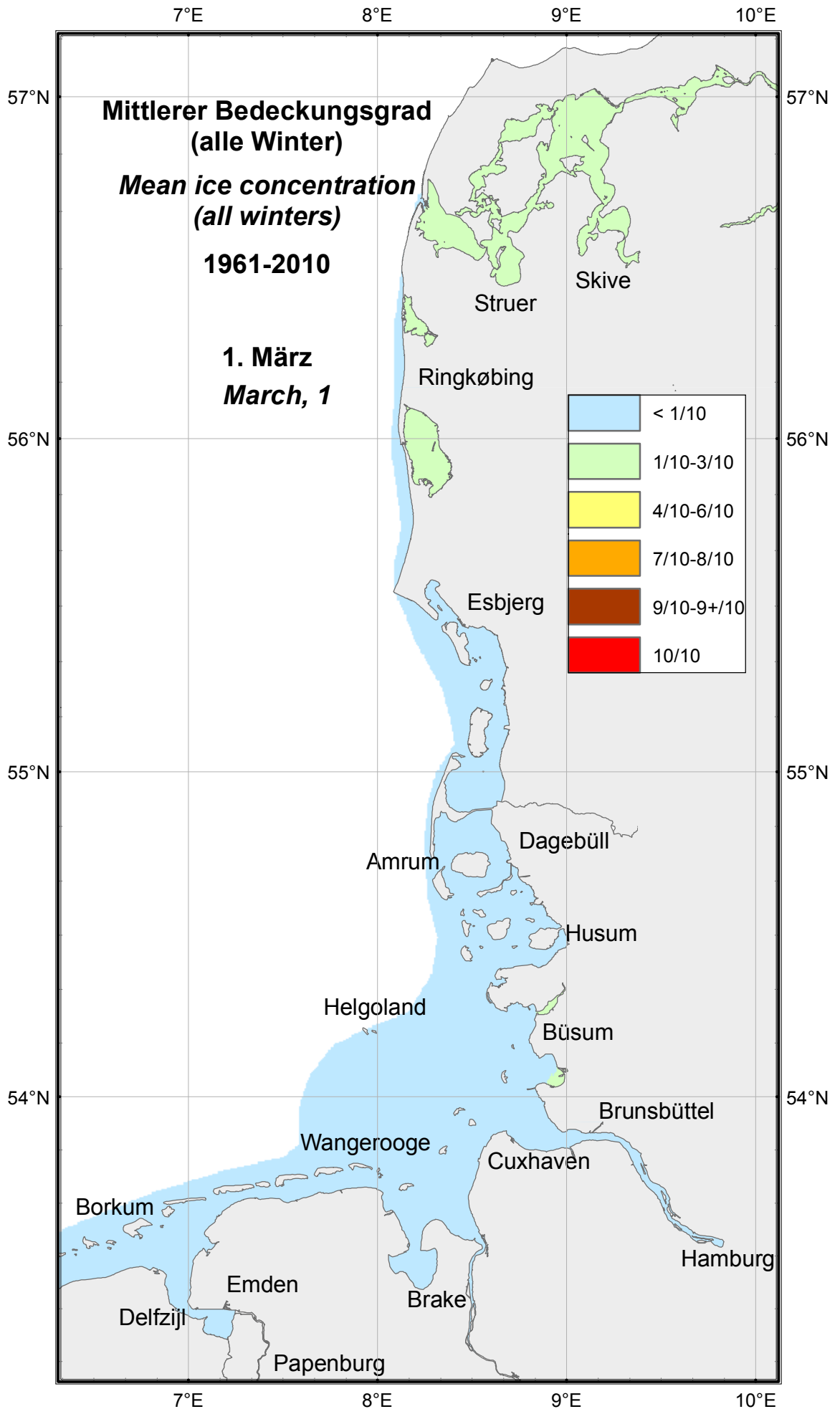


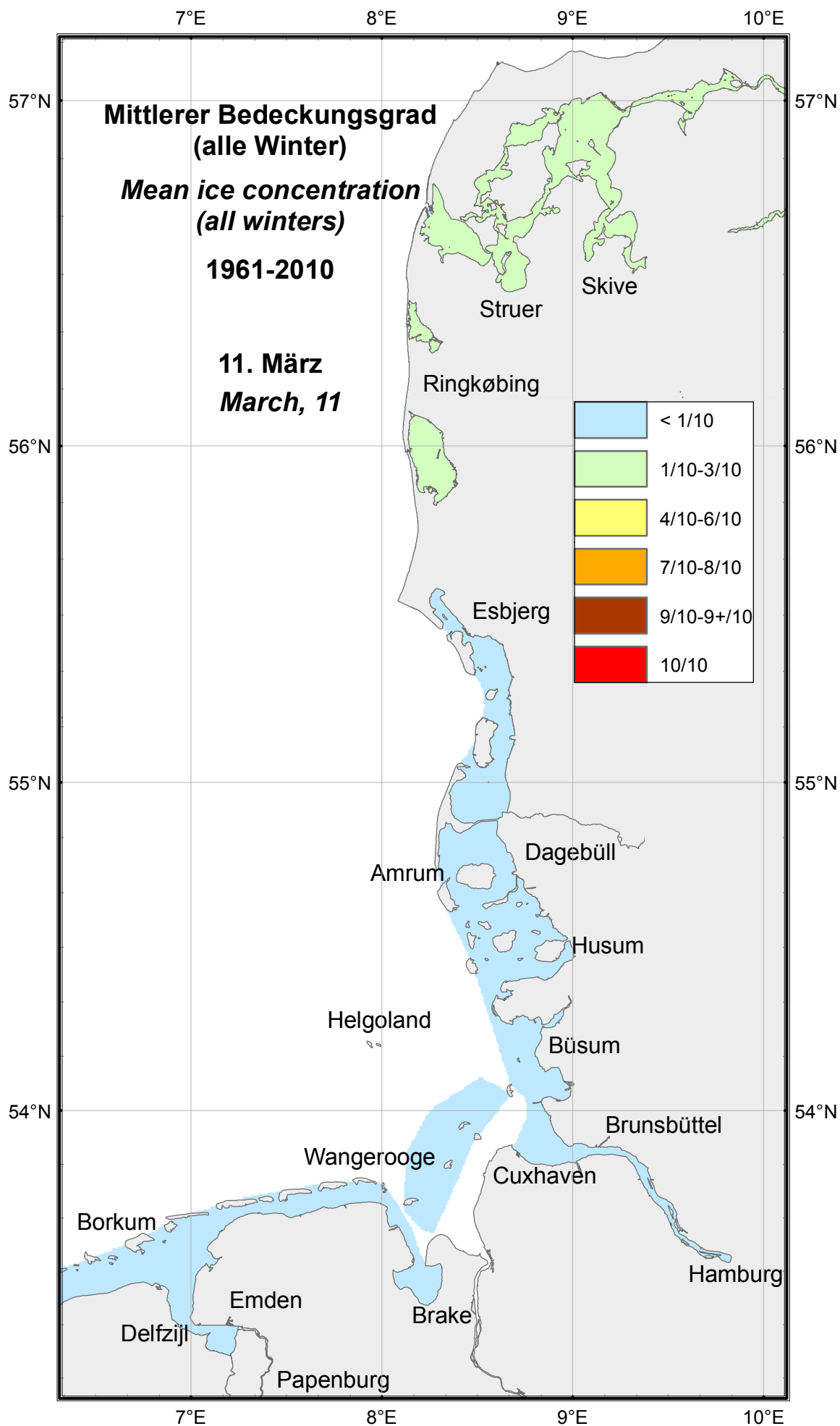


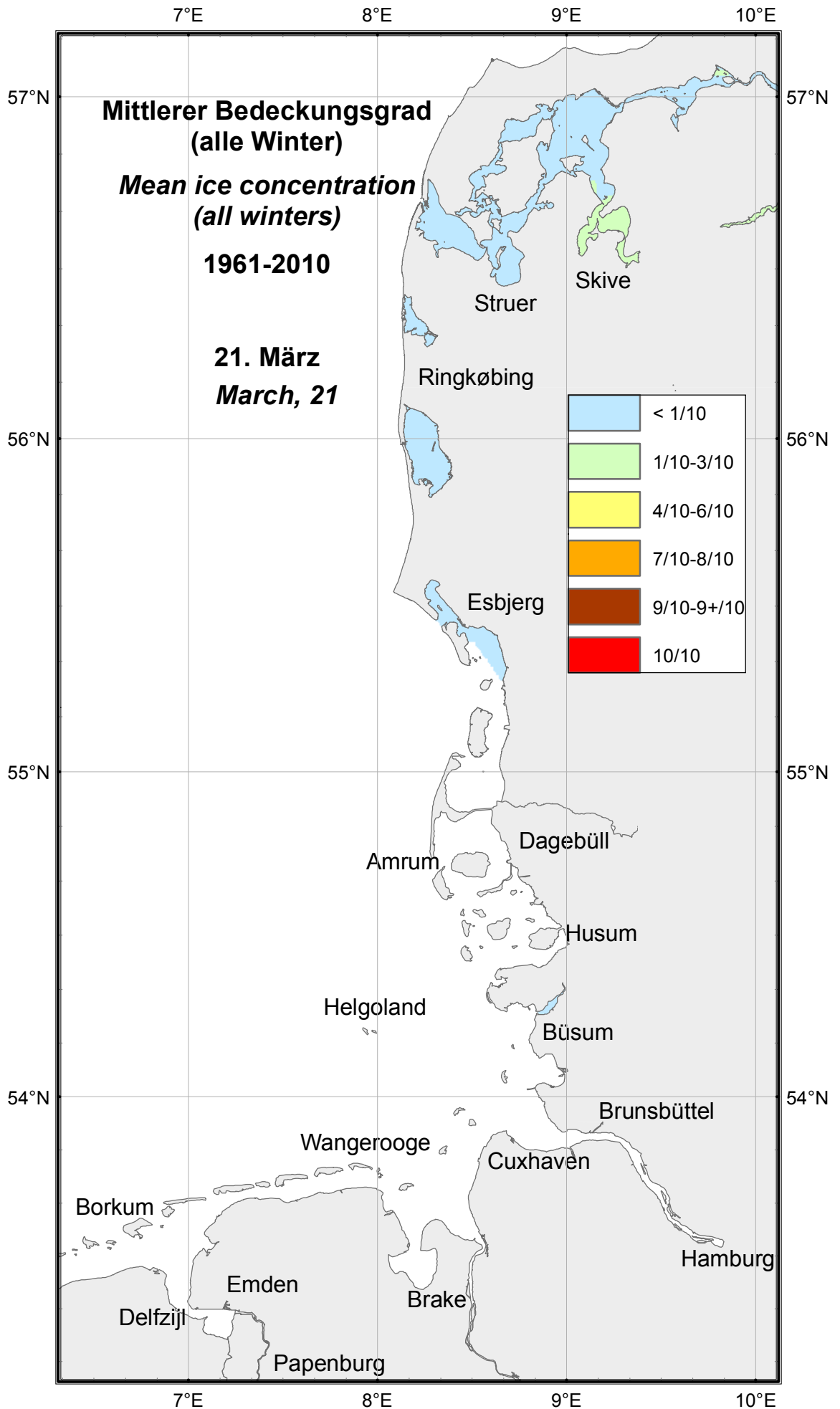










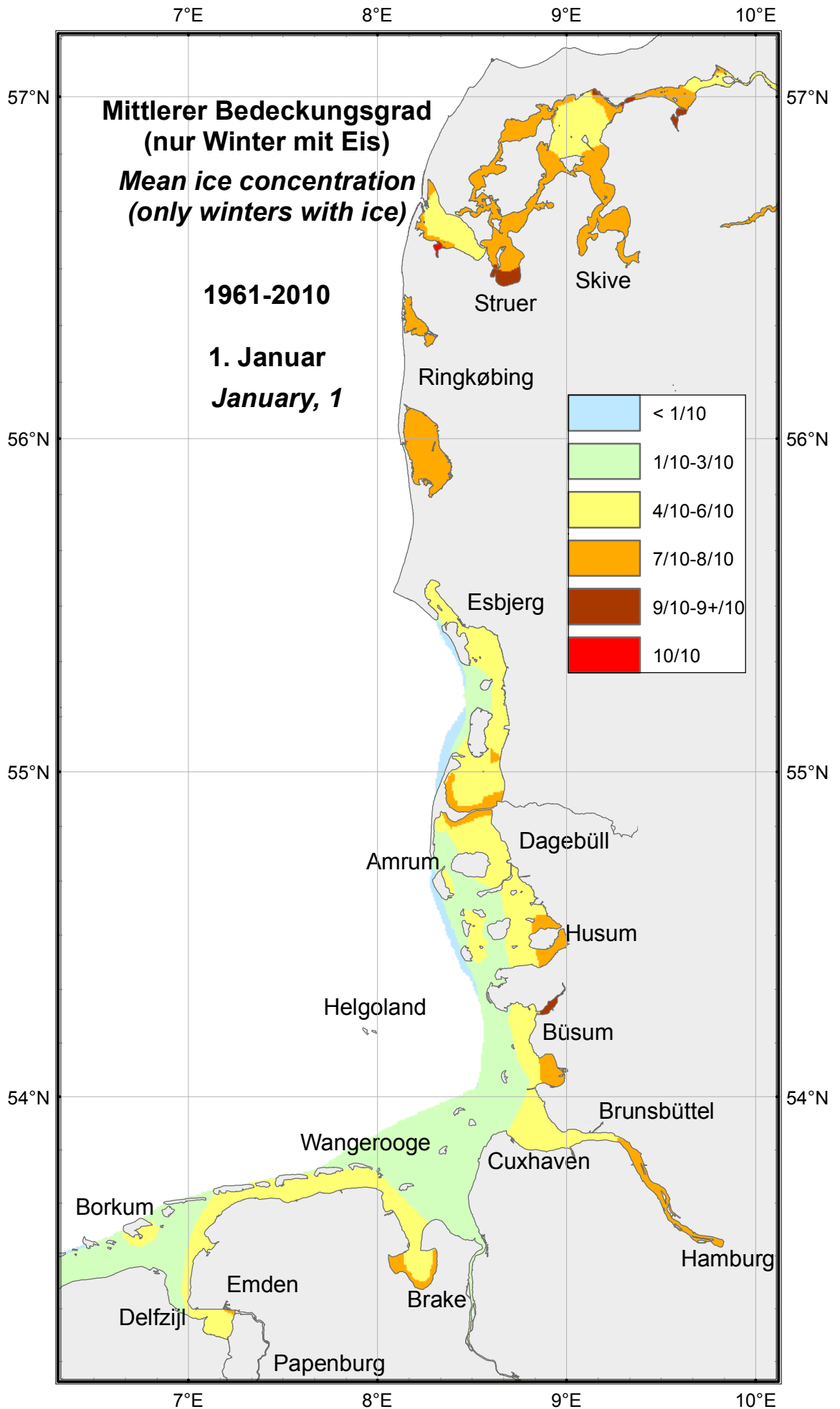


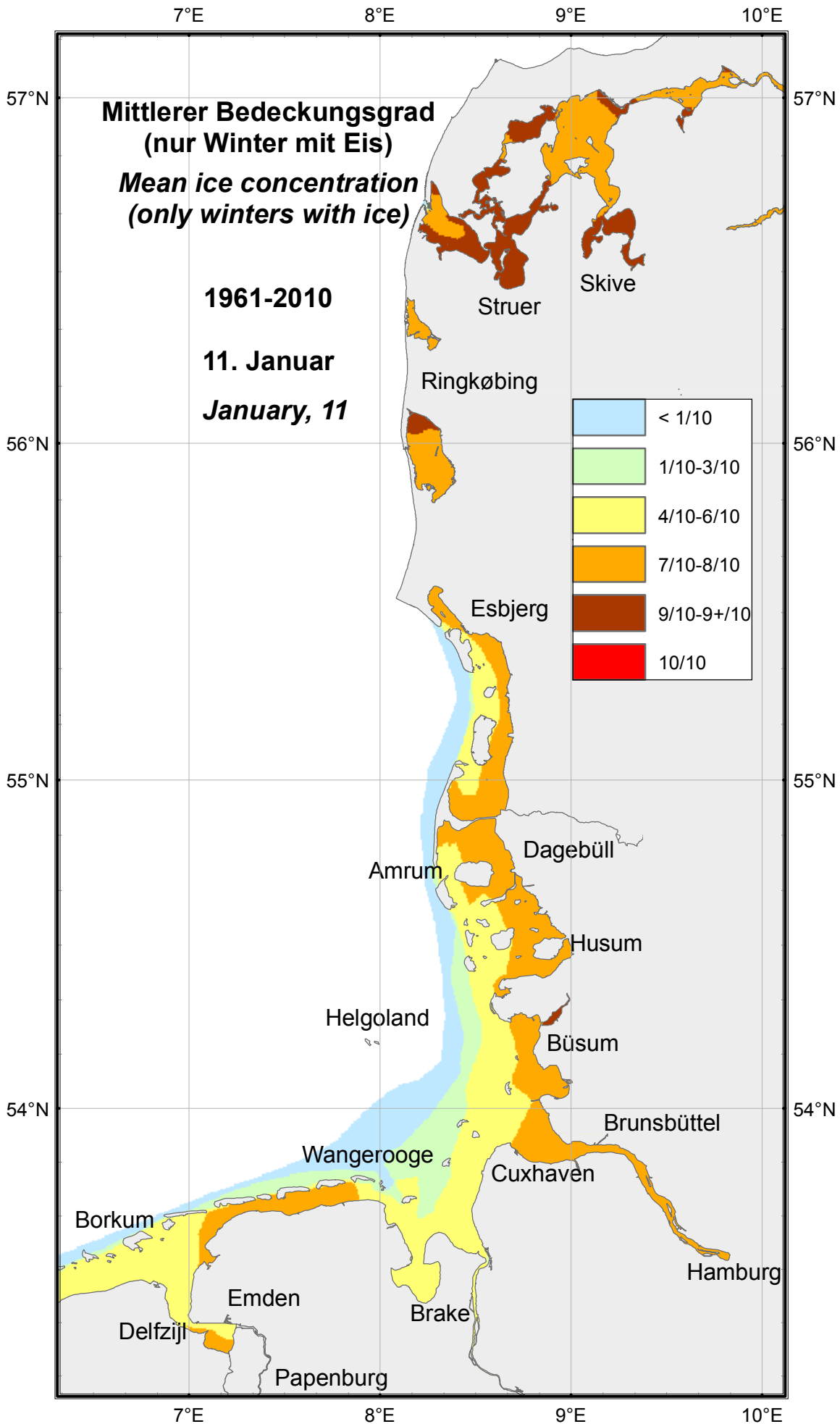
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	0.46	0.46	0.53	0.51	0.61	0.48	0.38	0.49	0.26	0
Dagebüller Fahrwasser	1	0	0.46	0.46	0.59	0.47	0.61	0.46	0.39	0.49	0.26	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	0.75	0.7	0.76	0.86	0.8	0.81	0.76	0.6	0.5	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	0.37	0.51	0.54	0.54	0.49	0.47	0.46	0.53	0.5	0
Husum, Hafen	0.47	0.4	0.5	0.67	0.74	0.72	0.84	0.79	0.71	0.47	0.42	0
Husum, Au	0.47	0.32	0.47	0.69	0.78	0.71	0.72	0.72	0.67	0.61	0.42	0
Nordstrand, Hever	0.35	0.1	0.41	0.47	0.53	0.54	0.66	0.55	0.51	0.51	0.17	0
Tönning, Hafen	0.45	0.37	0.68	0.74	0.84	0.84	0.79	0.79	0.84	0.91	0.91	0.61
Eiderdamm, Seegebiet	0.26	0.29	0.49	0.56	0.57	0.61	0.63	0.6	0.55	0.55	0.5	0.52
Büsum, Hafen	0	0.42	0.48	0.6	0.78	0.72	0.75	0.73	0.77	0.66	0.45	0.25
Büsum, Nordepiep	0	0.17	0.43	0.54	0.71	0.6	0.71	0.7	0.55	0.66	0.2	0
Büsum, Süderpiep	0	0.17	0.67	0.52	0.68	0.59	0.71	0.71	0.57	0.66	0.2	0
Hamburg-Landungsbrücken	0.25	0.3	0.45	0.37	0.53	0.44	0.57	0.52	0.6	0.47	0	0
Stadersand, Elbe	0	0.1	0.64	0.51	0.78	0.69	0.79	0.76	0.73	0.72	0.1	0
Glückstadt, Elbe	0	0.35	0.52	0.75	0.52	0.52	0.62	0.42	0.59	0.52	0.32	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	0.59	0.54	0.71	0.58	0.59	0.65	0.52	0.46	0.3	0.1
Cuxhaven, Elbe	0	0	0.23	0.56	0.44	0.48	0.72	0.67	0.56	0.44	0.17	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	0.25	0.49	0.39	0.51	0.56	0.71	0.47	0.41	0.17	0
Neuwerk, Elbe	0	0	0.3	0.41	0.39	0.41	0.52	0.45	0.44	0.57	0.1	0
Großer Vogelsand	0	0	0.25	0.28	0.34	0.4	0.56	0.39	0.27	0.32	0.35	0
Ansteuerungstone Elbe	0	0	0	0.25	0.22	0.42	0.43	0.3	0.45	0.35	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	0.28	0	0.35	0.67	0.42	0.5	0

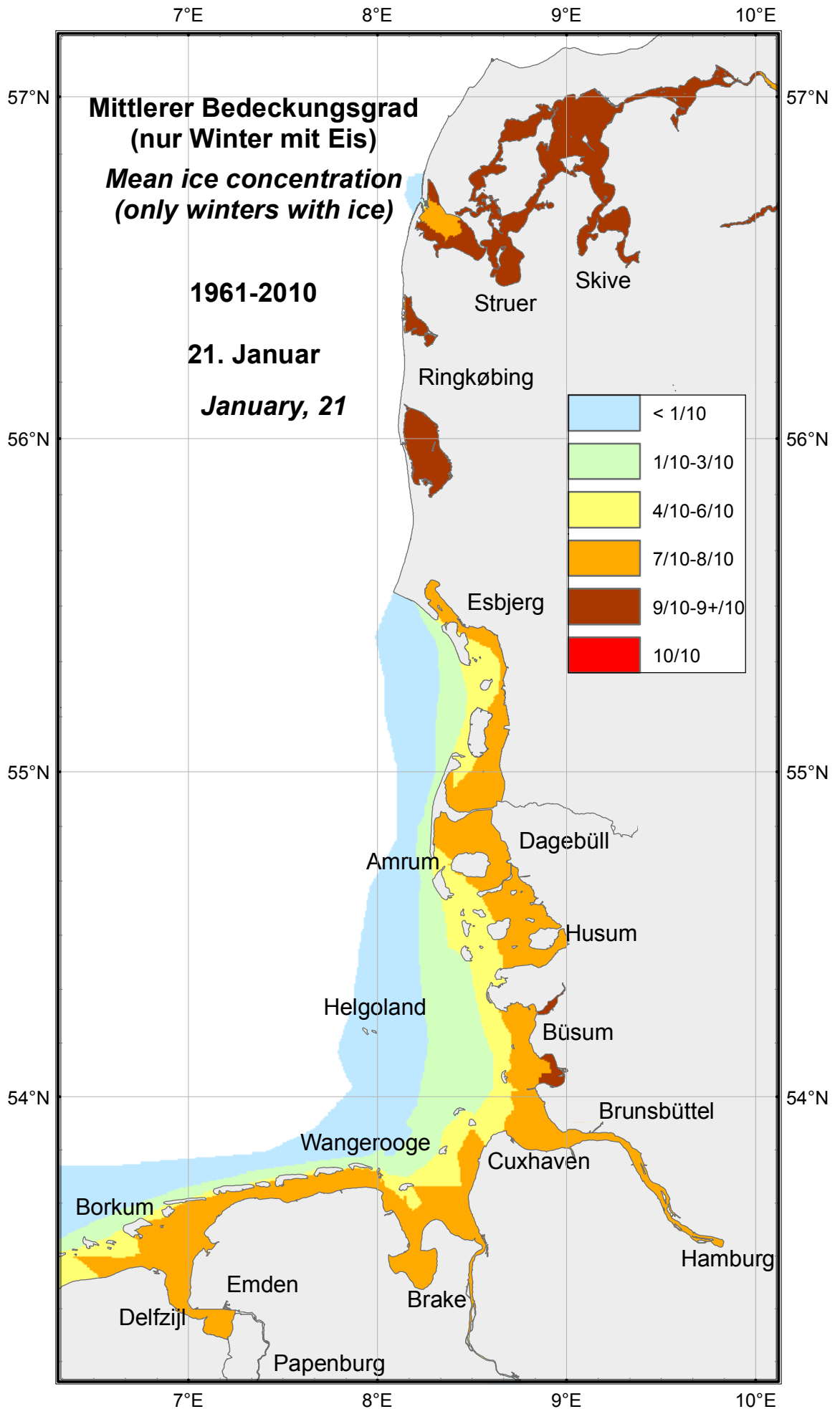
Tabelle 7: Mittlerer Bedeckungsgrad (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 7: Mean ice concentration (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

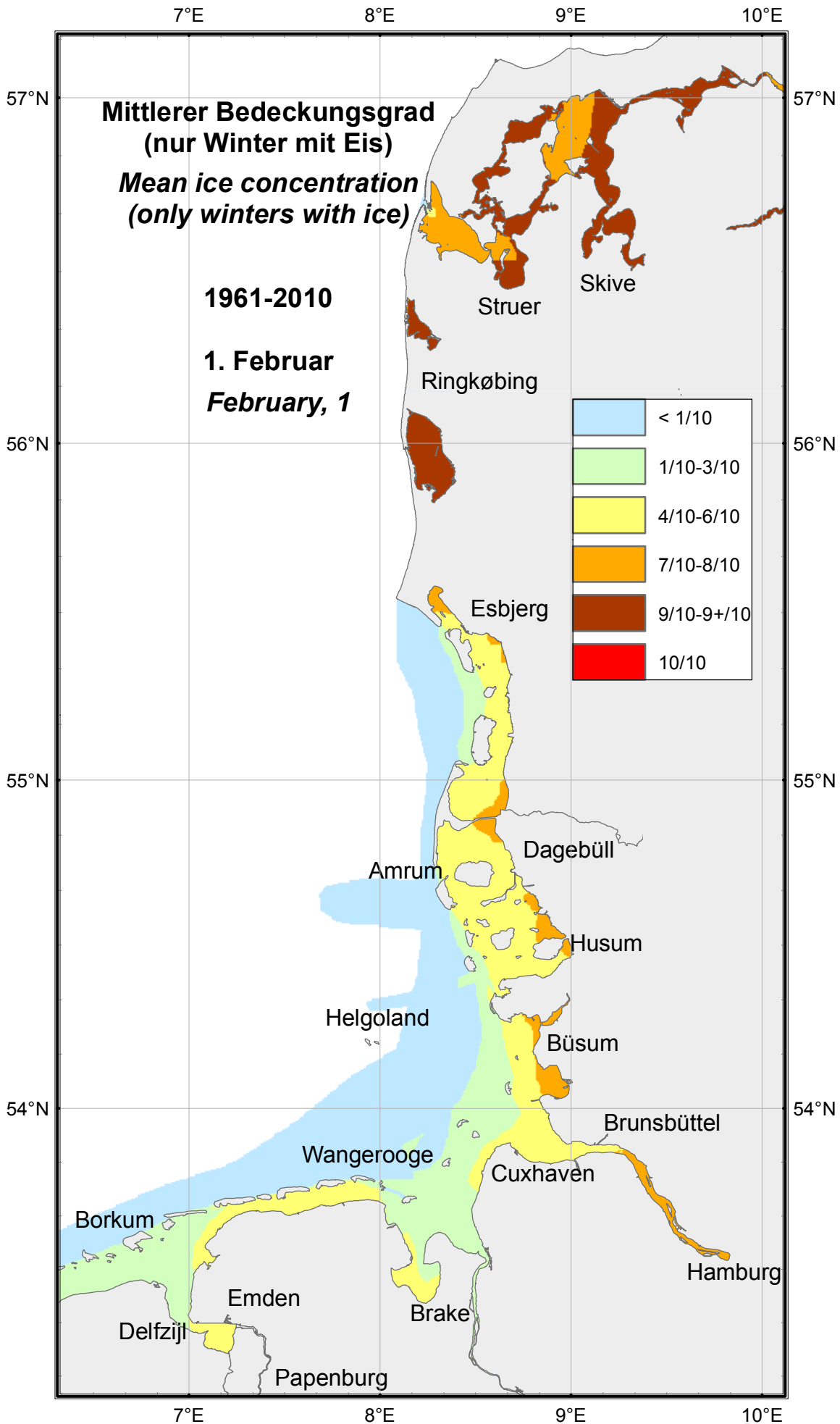
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	0.22	0.62	0.42	0.56	0.48	0.28	0.32	0.35	0	0
Brake, Weser	0	0	0.1	0.57	0.36	0.46	0.48	0.45	0.52	0.35	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	0.18	0.65	0.4	0.58	0.44	0.9	0.6	0.36	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	0.22	0.32	0.4	0.43	0.57	0.58	0.48	0.4	0.35	0
Alte Weser, FW	0	0	0	0.27	0.49	0.41	0.54	0.49	0.39	0.22	0.35	0.35
Neue Weser, FW	0	0	0	0.1	0.18	0.37	0.4	0.8	0.32	0.85	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	0.55	0.42	0.59	0.6	0.65	0.58	0.56	0.42	0.1	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	0.1	0.5	0.51	0.64	0.43	0.6	0.63	0.61	0.1	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	0.5	0.23	0.18	0.37	0.32	0.26	0.51	0.52	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	0.32	0.72	0.71	0.54	0.63	0.62	0.73	0.51	0.38	1
Norderney, Watten	0.25	0.42	0.42	0.52	0.59	0.64	0.71	0.47	0.53	0.46	0.15	0
Norderney, Seegat	0.1	0.1	0.23	0.52	0.36	0.5	0.51	0.42	0.44	0.49	0.1	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	0.44	0.56	0.43	0.59	0.48	0.44	0.5	0.32	0.23	0
Borkum, Randzelgat	0	0	0.26	0.58	0.49	0.5	0.73	0.52	0.43	0.39	0.23	0
Borkum, Westerems	0	0	0.27	0.33	0.41	0.42	0.44	0.27	0.32	0.48	0.18	0

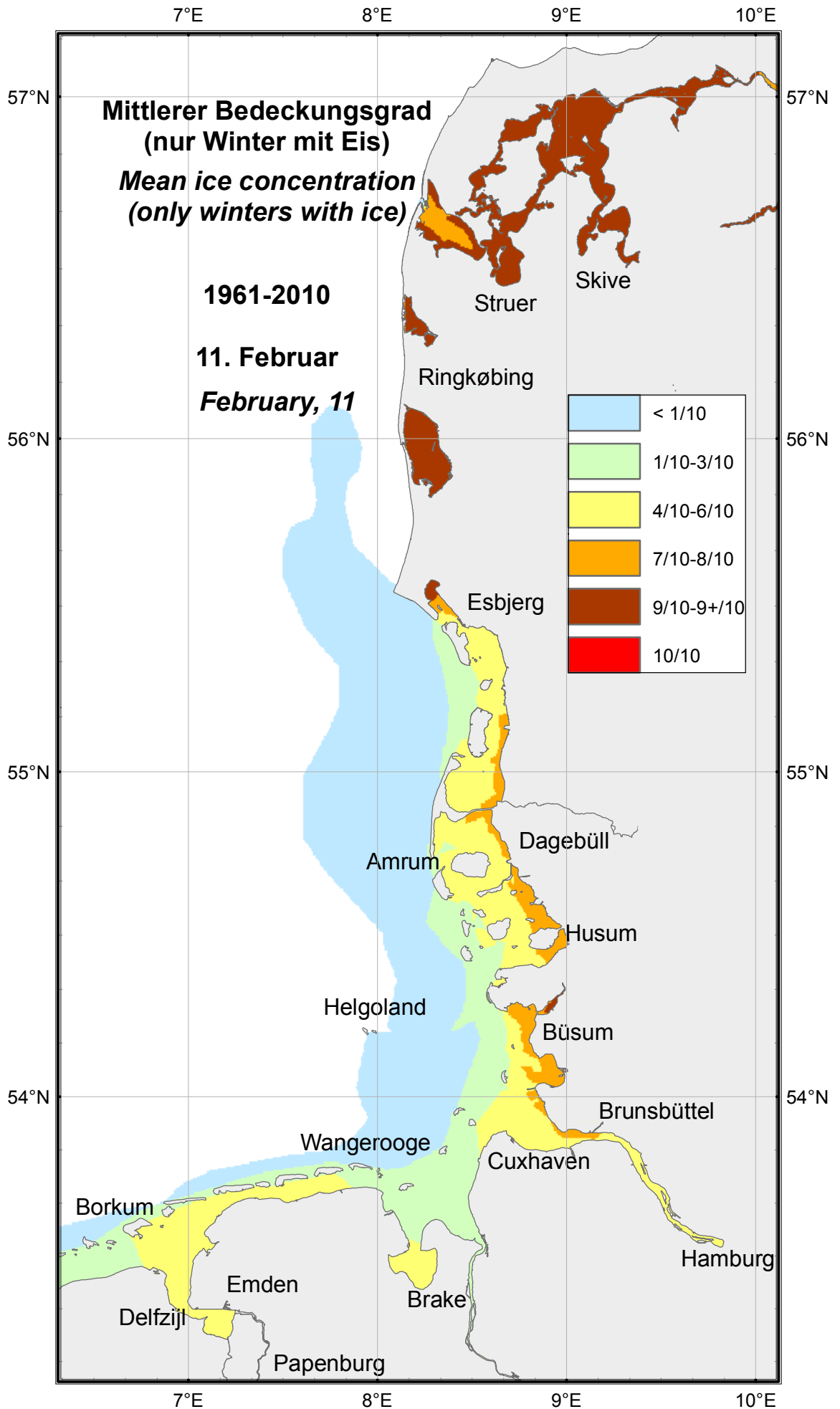
Tabelle 7: Mittlerer Bedeckungsgrad (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 7: Mean ice concentration (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

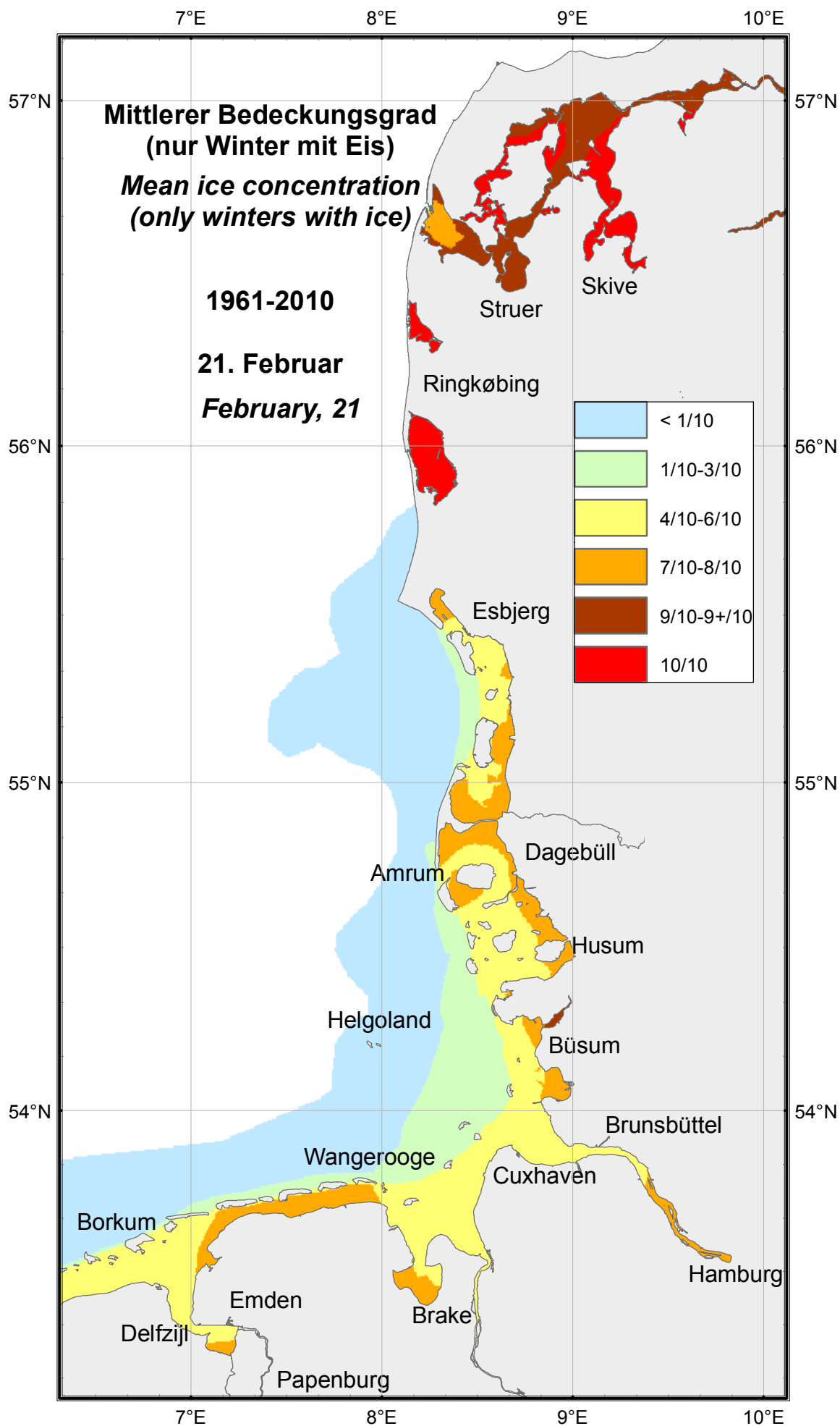


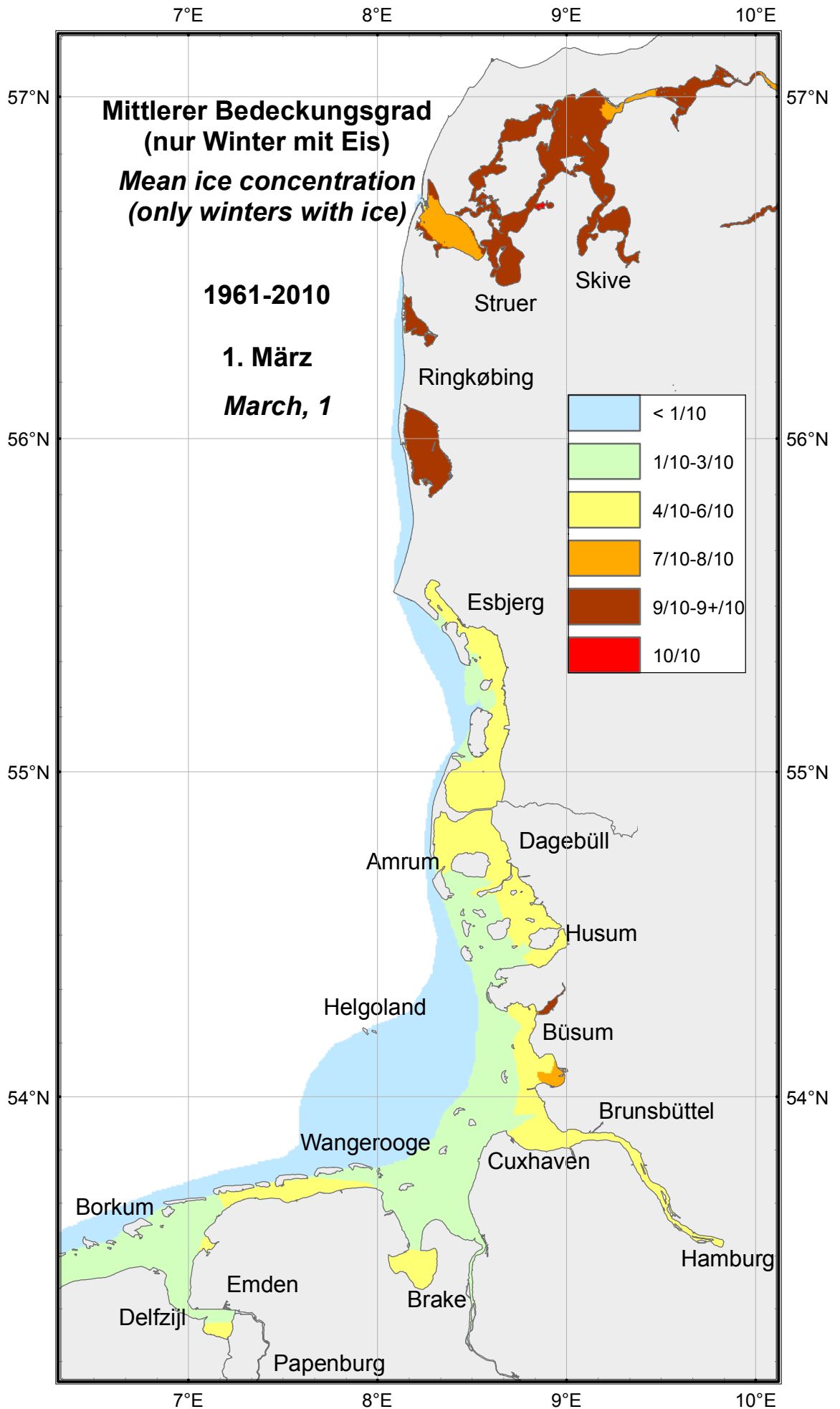


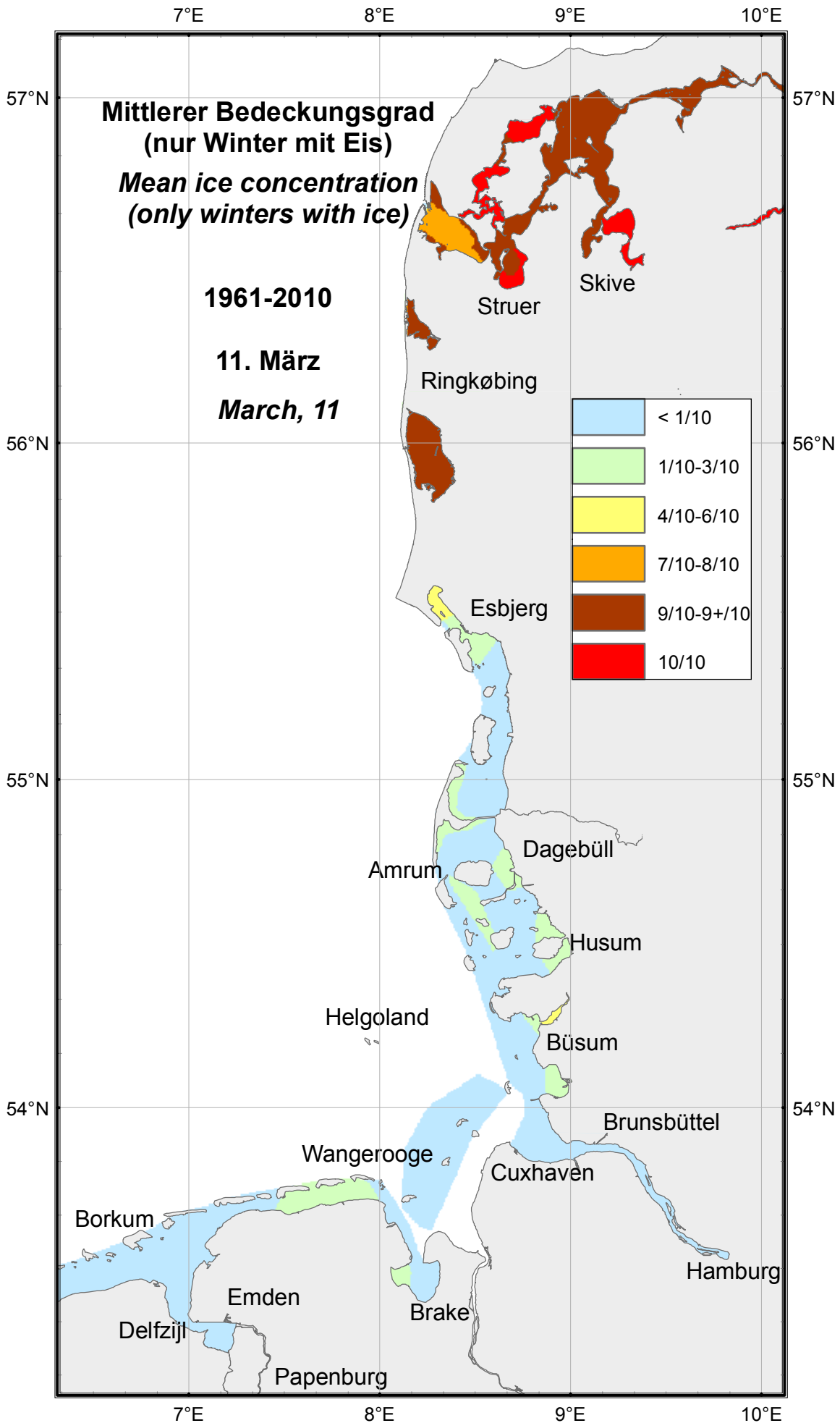


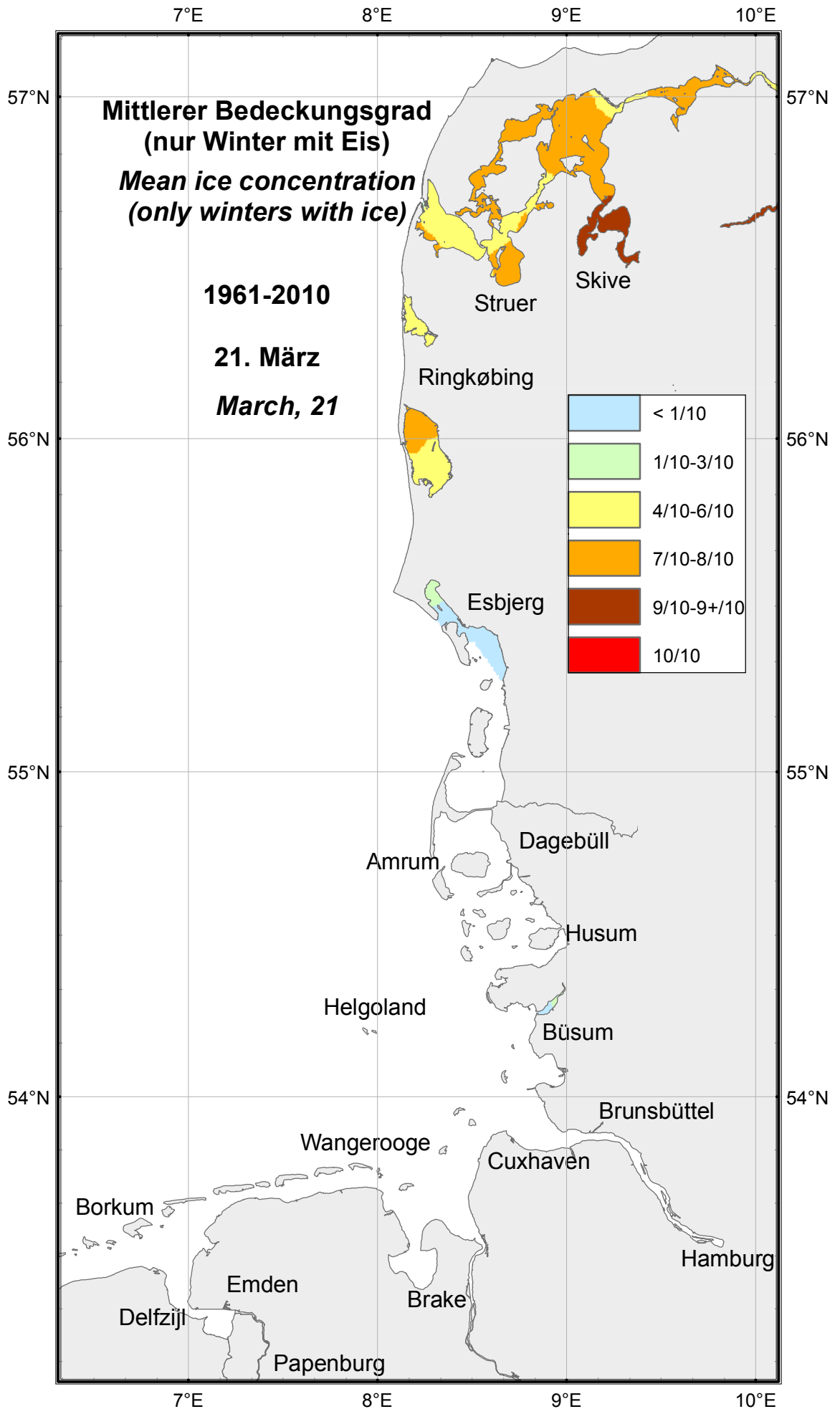












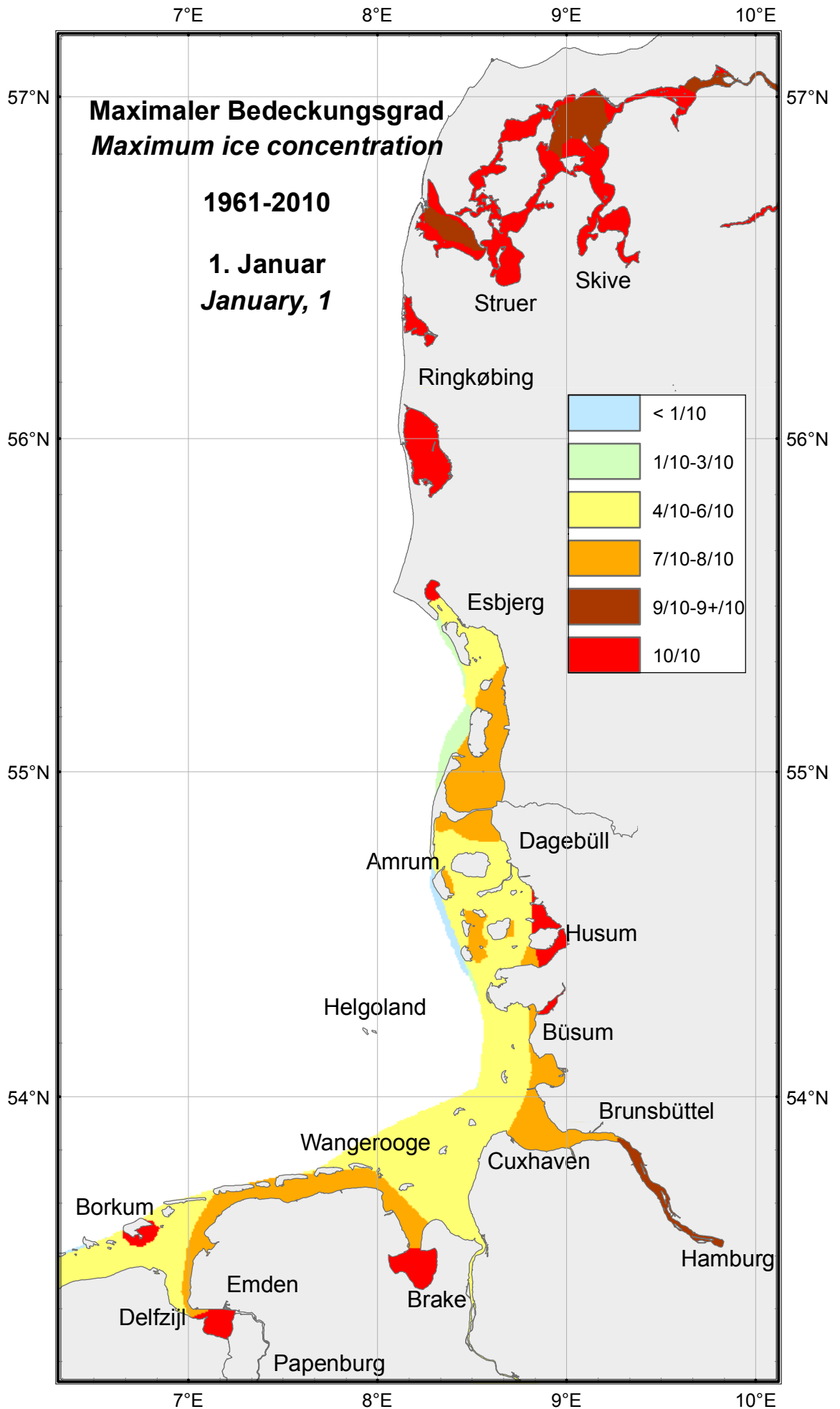
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	1	0	0.85	1	0.95	0.85	1	1	1	0.85	0.35	0
Dagebüller Fahrwasser	0	0	0.85	1	0.95	0.85	1	1	1	0.85	0.35	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	0.5	0.85	0.95	0.95	0.85	0.85	1	0.85	0	0
Husum, Hafen	0.85	0.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Husum, Au	0.85	0.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Nordstrand, Hever	0.35	0.1	0.35	1	1	1	1	0.95	0.85	0.85	0.85	0
Tönning, Hafen	0.95	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eiderdamm, Seegebiet	0.35	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.85
Büsum, Hafen	0	0.5	0.95	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.25
Büsum, Norderpiep	0	0.25	0.95	0.95	1	1	1	1	1	1	0.35	0
Büsum, Süderpiep	0	0.25	1	0.95	1	1	1	1	1	1	0.35	0
Hamburg-Landungsbrücken	0.25	0.35	0.75	0.95	0.95	0.85	1	1	0.95	0.95	0	0
Stadersand, Elbe	0	0.1	0.85	0.95	0.95	1	0.95	0.95	1	0.95	0.1	0
Glückstadt, Elbe	0	0.35	0.95	0.85	0.85	1	1	0.95	1	0.95	0.35	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	0.75	0.85	0.95	0.95	1	1	0.95	0.95	0.35	0.1
Cuxhaven, Elbe	0	0	0.5	0.85	0.95	0.95	0.85	0.95	1	0.85	0.25	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	0.25	0.85	0.85	1	0.85	1	0.85	0.85	0.25	0
Neuwerk, Elbe	0	0	0.5	0.85	0.85	1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.1	0
Großer Vogelsand	0	0	0.25	0.35	0.85	0.85	0.85	0.75	0.35	0.5	0.35	0
Ansteuerungstone Elbe	0	0	0	0.25	0.35	0.85	0.85	0.35	0.35	0.35	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	0.35	0	0.35	0.35	0.5	0.5	0

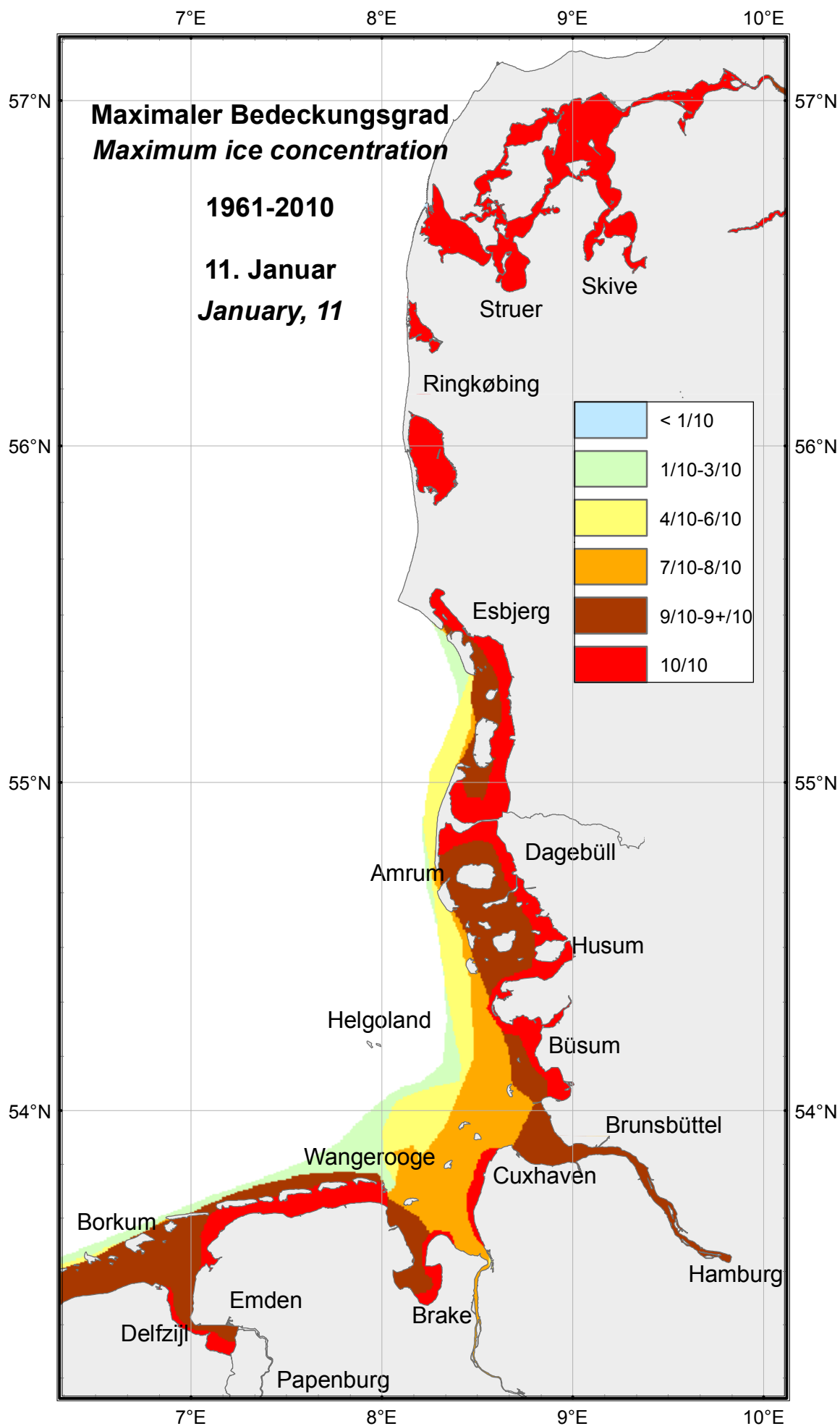
Tabelle 8: Maximaler Bedeckungsgrad an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 8: Maximum ice concentration on the German North Sea coast in the period 1961–2010

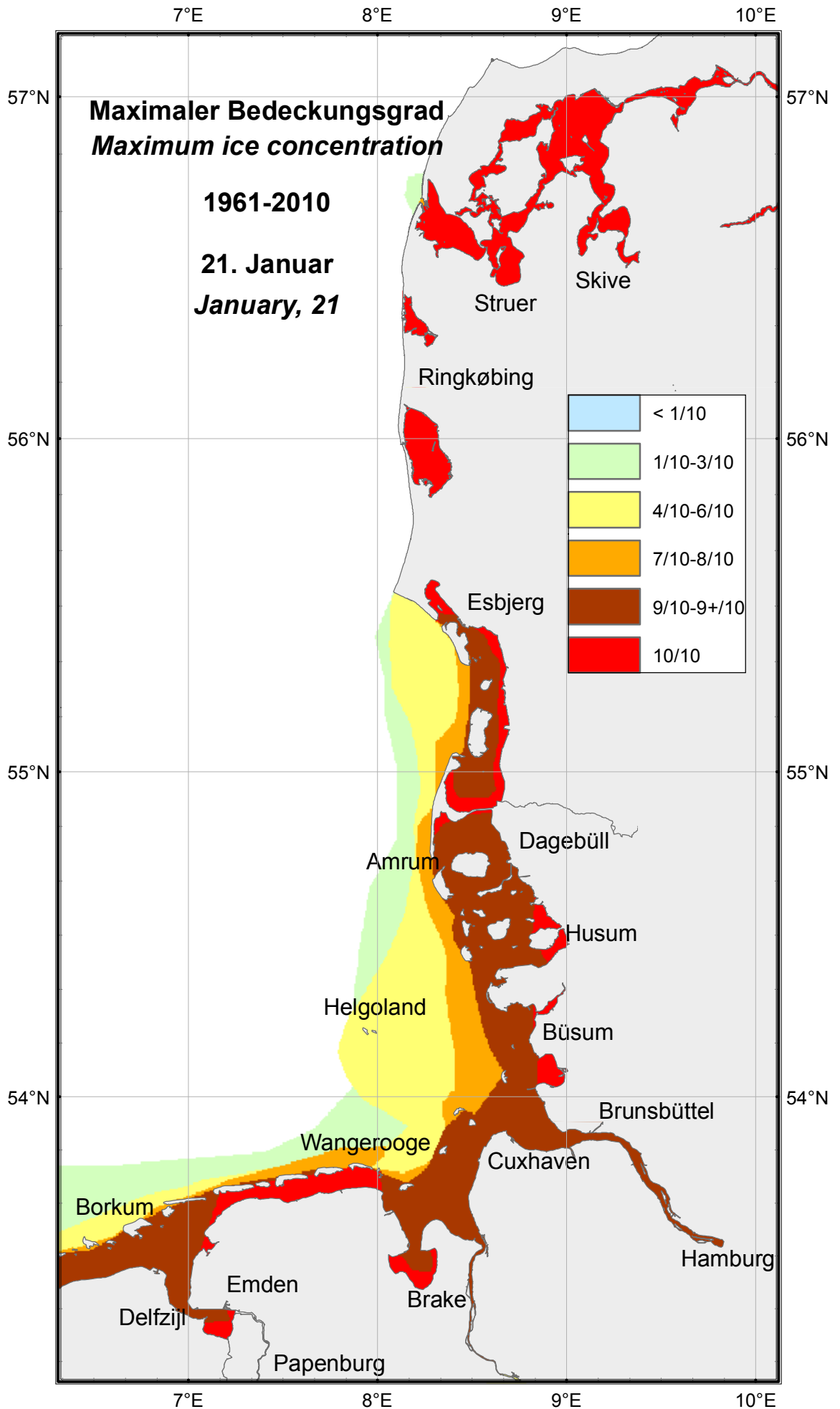
Bedeckungsgrad (1 = 100%) Ice concentration (1 = 100%) 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	0.35	0.95	0.85	0.95	0.85	0.35	0.5	0.35	0	0
Brake, Weser	0	0	0.1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.35	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	0.35	0.85	0.85	1	0.85	0.95	0.75	0.85	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	0.35	0.85	0.85	1	0.85	0.95	0.85	0.5	0.35	0
Alte Weser, FW	0	0	0	0.35	1	0.75	0.85	0.75	0.5	0.35	0.35	0.35
Neue Weser, FW	0	0	0	0.1	0.35	0.75	0.75	0.85	0.35	0.85	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0.1	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	0.1	1	0.85	1	0.85	0.95	1	1	0.1	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	0.5	0.35	0.35	0.85	0.35	0.5	0.85	0.95	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.95	1
Norderney, Watten	0.25	0.5	0.75	1	1	1	0.85	1	1	0.85	0.25	0
Norderney, Seegat	0.1	0.1	0.35	1	1	1	0.85	0.85	1	0.85	0.1	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	0.75	0.85	0.95	0.85	0.85	0.85	0.85	0.5	0.35	0
Borkum, Randzelgat	0	0	0.35	1	1	0.95	0.85	0.85	0.85	0.85	0.35	0
Borkum, Westerems	0	0	0.35	0.85	0.85	1	0.85	0.5	0.5	0.85	0.35	0

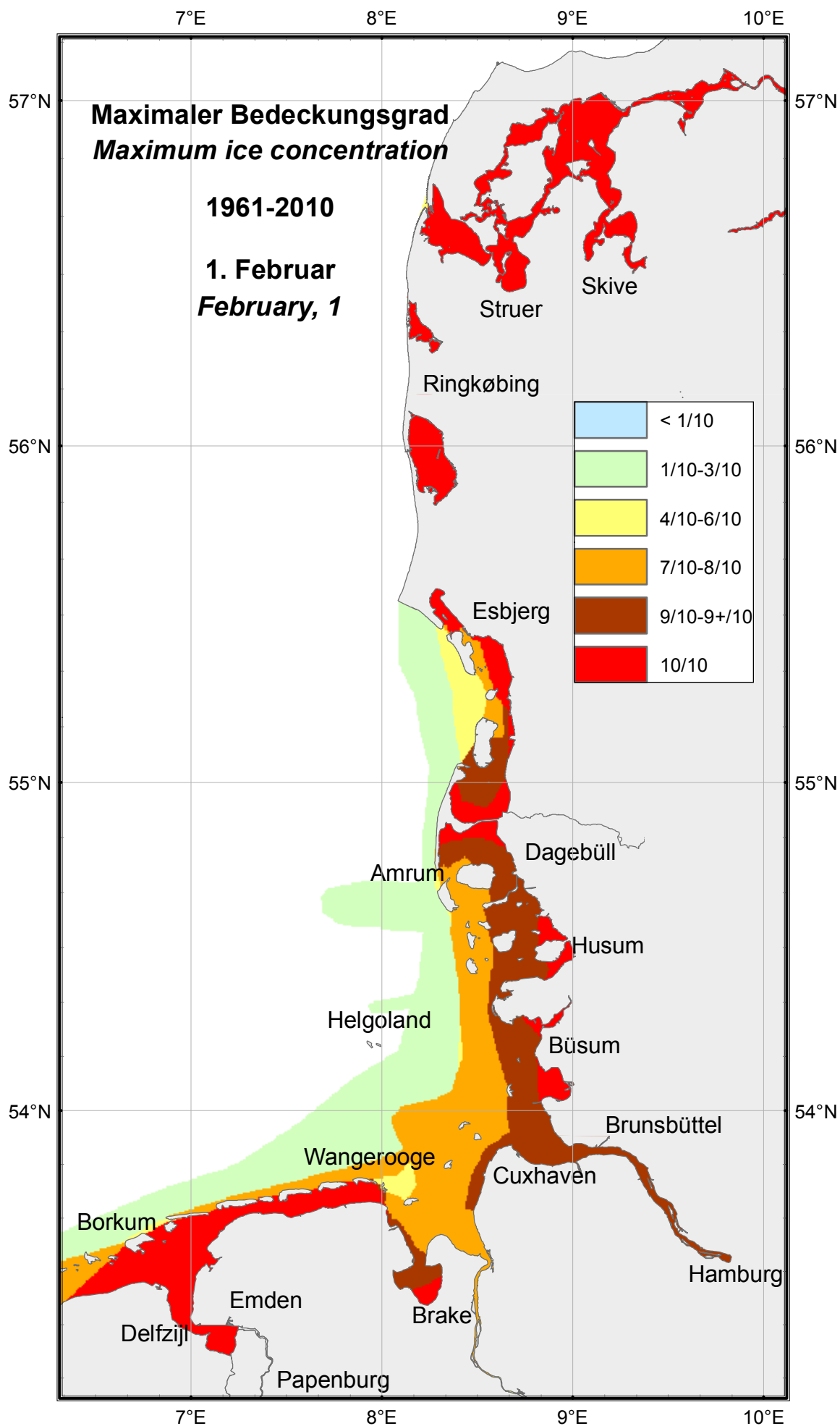
Tabelle 8: Maximaler Bedeckungsgrad an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)

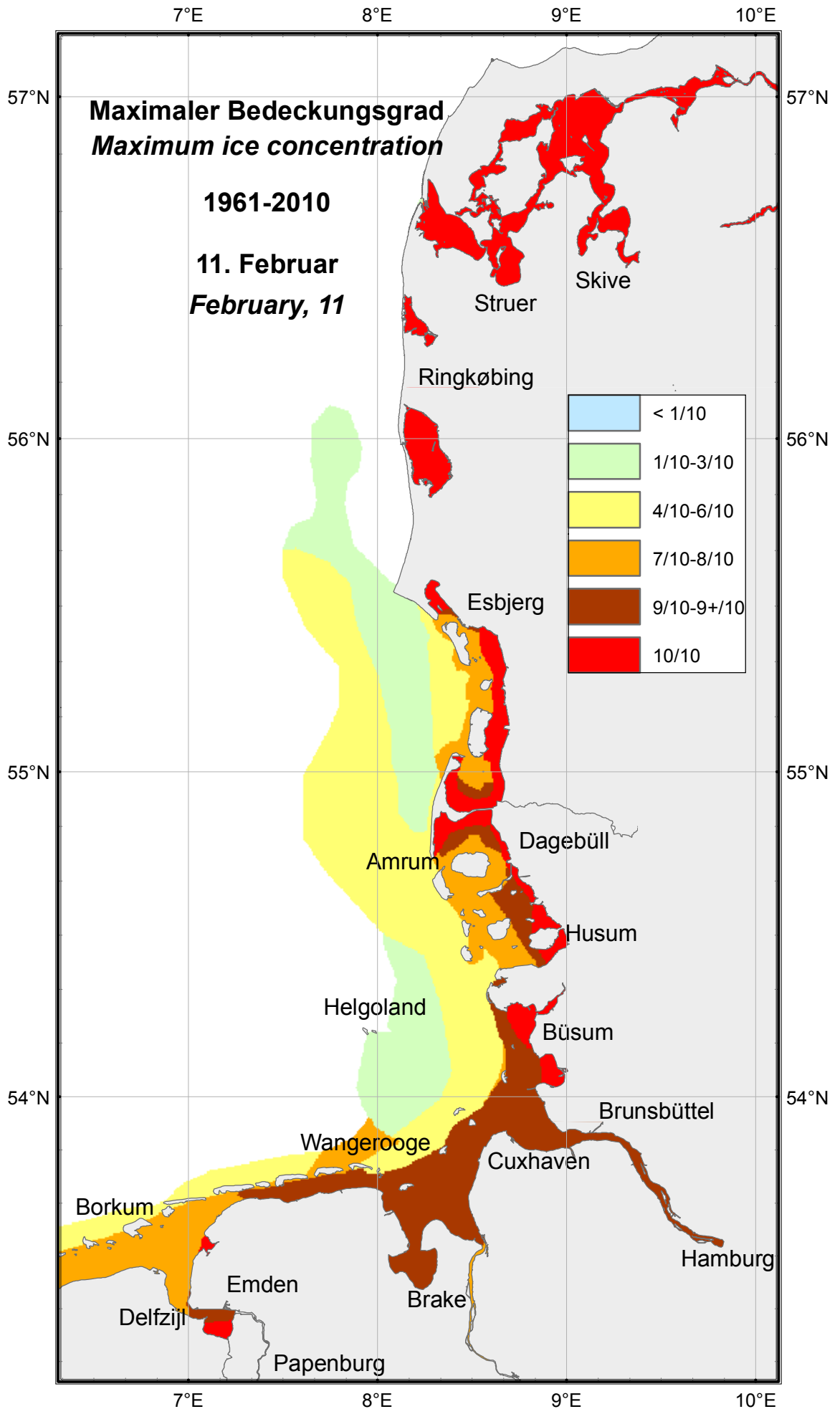
Table 8: Maximum ice concentration on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

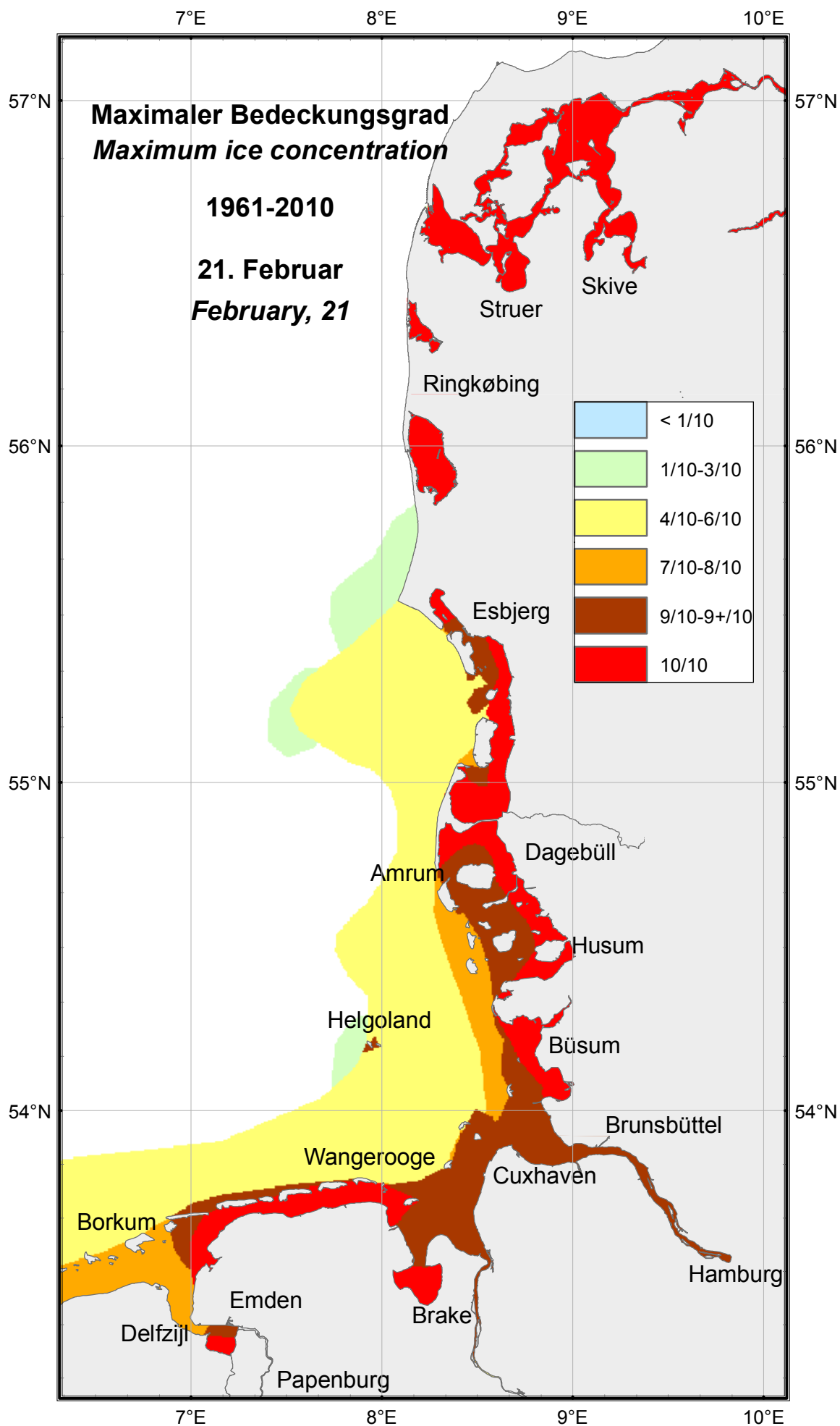


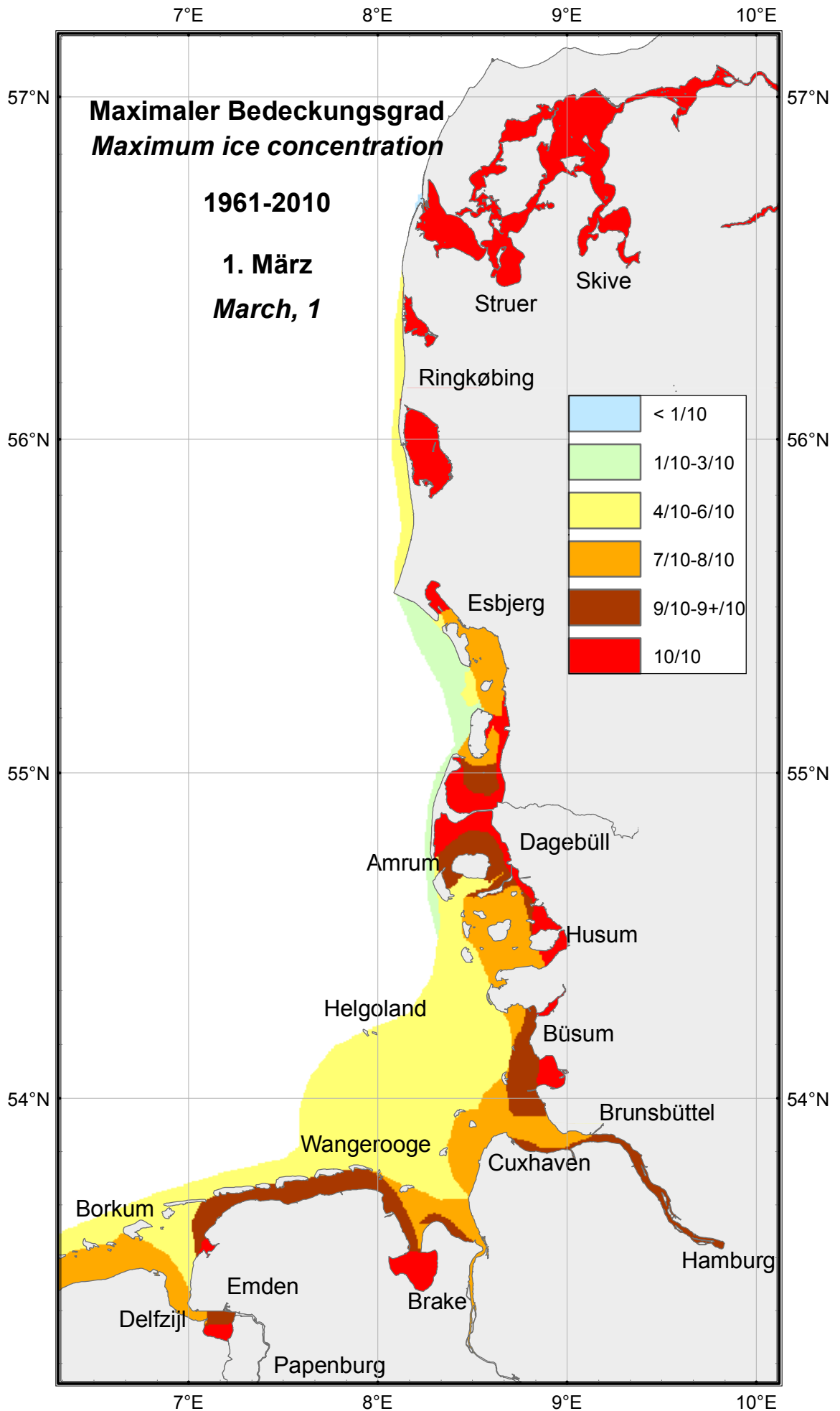


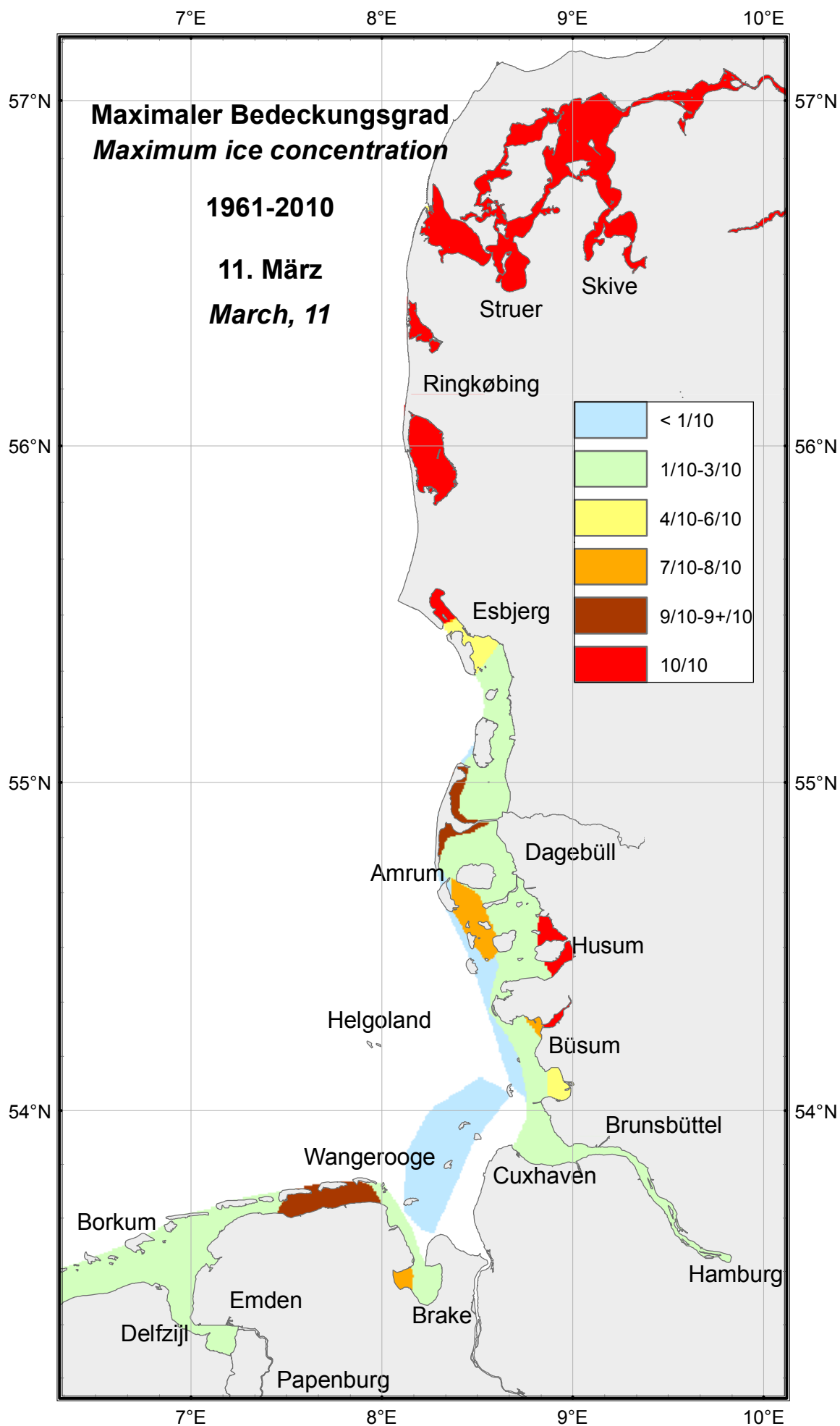


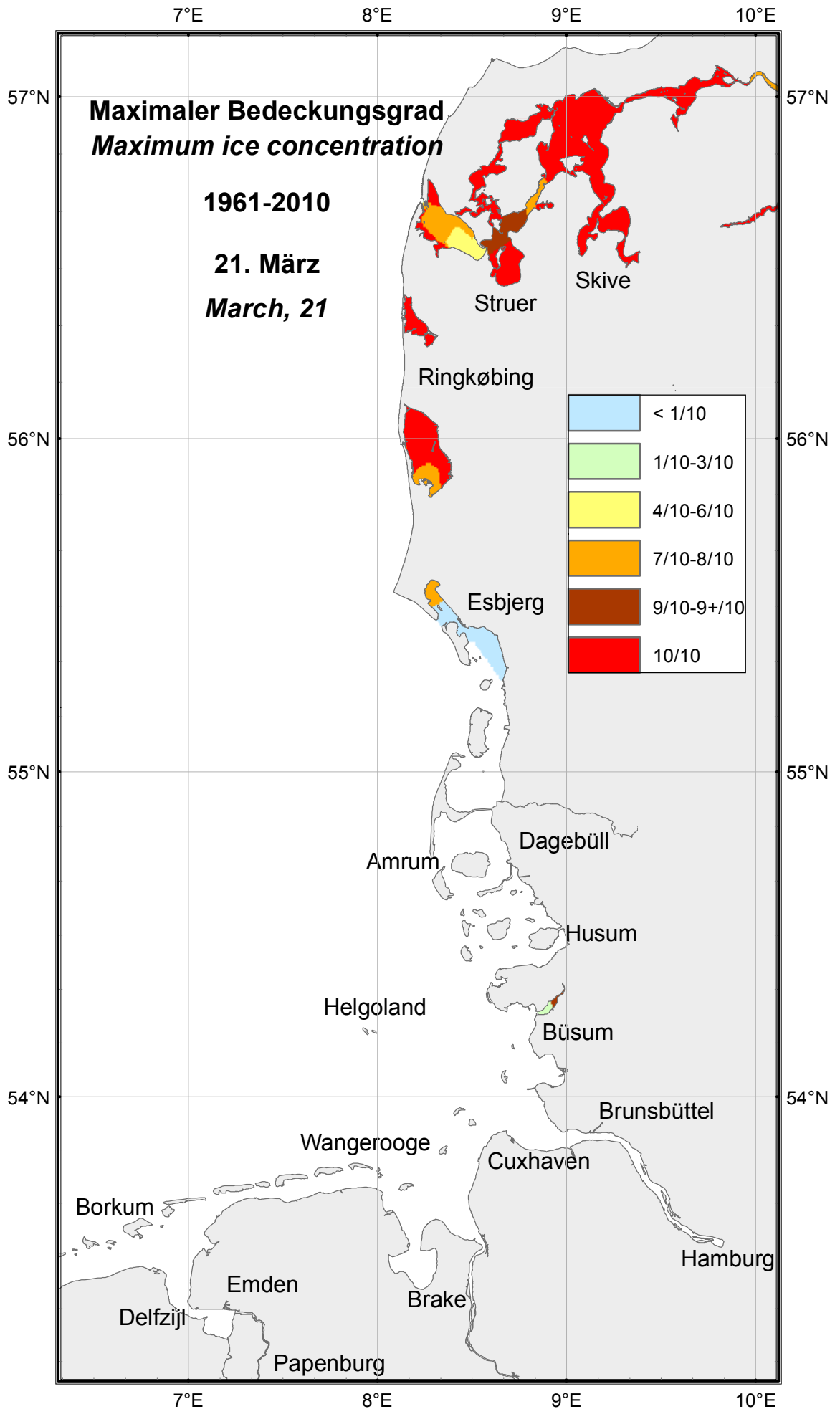












Dicke des ebenen Eises

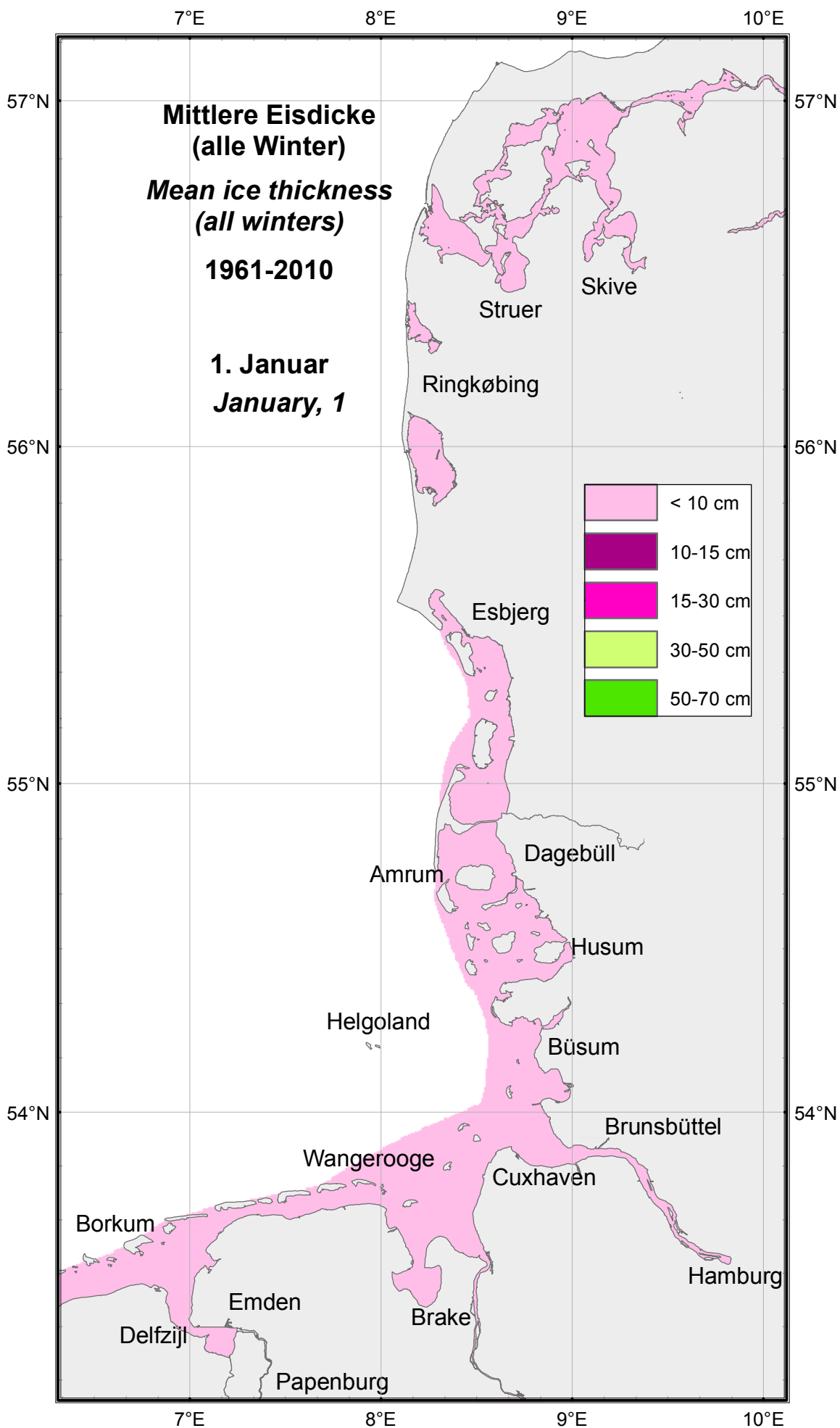
Thickness of Level Ice

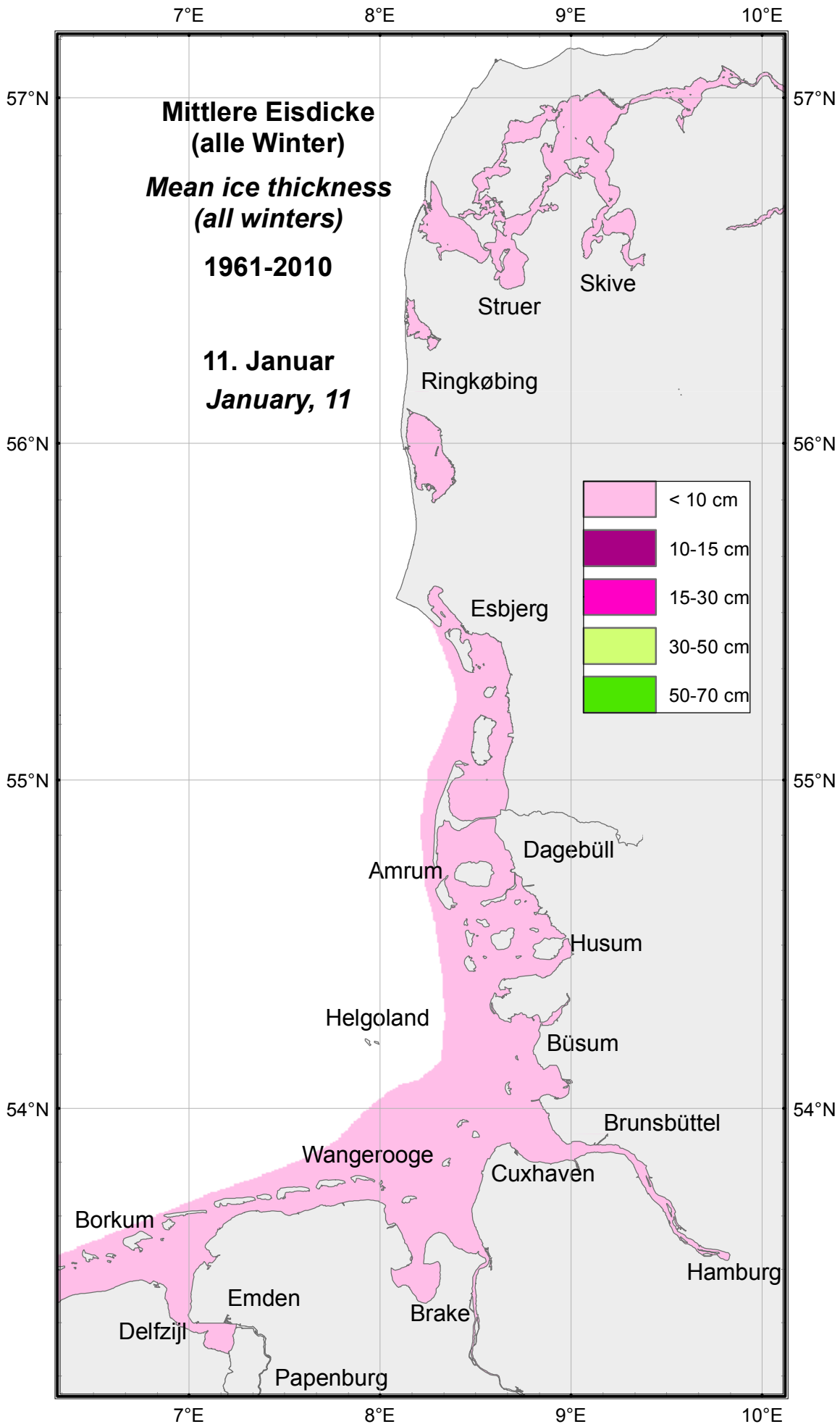
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	1	0.9	2.9	3.4	2.9	4.1	2.8	2.1	1.1	0
Dagebüller Fahrwasser	0.1	0	1	0.8	2.6	3.8	3	4	2.8	2.1	1.1	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	0.6	1.4	2.3	3.2	2.2	3	4.4	2	0.52	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	0.7	1.8	5.3	4.7	6	5.8	5.7	3.1	0.52	0
Husum, Hafen	0.1	0.1	0.9	2	4.1	4.4	3.1	3.5	3.5	2.5	0.9	0
Husum, Au	0.1	0.1	0.9	2.4	4.1	4.4	3.5	3.7	3.2	2.5	1.1	0
Nordstrand, Hever	0.1	0.1	1.7	1.8	4.8	4.4	3.7	4.1	4.4	3.1	1.1	0
Tönning, Hafen	0.2	0.8	2.5	3.7	8.6	8.8	9.6	7.6	8.4	7	4.8	2.8
Eiderdamm, Seegebiet	0.3	0.6	1.7	3.3	6.5	5.4	5.9	5.2	5.4	3.3	2.9	1.3
Büsum, Hafen	0	0.1	1.2	2.4	4.5	4.4	4.2	4.3	3.9	2.8	1	0.2
Büsum, Norderpiep	0	0.1	0.9	1.8	4.7	4.3	4	3.6	3.7	3	1.1	0
Büsum, Süderpiep	0	0.1	0.9	1.8	4.7	4.6	4	3.6	3.7	3	1.1	0
Hamburg-Landungsbrücken	0	0.3	1.2	1.9	4.4	4.9	4.8	3.4	2.9	1.7	0	0
Stadersand, Elbe	0	0.1	1	1.6	3.2	4.8	4.5	3.8	4.2	1.5	0.7	0
Glückstadt, Elbe	0	0.1	0.7	1.6	2.7	4.3	4.6	3.1	3	1.4	0.4	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	0.7	1.3	3.1	4.3	3.8	4.2	3.2	3.2	1	0.4
Cuxhaven, Elbe	0	0	0.6	1.2	4.5	5.2	3	3.8	4.2	3.1	0.4	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	0.7	0.6	3.7	5.2	2.7	3.4	3.9	2.1	0.4	0
Neuwerk, Elbe	0	0	0.8	0.7	3.3	5.1	3.2	2.3	4.2	1.7	0.1	0
Großer Vogelsand	0	0	0.4	0.4	2.8	4.1	2.5	2.2	2.8	1.8	0.1	0
Ansteuerungstonne Elbe	0	0	0	0.1	0.5	1.4	0.6	1	0.9	0.8	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	0.7	0	0.8	1.6	0.9	0.2	0

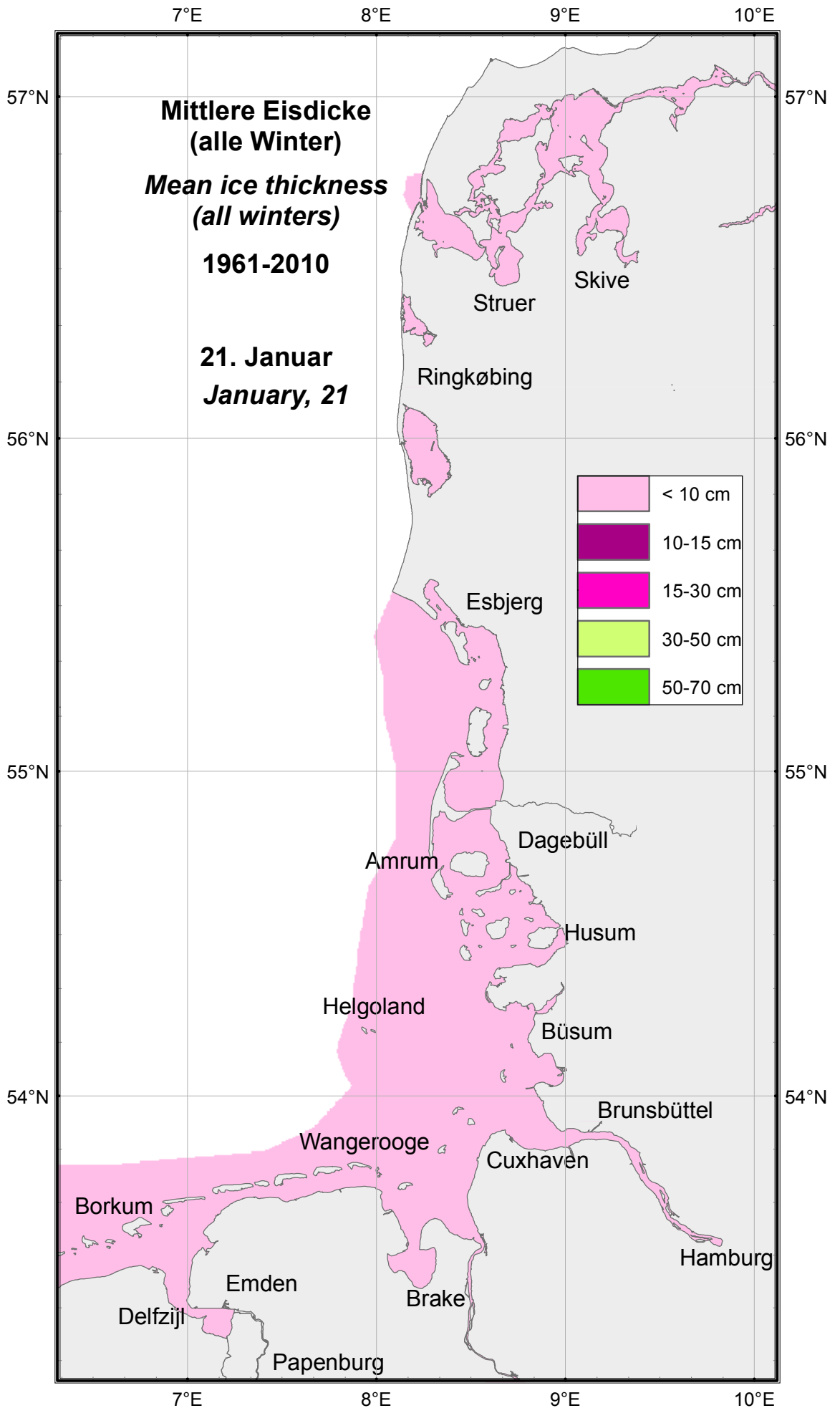
Tabelle 9: Mittlere Eisdicke (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 9: Mean ice thickness (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

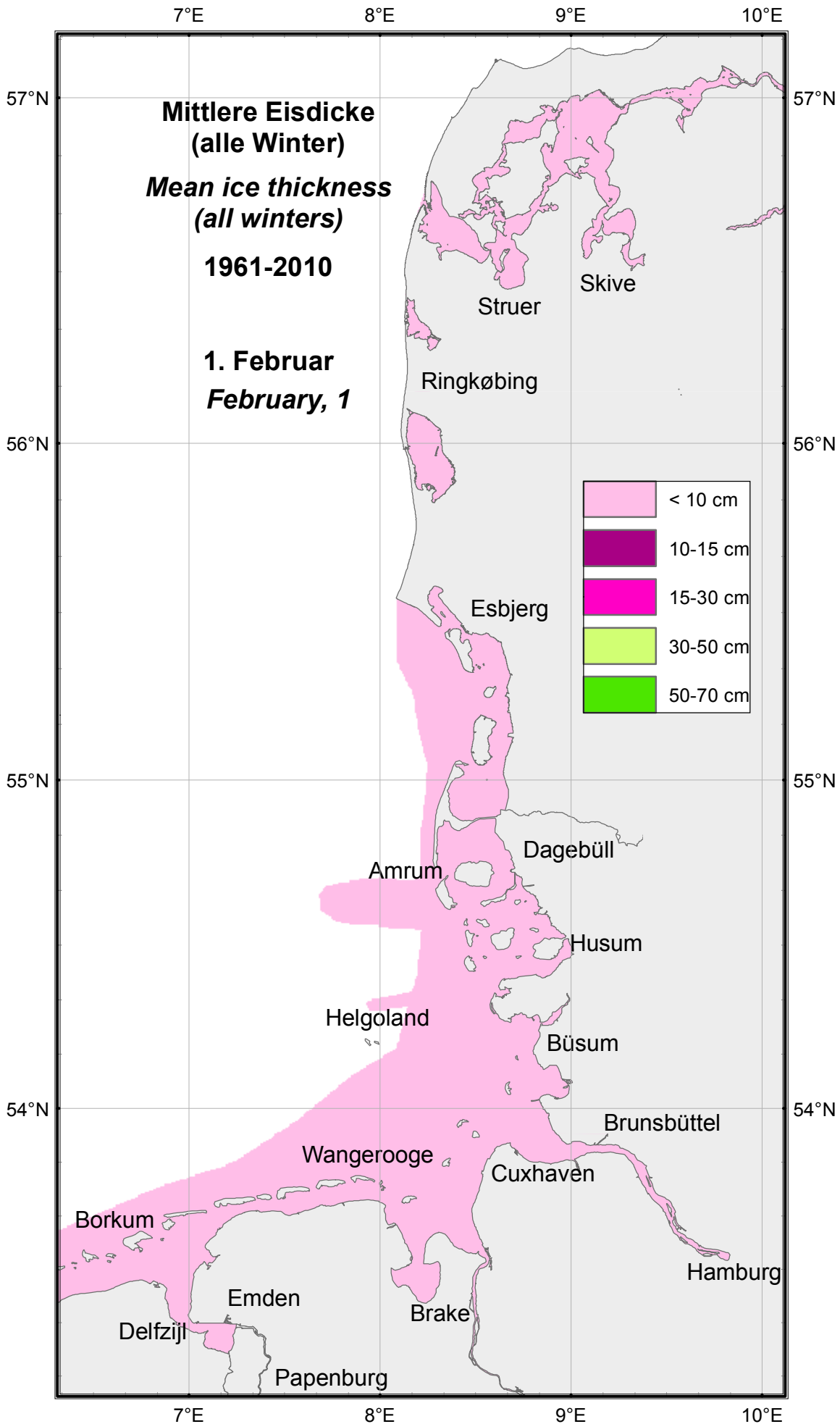
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	0.1	0.7	1.9	1.2	1	0.9	0.7	0.4	0	0
Brake, Weser	0	0	0.1	0.8	2.3	2.6	1.2	0.9	0.8	0.4	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	0.1	0.4	2.3	2.7	1.6	0.9	0.8	0.8	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	0.1	0.7	2.6	3.9	2.5	2.3	2.5	1.3	0.5	0
Alte Weser, FW	0	0	0	0.3	1.4	1.2	2	1.9	1.3	0.8	0.5	0.1
Neue Weser, FW	0	0	0	0.1	0.3	0.6	1.4	1.3	1.5	0.8	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	0.7	1.1	3.4	4.1	2.6	2.8	3.0.	2.4	0.4	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	0.1	0.6	1.5	3.4	2.3	2	3.1	1.8	0.1	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	0.1	0.2	0.9	1.7	1.5	1.3	2.7	1.3	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	0.4	1.4	2.9	3.7	2.3	2.4	5.7	2.2	0.5	0.3
Norderney, Watten	0.1	0.2	0.9	2.1	3	5.4	2.4	2.9	3.9	2	0.7	0
Norderney, Seegat	0.1	0.1	0.4	1.4	3	4.7	1.7	2.3	3	1.6	0.7	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	1.1	1.4	3.9	3.8	3.3	1.7	3.3	1.1	0.4	0
Borkum, Randzelgat	0	0	0.7	1.7	2.8	4	2.9	2	3.5	0.9	0.4	0
Borkum, Westerems	0	0	0.2	1	1.9	3.1	2.6	1.1	2.8	0.9	0.3	0

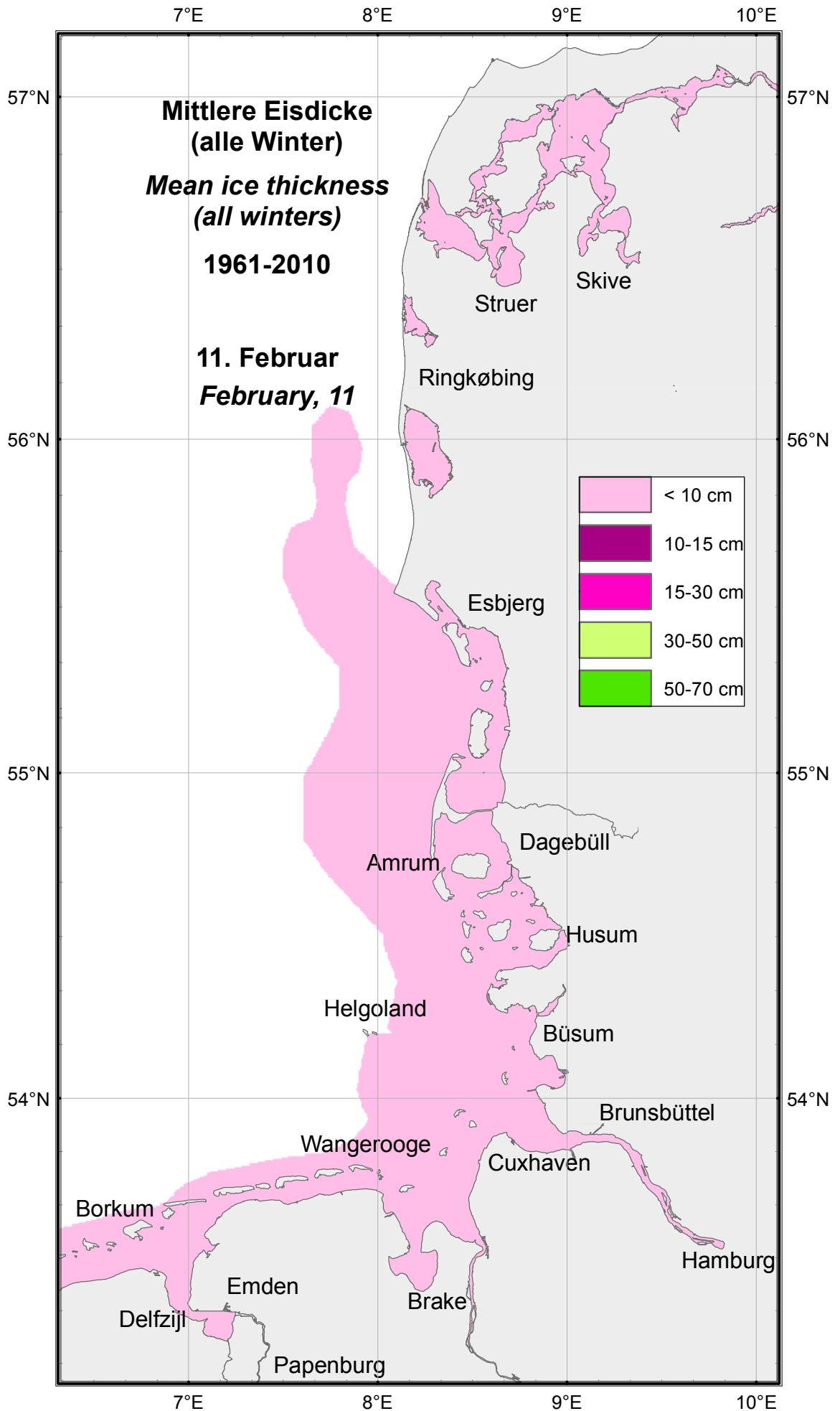
Tabelle 9: Mittlere Eisdicke (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 9: Mean ice thickness (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

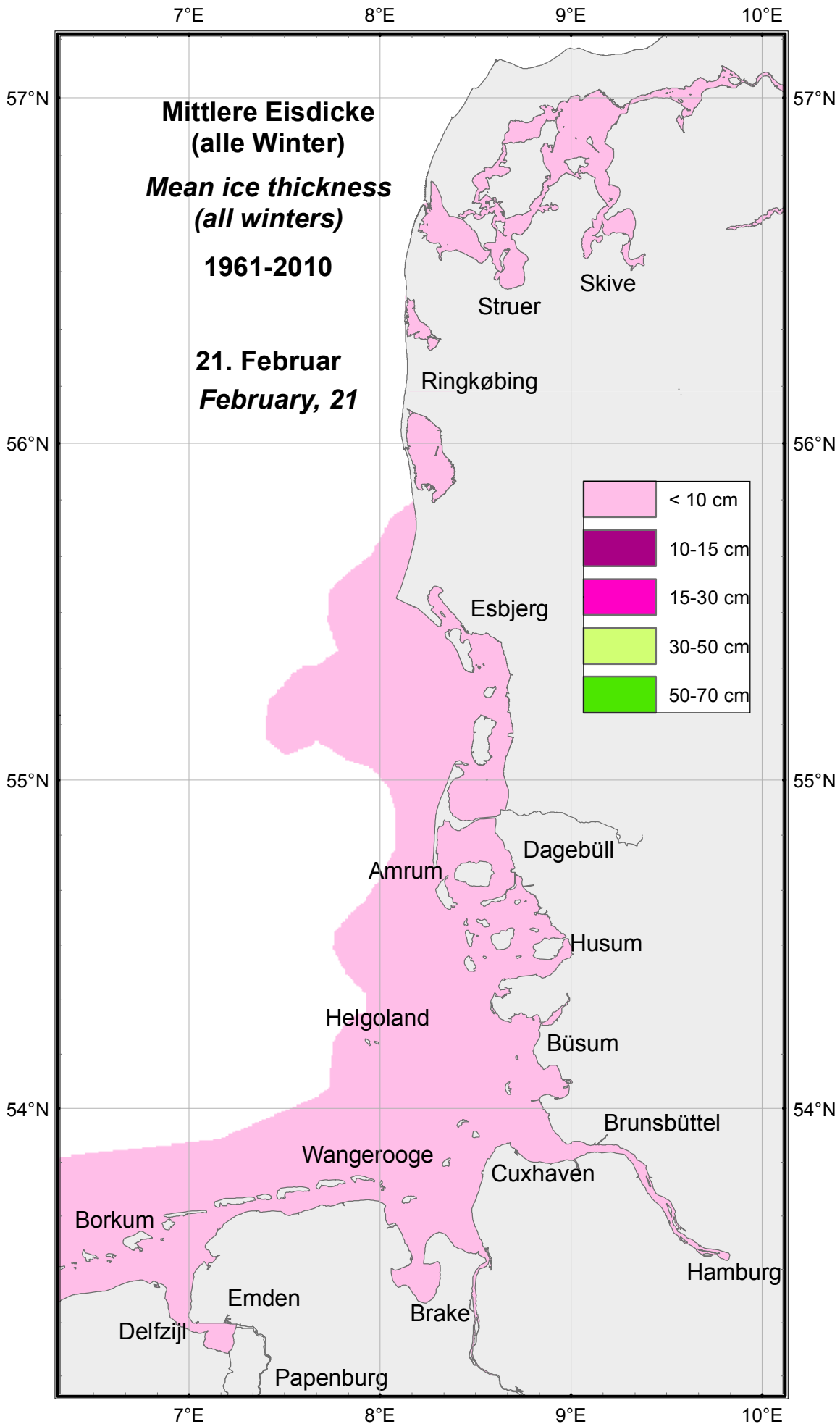


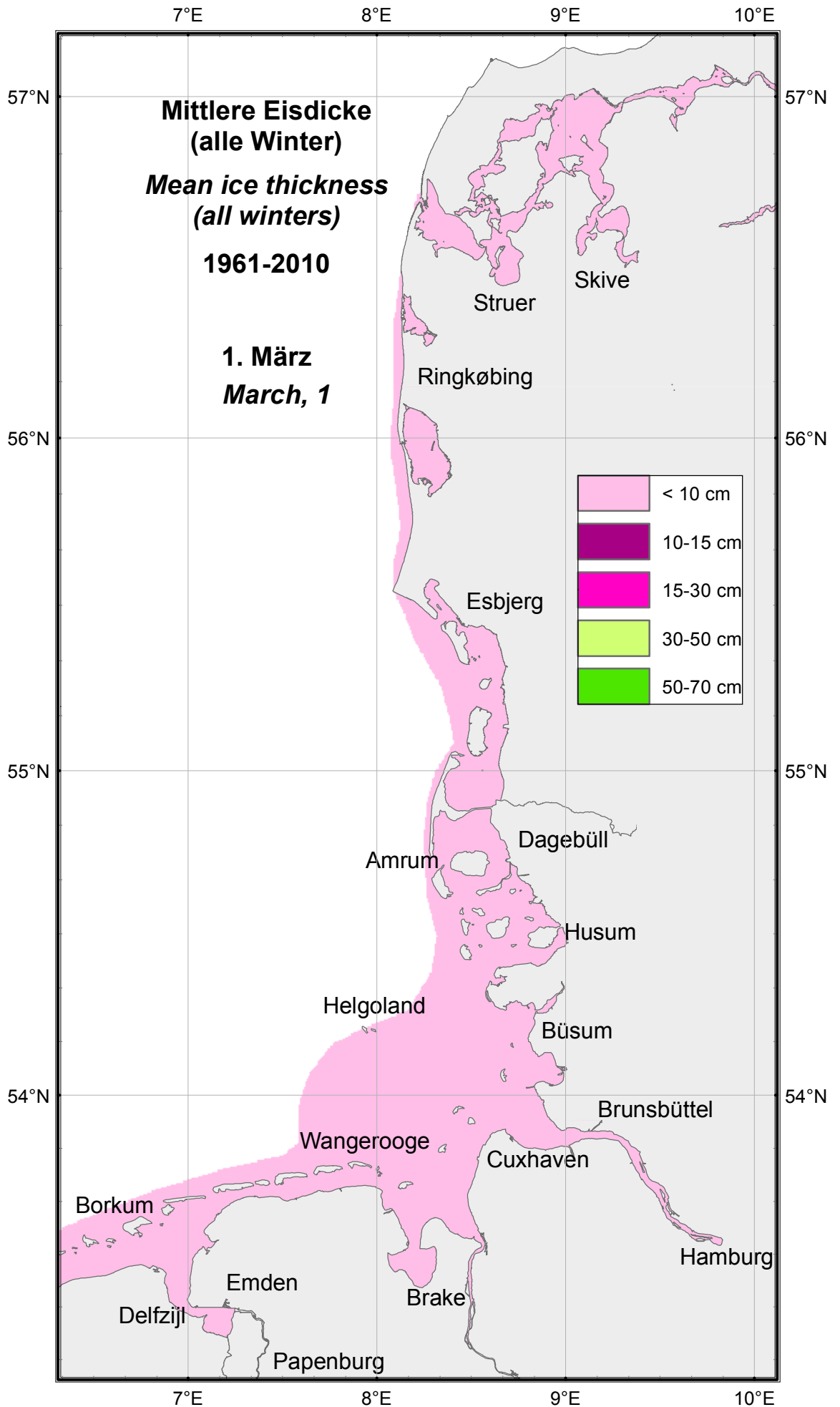


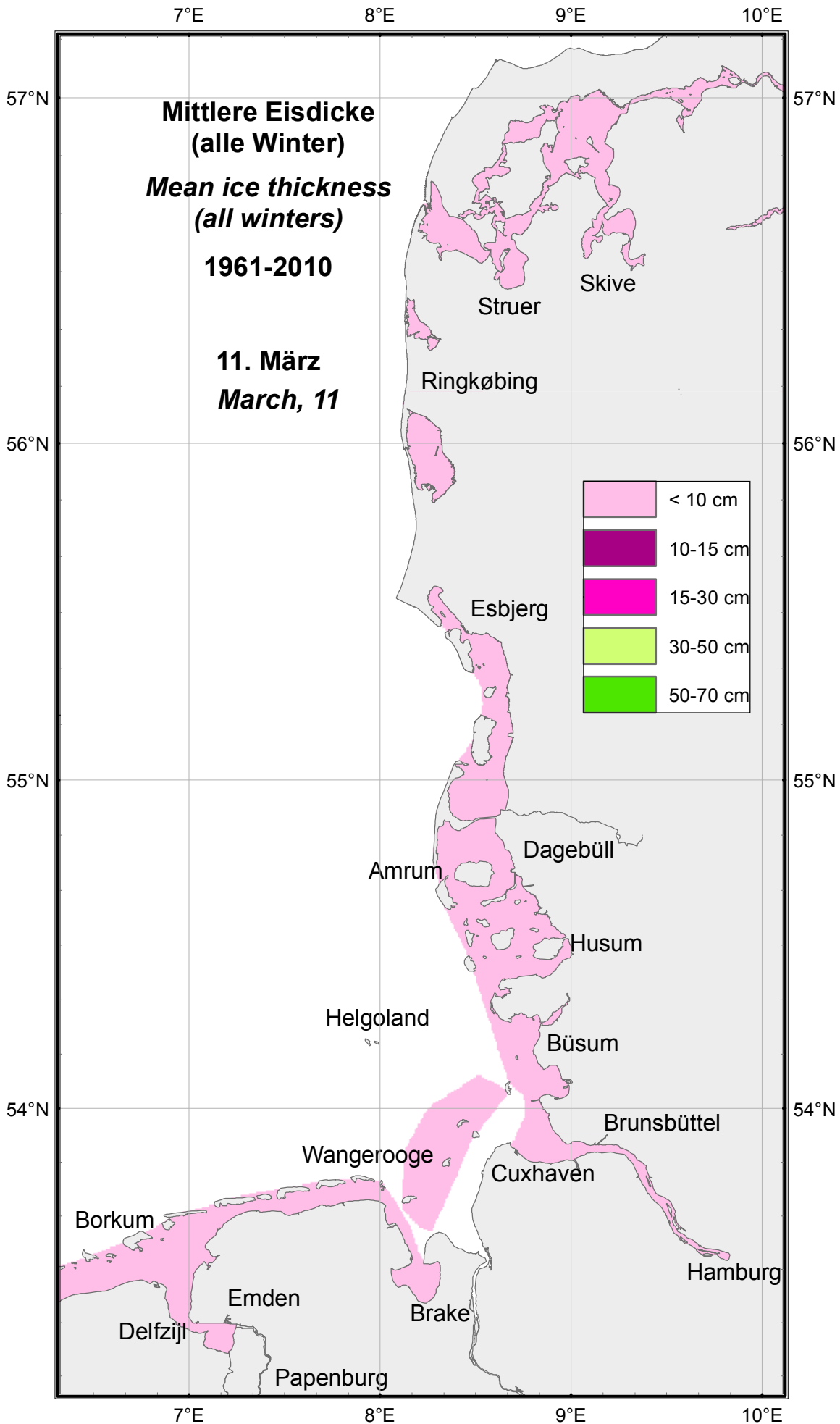


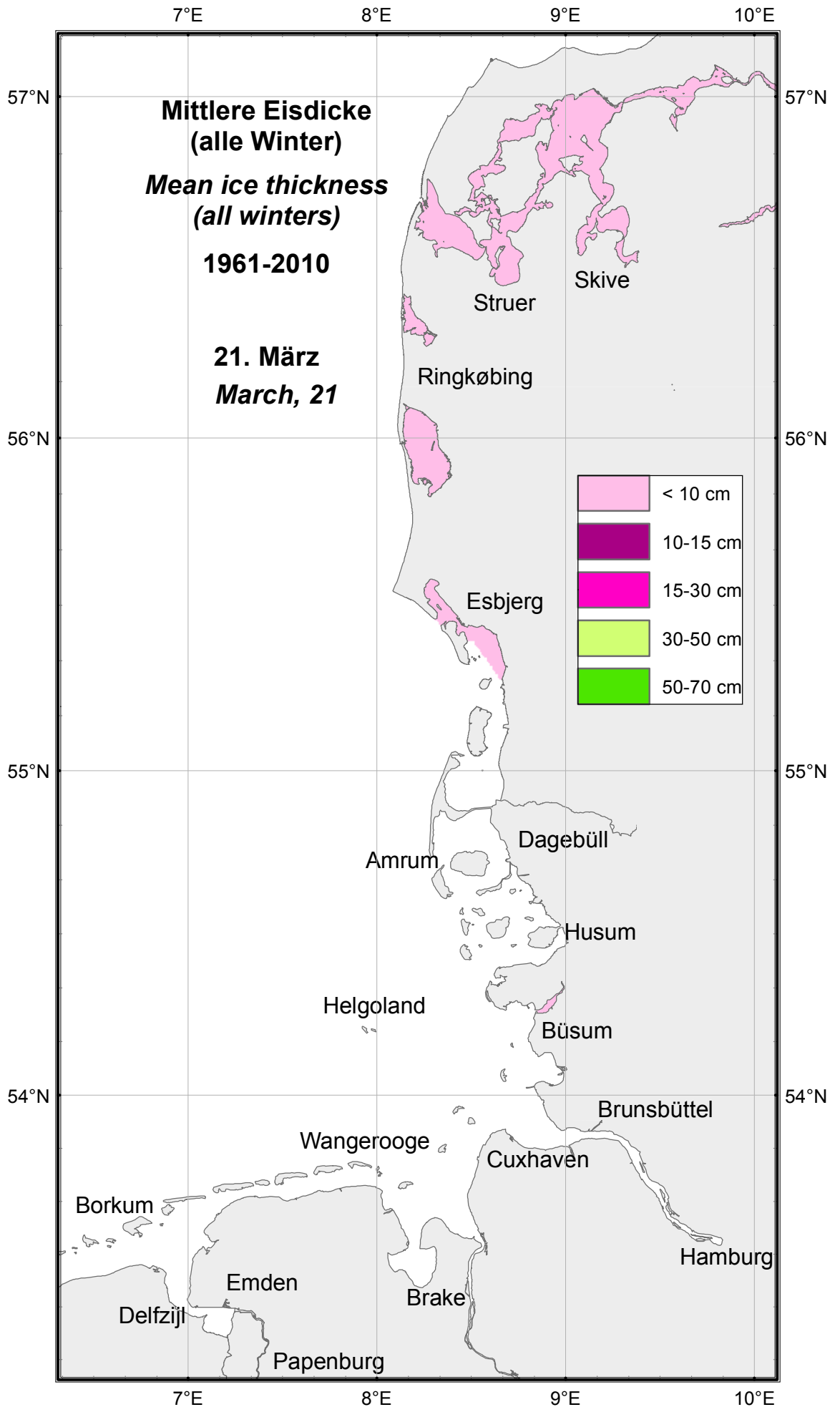










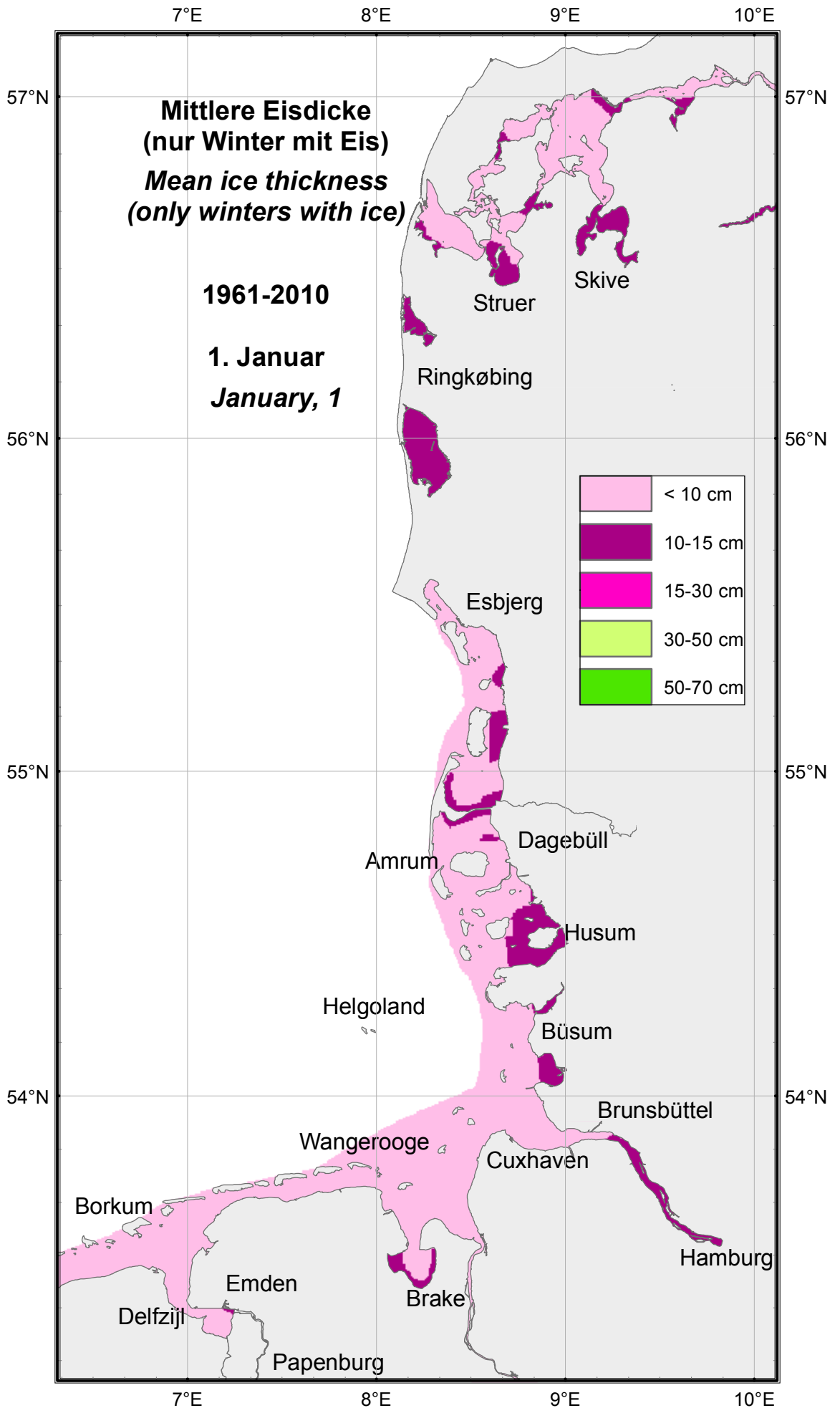


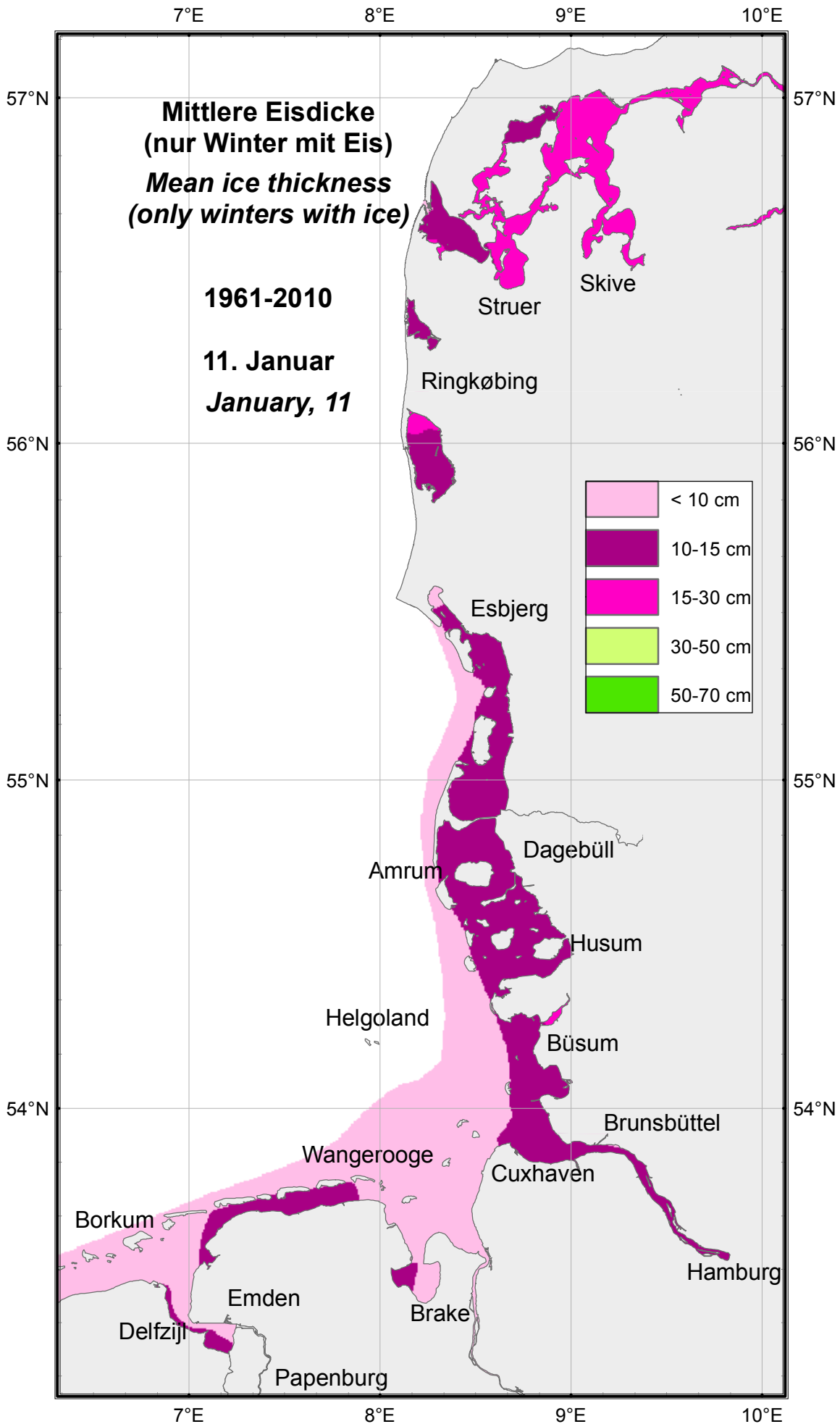
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	9.7	6.6	12	12.2	14.7	17.3	9.9	15	11	0
Dagebüller Fahrwasser	4	0	9.7	5.6	12.9	15.7	15.2	14.5	9.9	15	9.5	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	14	12.1	12.9	14.8	14	14.9	20.1	16.8	8.7	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	17.5	15.3	26.5	21.6	37.5	29.2	25.9	26.2	8.7	0
Husum, Hafen	3	1.5	5.7	7.7	12	13.7	14.2	16.1	13.4	17.6	11.4	0
Husum, Au	3	2.5	5.7	10.2	13.5	14.8	14.8	17	13.6	17.6	13.9	0
Nordstrand, Hever	2.5	2	17	11.3	17.1	1.83	20.8	17.1	18.2	26.2	19.2	0
Tönning, Hafen	3.8	3	10.4	11.6	19.5	20.9	26.7	22.4	22	32	26.6	27.8
Eiderdamm, Seegebiet	4.4	4	8	10.3	15.5	14.3	16.4	16.4	15.1	16.7	18.2	21.7
Büsum, Hafen	0	1.7	6.7	9.1	13.2	13.7	14.9	18.1	12.9	20.1	16.3	7.5
Büsum, Norderpiep	0	3.5	8.8	12.6	15.8	13.3	20.1	18.2	14.2	21.1	14.4	0
Büsum, Süderpiep	0	3.5	10.6	11.3	15.8	14.4	20.1	18.2	14.2	21	14.4	0
Hamburg-Landungsbrücken	5	6.5	8.6	8.8	13.8	12.8	17.1	17.1	13.1	21.9	0	0
Stadersand, Elbe	0	2.5	10.3	11.4	12.2	16	22.4	21.3	19.2	19.1	17.5	0
Glückstadt, Elbe	0	2.5	6.2	8.2	10.4	12.8	16.4	11.8	13.5	12.1	6.7	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	8.7	11.1	15.2	15.3	16.7	21	14.8	23.2	26.2	22.5
Cuxhaven, Elbe	0	0	10.8	12	20.4	21.9	25	23.7	21	25.8	10	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	18.7	7.1	20.6	21.9	27	24.3	21.9	21.5	10	0
Neuwerk, Elbe	0	0	21.2	7.2	18.2	23.2	27	16.8	26.6	29.2	7.5	0
Großer Vogelsand	0	0	22.5	7	23.3	25.6	25	27.5	23.7	30.8	7.5	0
Ansteuerungstonne Elbe	0	0	0	3.5	13.7	17.5	10	26.2	15.8	40	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	12.5	0	40	40	23.7	12.5	0

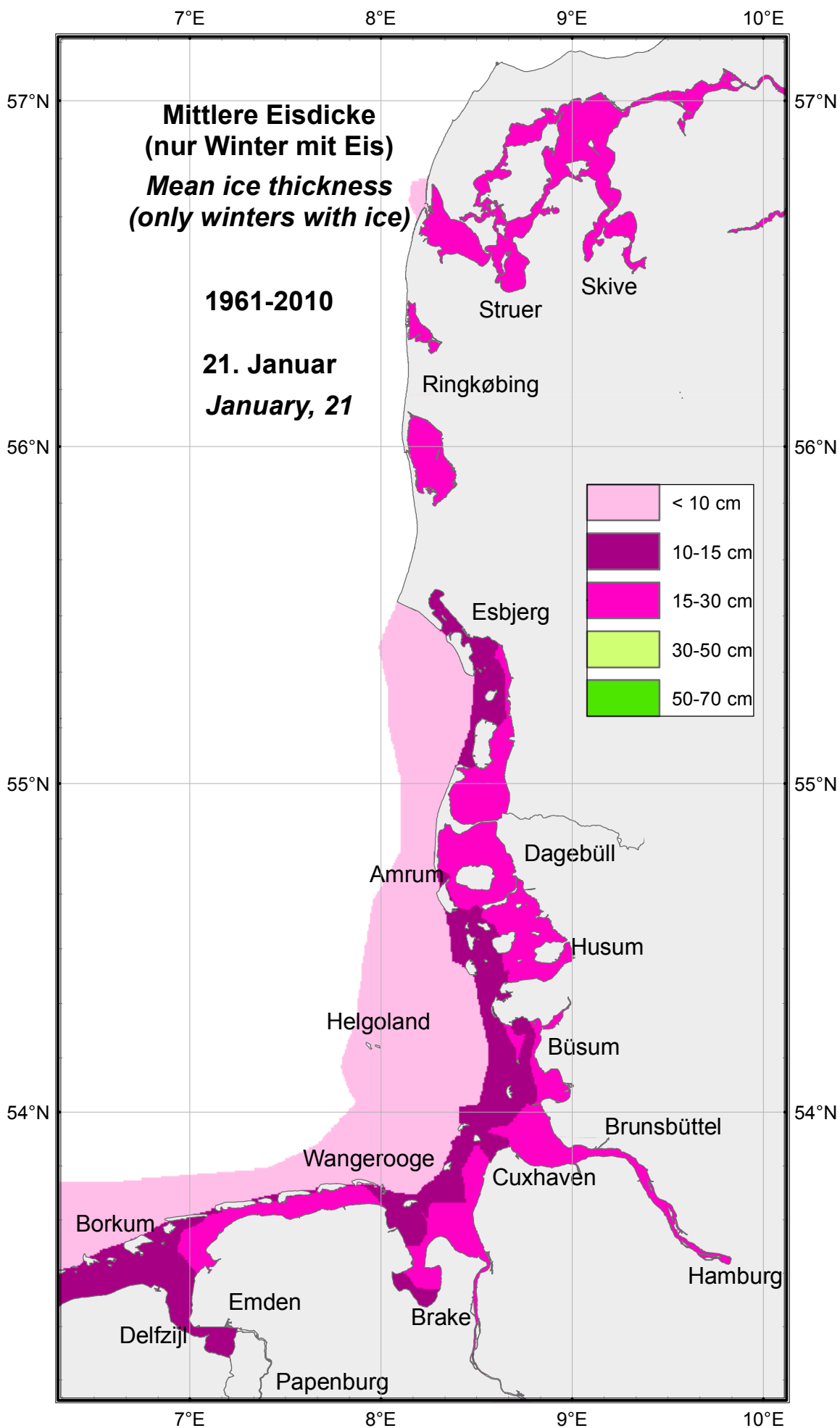
Tabelle 10: Mittlere Eisdicke (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 10: Mean ice thickness (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

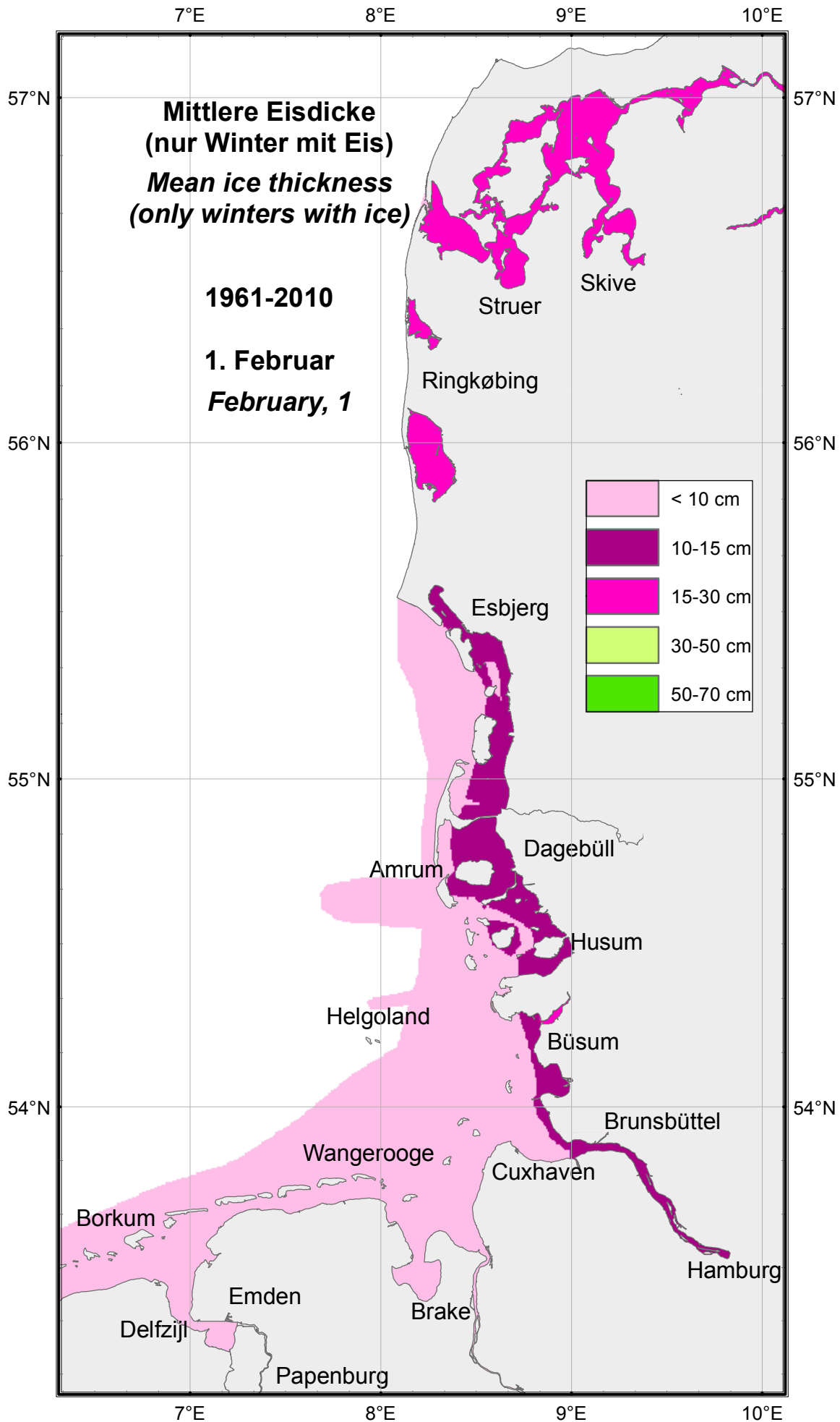
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	2.5	5.6	12	15	16.7	15.8	11.7	22.5	0	0
Brake, Weser	0	0	2.5	14.2	11.5	14.6	20	22.5	13.3	20	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	2.5	7.5	12.8	15	13.2	22.5	10.5	10.6	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	2.5	12.5	11.6	16.1	21.2	23.2	15.9	21.7	25	0
Alte Weser, FW	0	0	0	5.8	14	10.4	20	23.7	16.2	21.2	25	2.5
Neue Weser, FW	0	0	0	2.5	5.7	10.8	24.2	32.5	25.8	40	0	0
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	0	0	9.4	6.7	13	17.1	18.3	17.8	16.4	20	22.5	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	2.5	10	12.9	15.7	16.4	16.6	17.3	18.5	2.5	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	2.5	5	15.8	12.1	25.8	16.9	15.1	21.7	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	7.5	14.5	14.7	15.6	16.6	20.4	23.6	22	9.2	12.5
Norderney, Watten	5	5	11.2	14.9	15	22.6	17.4	16.4	17.9	20.5	11.7	0
Norderney, Seegat	5	2.5	6.7	16.9	15	23.4	17.5	19.2	18.7	20.6	11.7	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	10.9	8.5	14	17.3	20.9	10.9	15	14.4	6.7	0
Borkum, Randzelgat	0	0	8.7	12.5	17.8	20	24.2	12.8	14.6	11.9	6.7	0
Borkum, Westerems	0	0	4.2	10	16.2	17.5	21.7	9.2	14.2	15.8	5.8	0

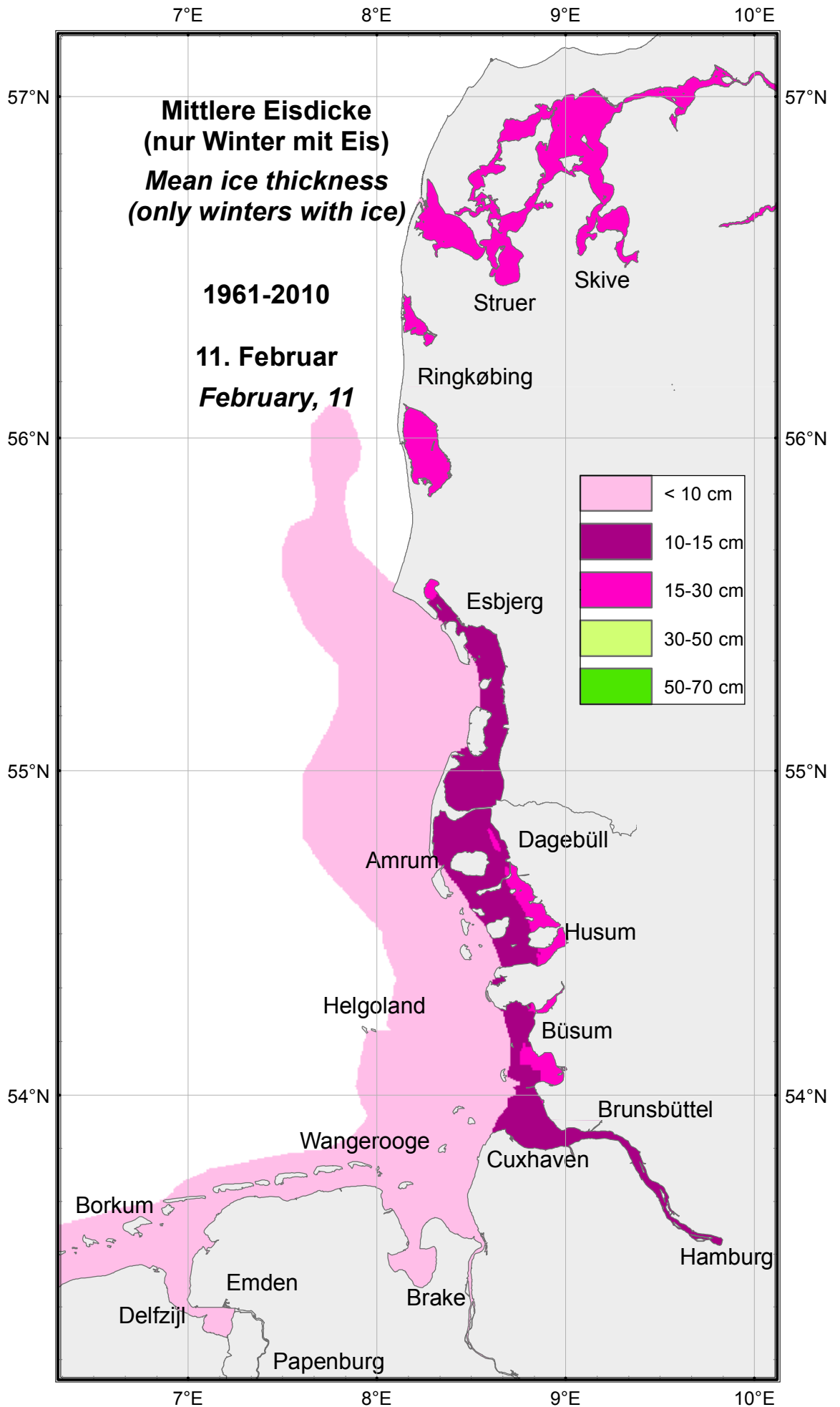
Tabelle 10: Mittlere Eisdicke (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 10: Mean ice thickness (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

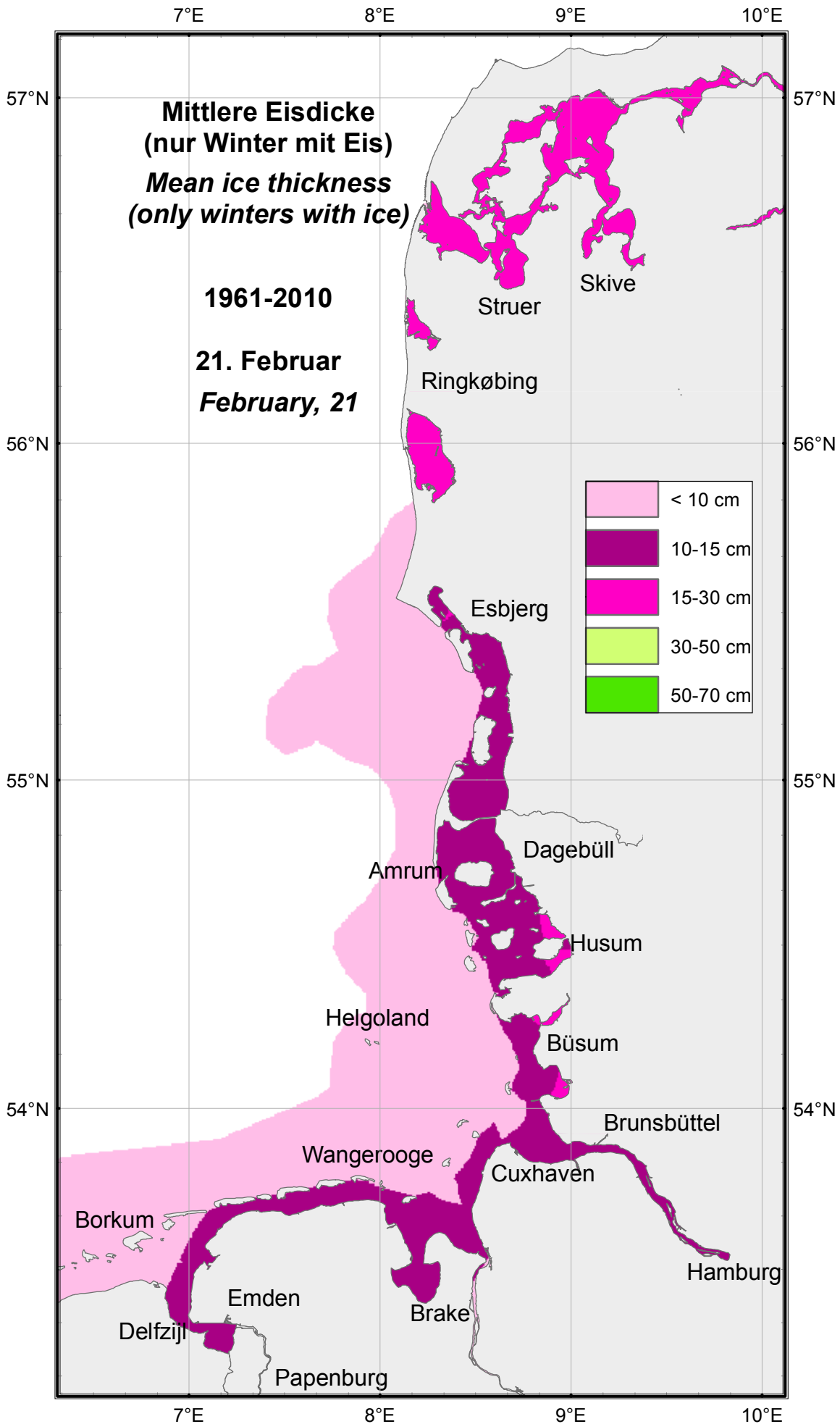


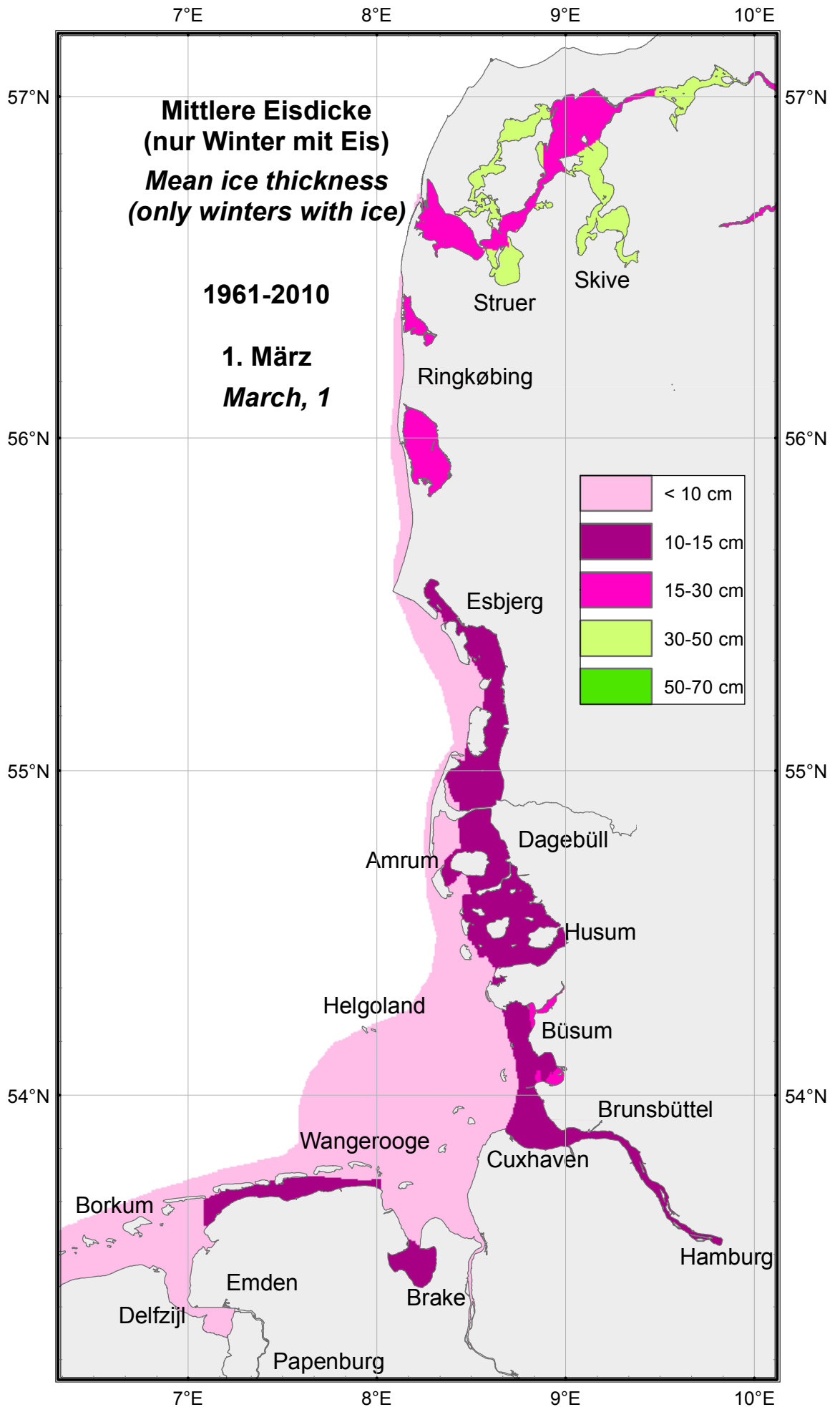


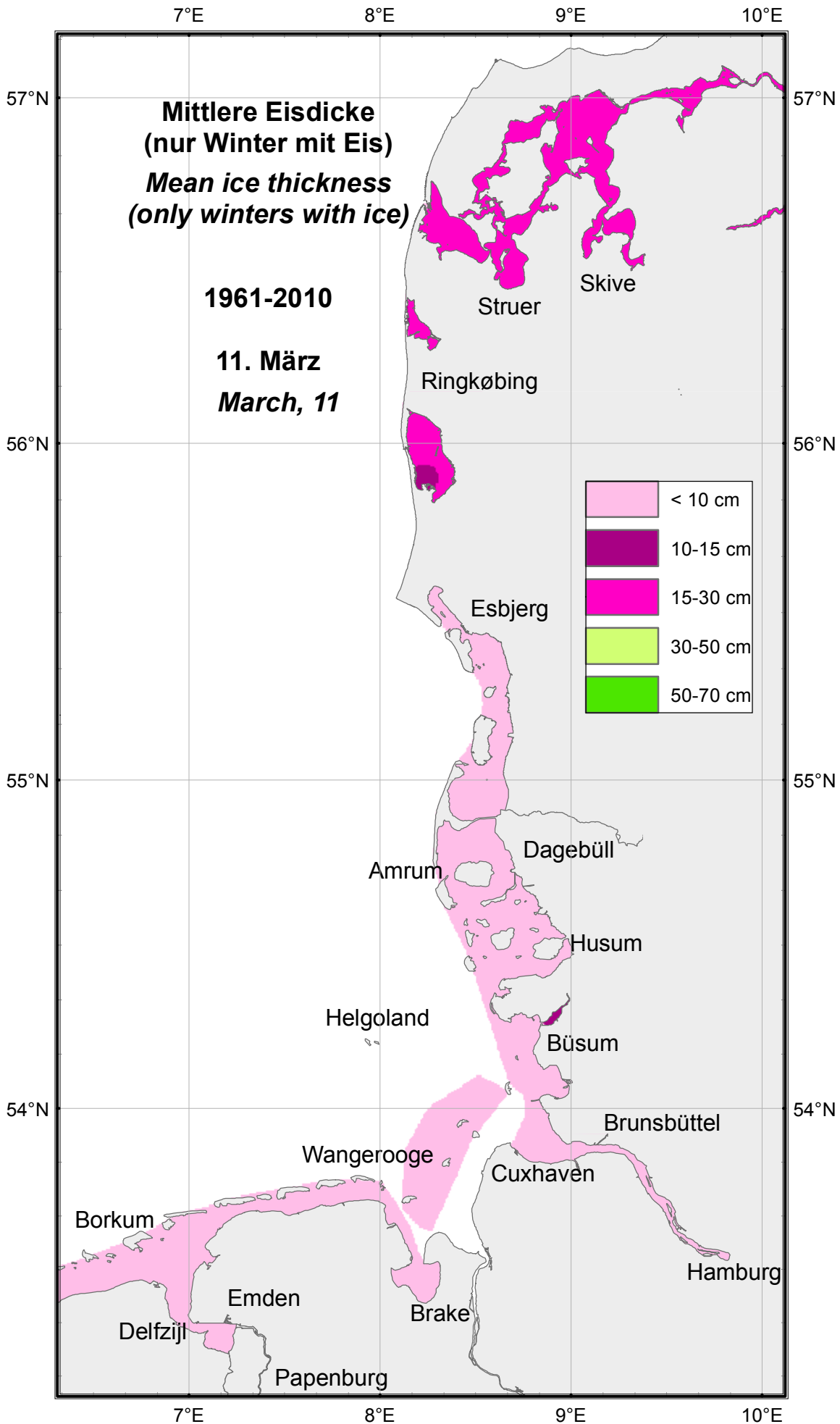


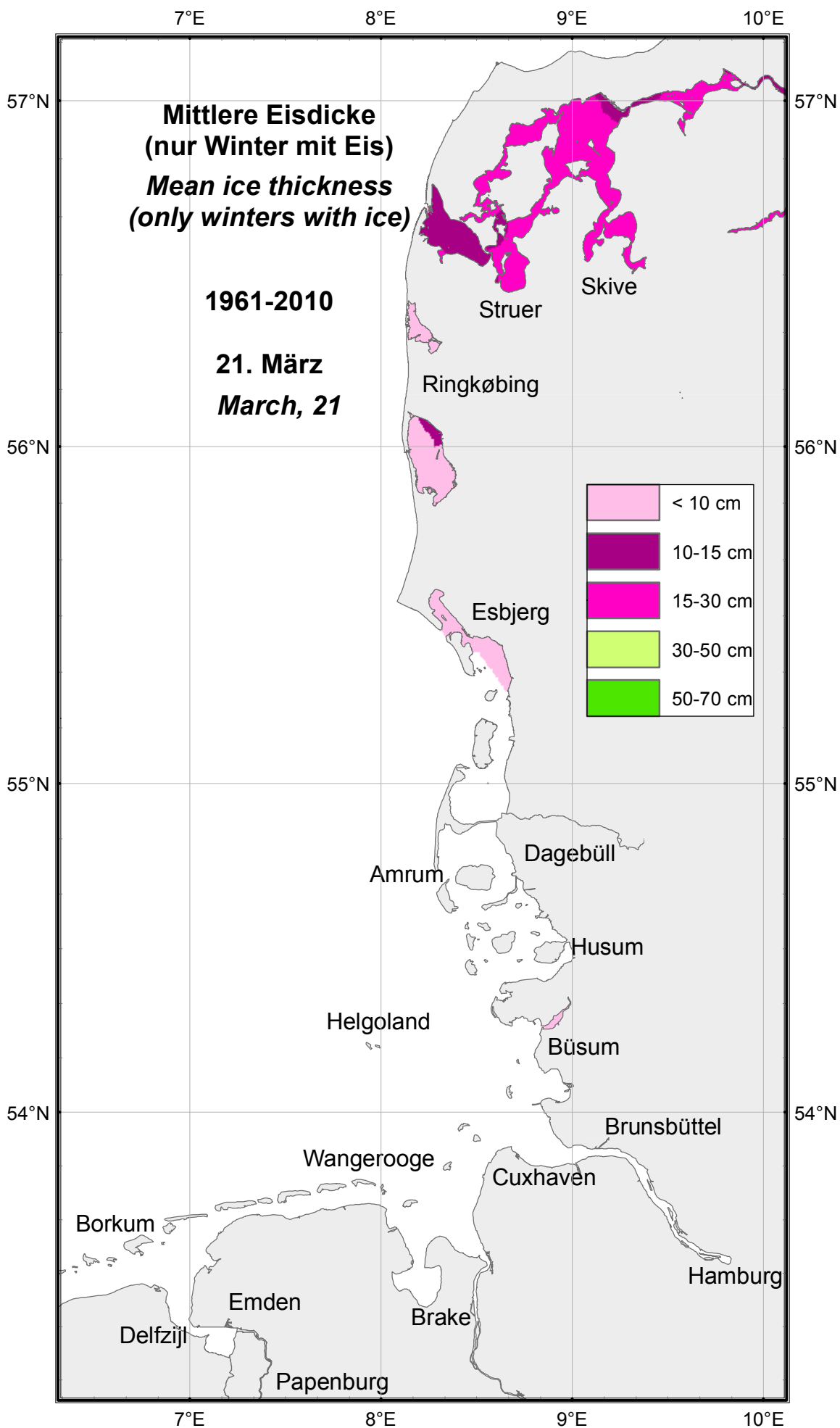










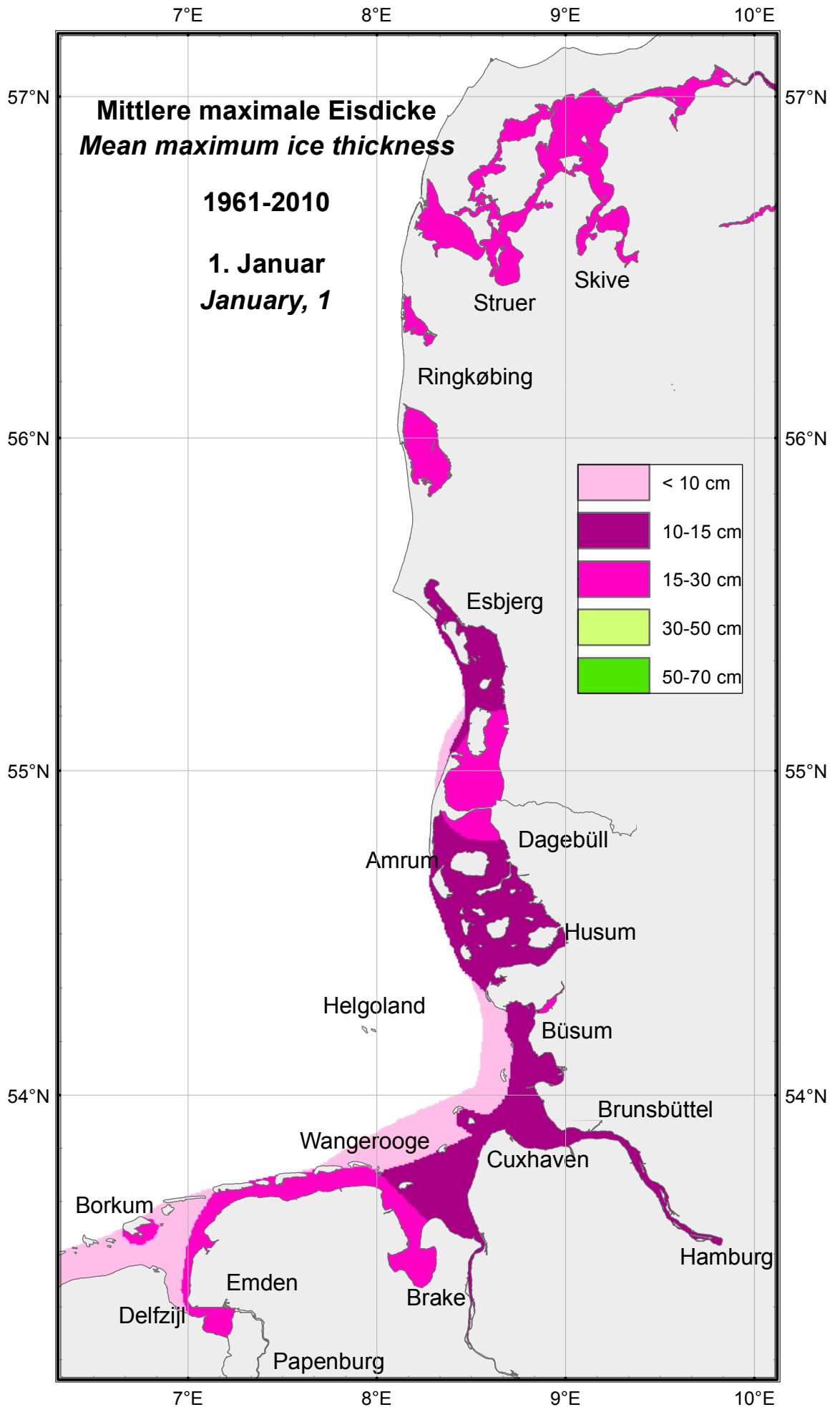


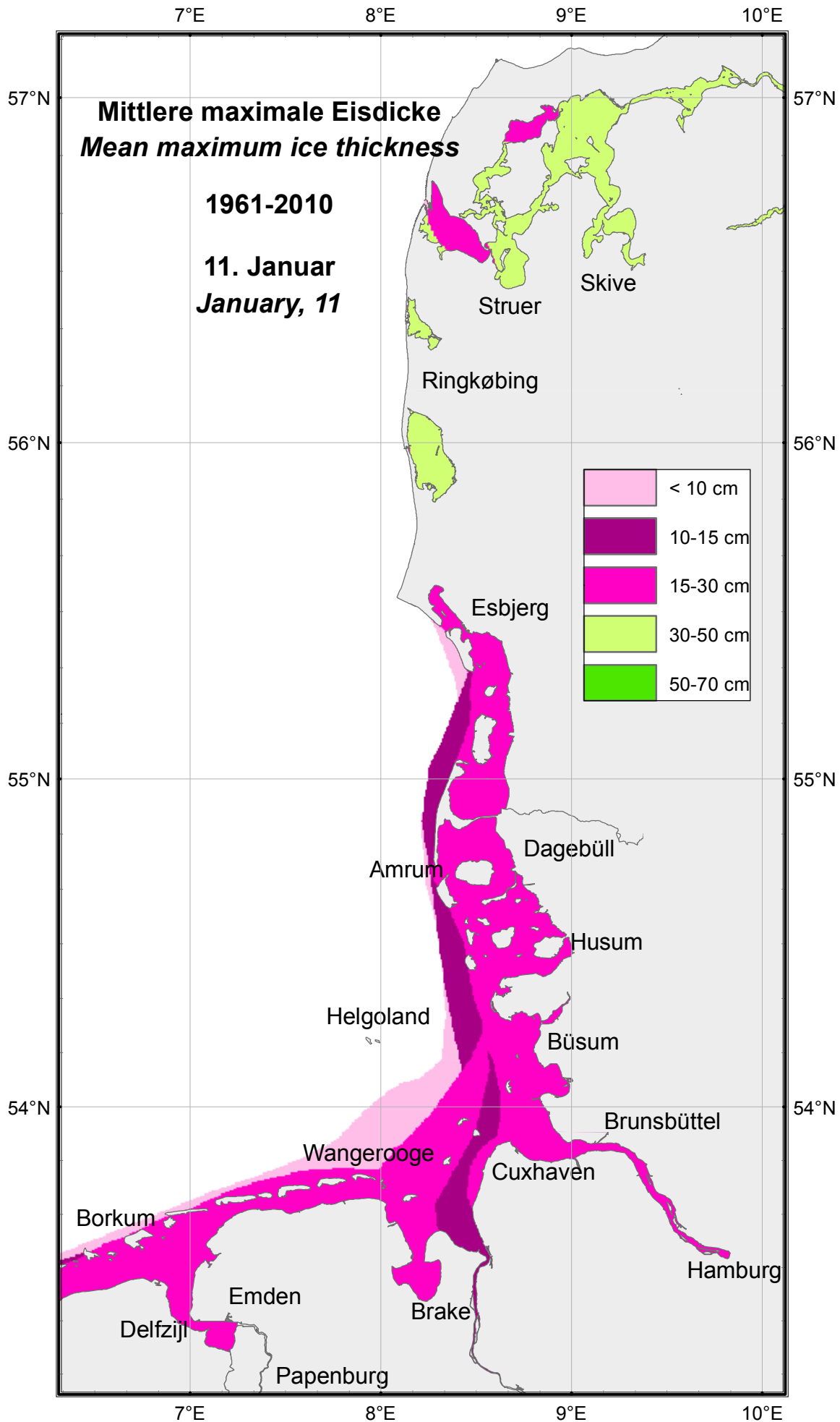
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Dagebüll, Hafen	0	0	30	15	40	50	40	35	25	25	25	0
Dagebüller Fahrwasser	5	0	30	15	40	50	40	40	25	25	15	0
Wyk auf Föhr, Hafen	0	0	30	30	30	30	30	40	30	25	10	0
Wyk auf Föhr, Norderaue	0	0	30	60	50	50	45	45	60	50	0	0
Husum, Hafen	5	5	30	20	35	40	40	35	35	35	30	0
Husum, Au	5	5	30	30	35	40	35	35	35	35	40	0
Nordstrand, Hever	5	5	30	30	35	35	45	40	40	35	40	0
Tönning, Hafen	8	12	30	20	50	50	45	60	60	35	60	40
Eiderdamm, Seegebiet	10	10	20	30	50	60	30	60	60	20	60	40
Büsum, Hafen	0	5	30	25	30	32	40	40	40	40	25	10
Büsum, Norderpiep	0	5	25	25	40	32	40	40	40	40	25	0
Büsum, Süderpiep	0	5	25	25	40	40	40	40	40	40	25	0
Hamburg-Landungsbrücken	5	10	30	15	30	40	40	40	40	40	0	0
Stadersand, Elbe	0	5	30	30	30	40	45	60	60	35	25	0
Glückstadt, Elbe	0	5	15	30	25	50	50	30	30	25	10	0
Brunsbüttel, Elbe	0	0	15	30	30	40	35	40	40	40	40	30
Cuxhaven, Elbe	0	0	30	30	50	60	40	40	40	50	15	0
Cuxhaven – Neuwerk	0	0	30	10	30	60	40	40	50	50	15	0
Neuwerk, Elbe	0	0	30	10	50	60	40	40	50	50	10	0
Großer Vogelsand	0	0	30	10	25	60	30	50	50	50	10	0
Ansteuerungstone Elbe	0	0	0	5	30	30	25	30	20	40	0	0
Helgoland, Hafen und Einläufe	0	0	0	0	0	20	0	40	40	40	15	0

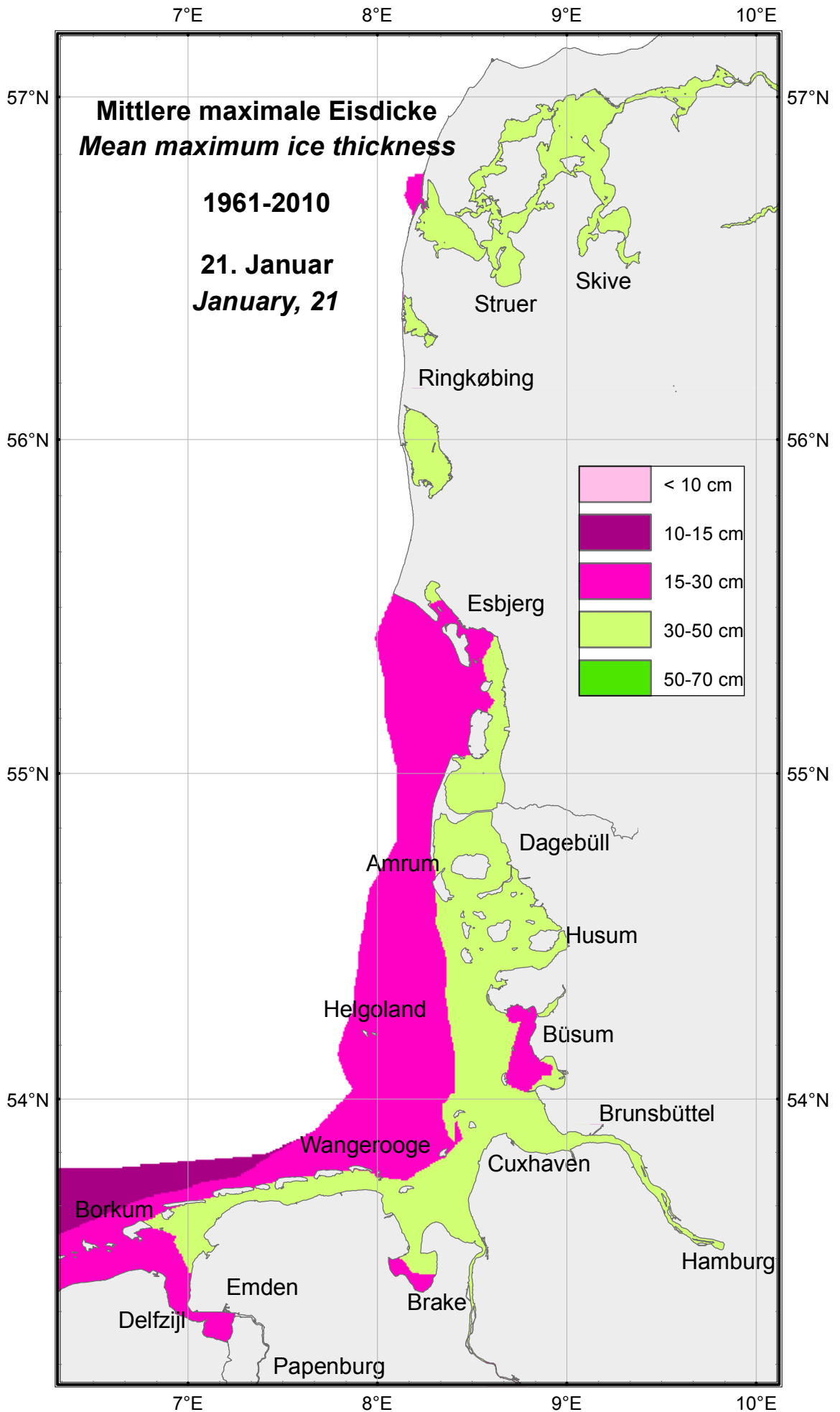
Tabelle 11: Mittlere maximale Eisdicke an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010
 Table 11: Mean maximum ice thickness on the German North Sea coast in the period 1961–2010

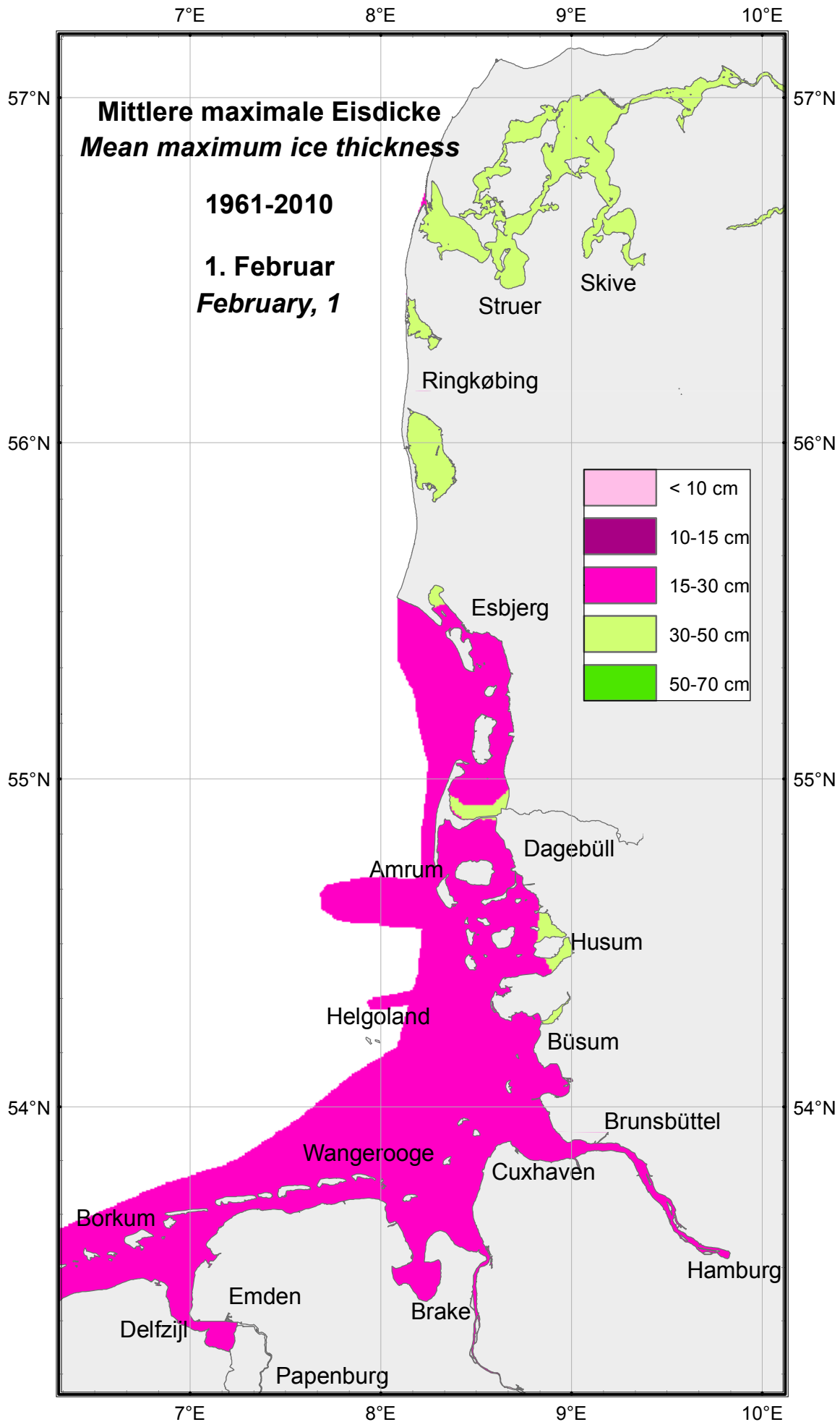
Eisdicke in cm Ice thickness in cm 1961–2010	01.12.	11.12.	21.12.	01.01.	11.01.	21.01.	01.02.	11.02.	21.02.	01.03.	11.03.	21.03.
Bremen, Weser	0	0	5	15	25	30	30	30	25	25	0	0
Brake, Weser	0	0	5	15	25	30	30	25	20	20	0	0
Bremerhaven, Weser	0	0	5	10	25	30	25	25	20	25	0	0
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW	0	0	5	25	40	50	55	40	50	60	25	0
Alte Weser, FW	0	0	0	10	25	15	40	40	40	40	0	5
Neue Weser, FW	0	0	0	5	12	25	40	40	40	40	25	0
Wilhelmshaven, Tankeriöschbr.	0	0	15	10	30	40	40	40	30	60	25	0
Schillig, Jadegebiet	0	0	5	15	25	35	40	35	35	35	5	0
Wangerooger Fahrwasser	0	0	5	10	25	25	40	40	25	35	0	0
Wangerooge, Watten	0	0	10	30	40	40	40	40	60	40	15	15
Norderney, Watten	5	10	30	35	25	50	35	35	40	25	20	0
Norderney, Seegat	5	5	20	30	25	40	35	35	40	25	20	0
Ems, Emden – Randzelgat	0	0	30	20	40	35	40	20	40	20	15	0
Borkum, Randzelgat	0	0	20	30	35	35	45	20	40	20	15	0
Borkum, Westerems	0	0	15	30	25	30	40	20	40	30	15	0

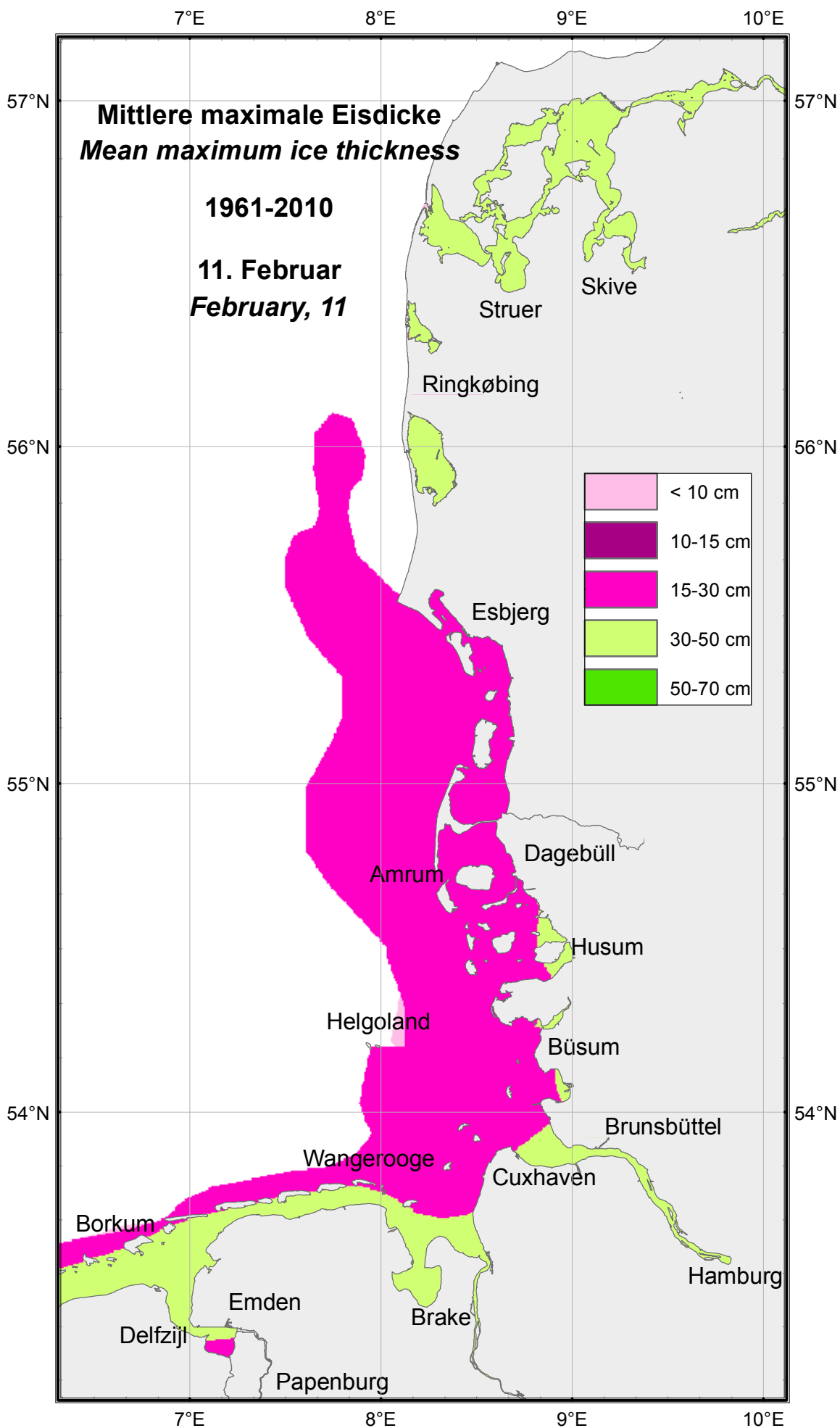
Tabelle 11: Mittlere maximale Eisdicke an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010 (Fortsetzung)
 Table 11: Mean maximum ice thickness on the German North Sea coast in the period 1961–2010 (continued)

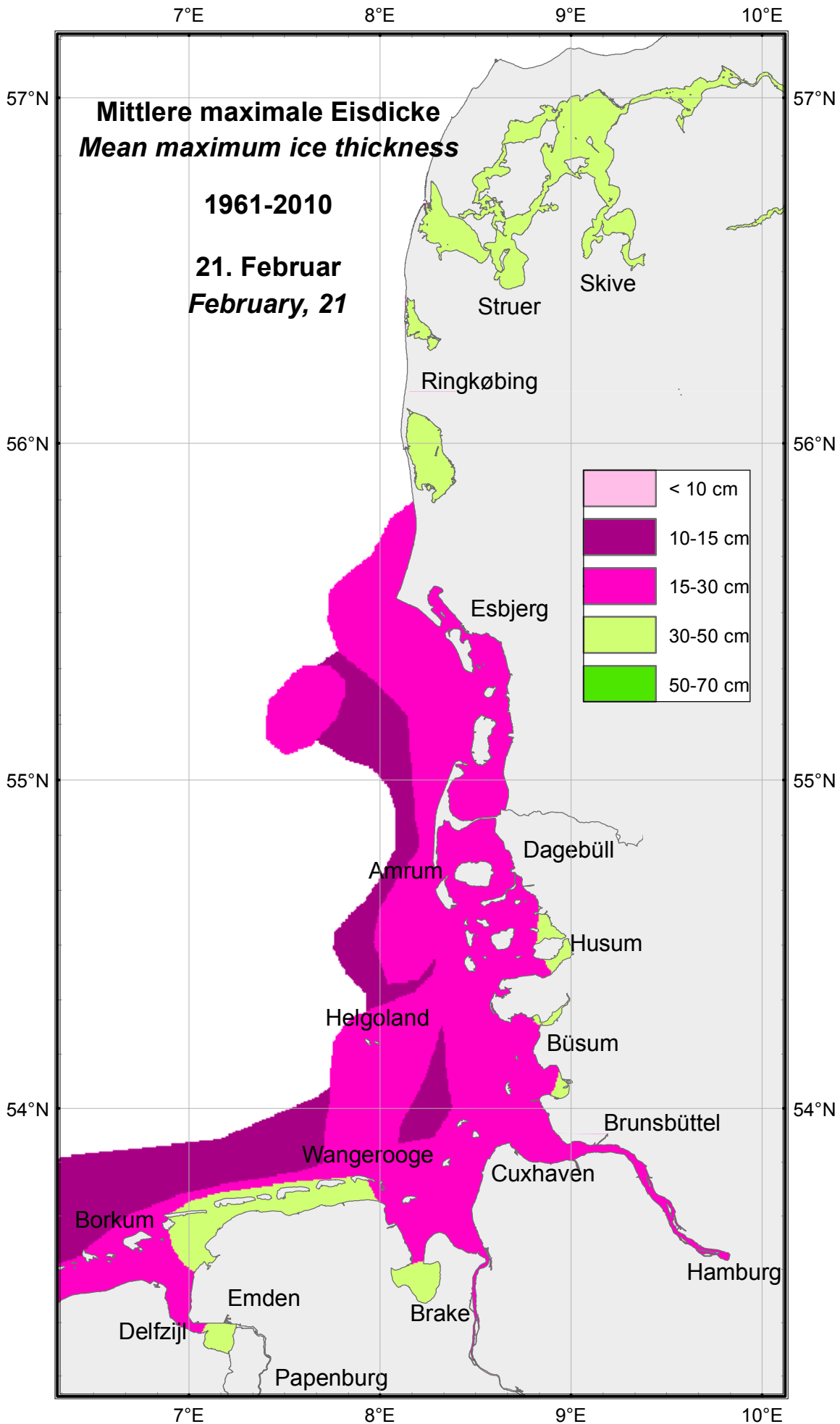


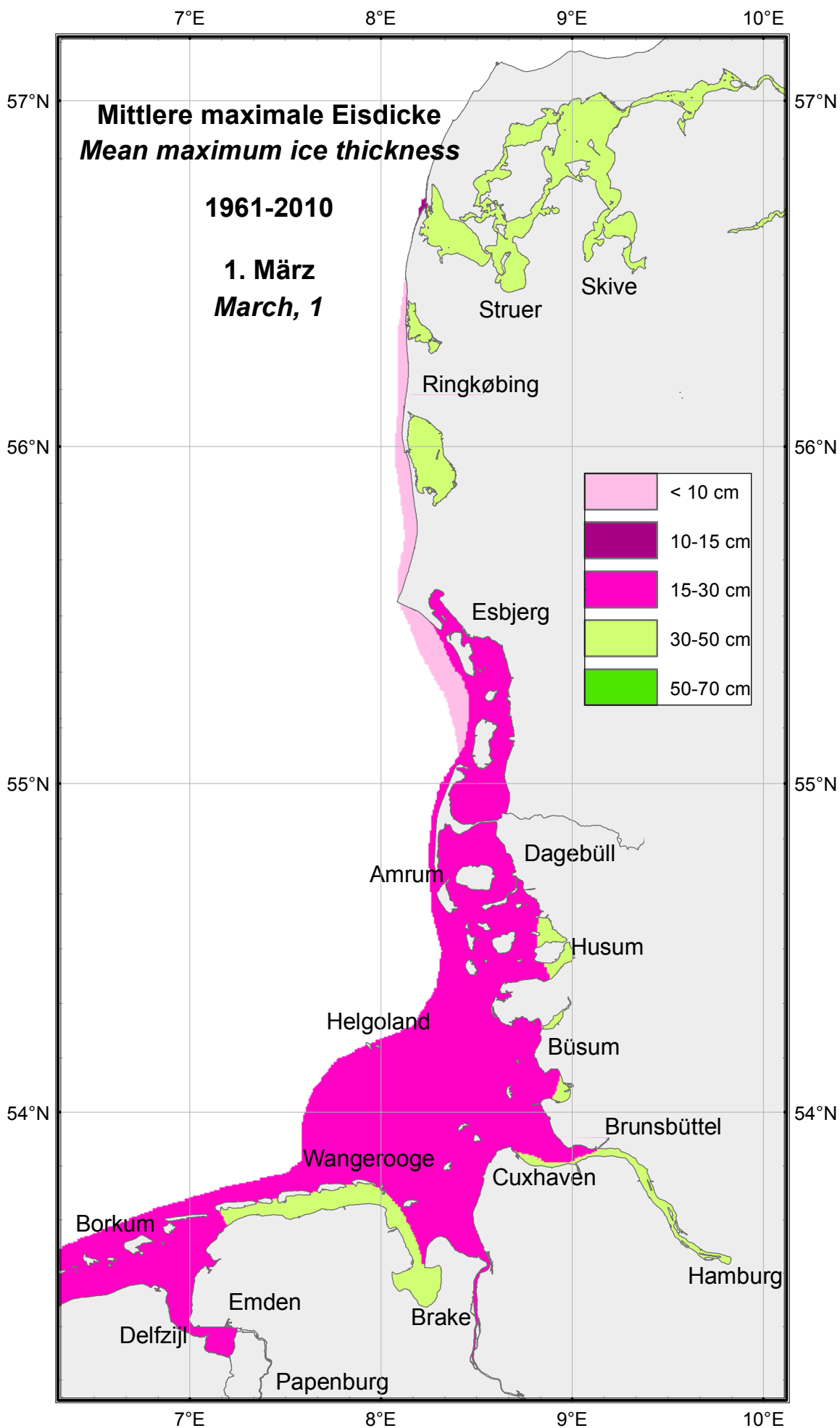


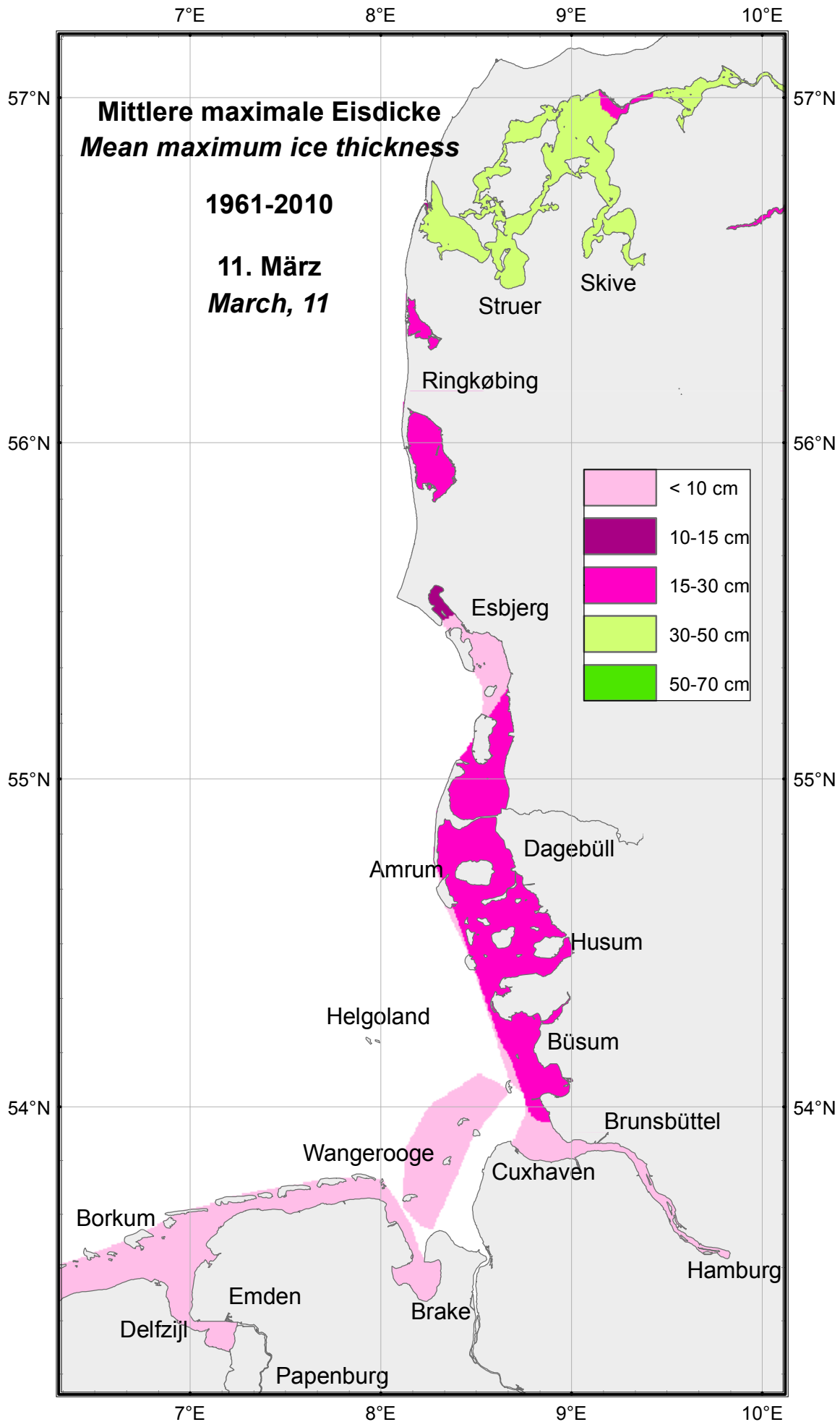


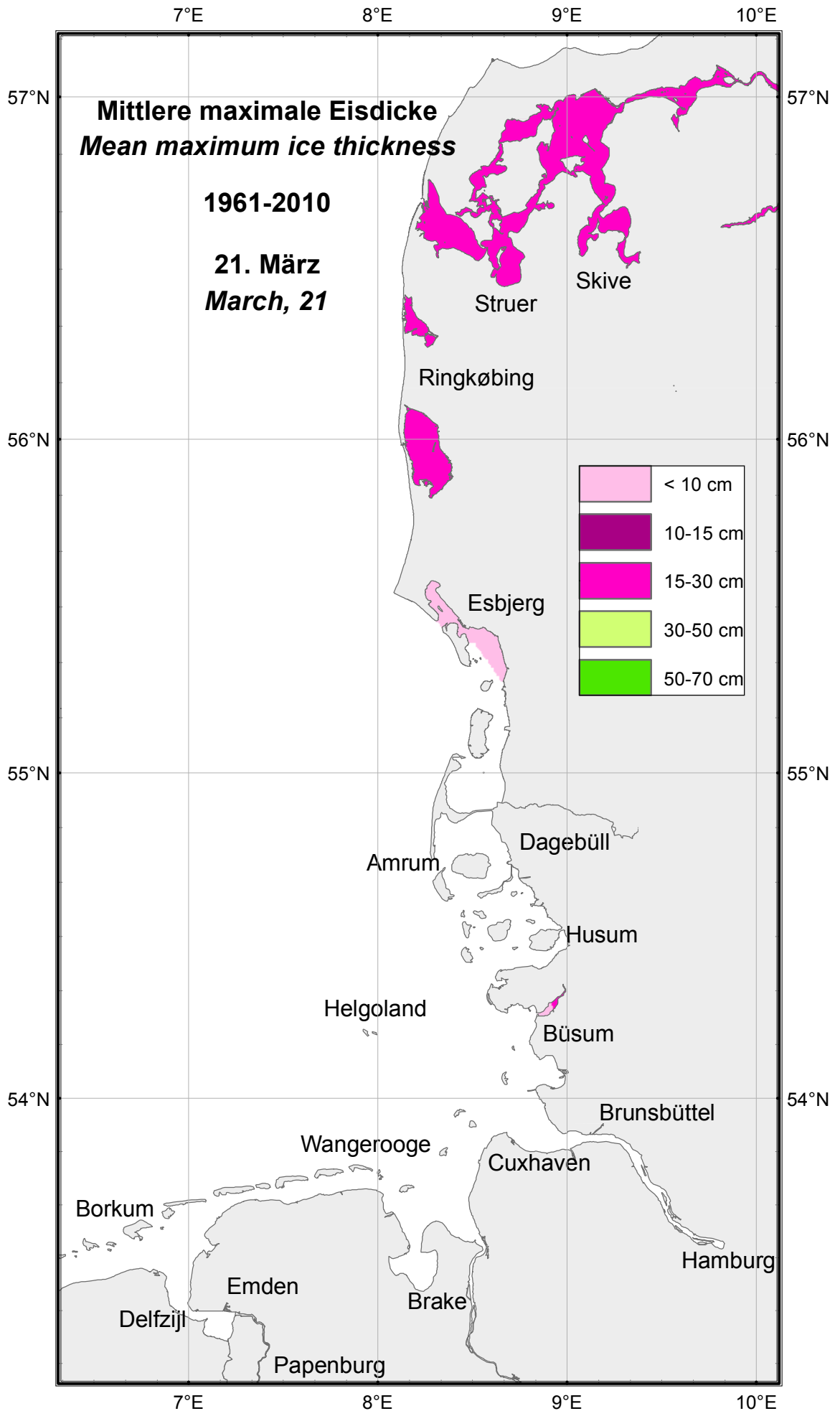


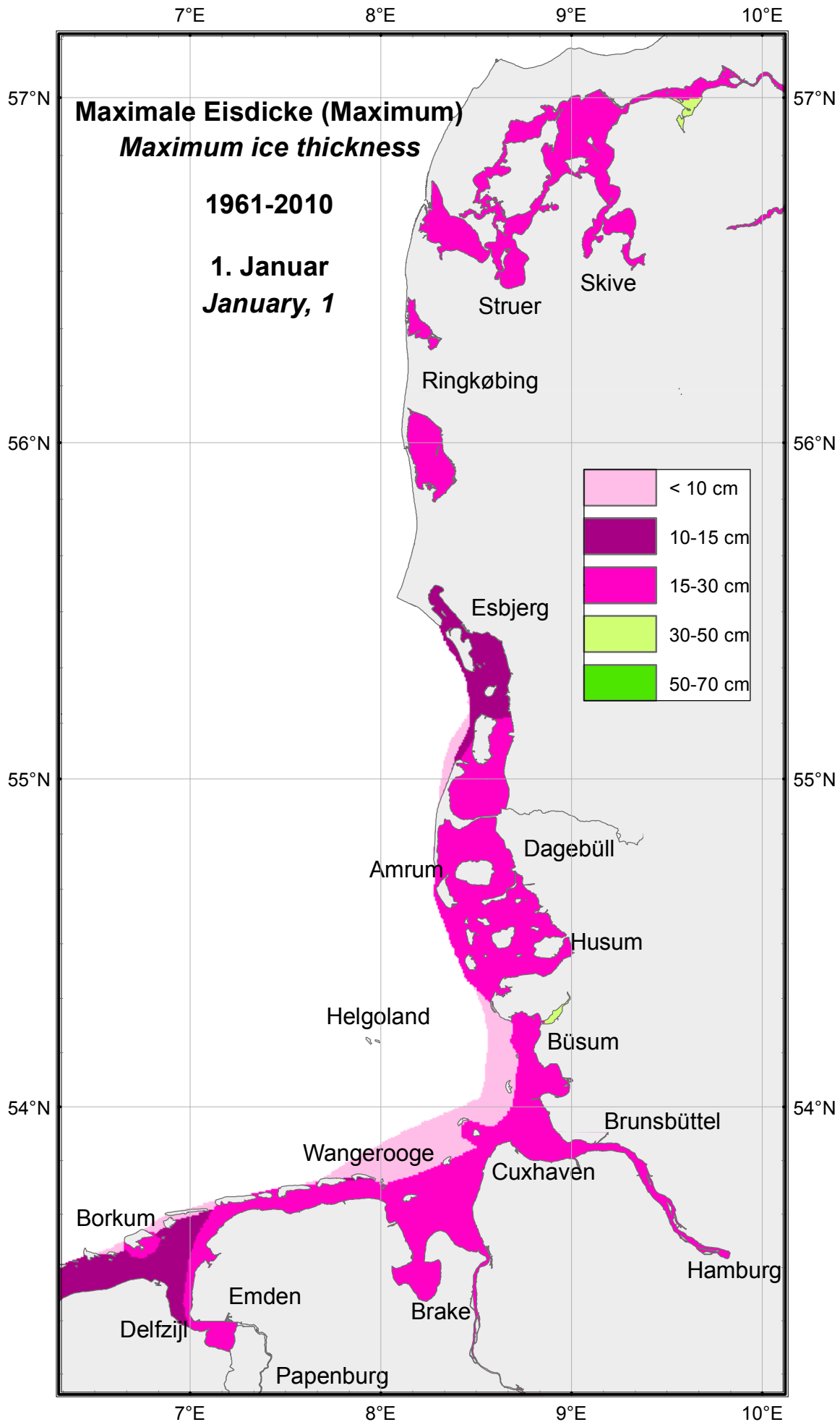


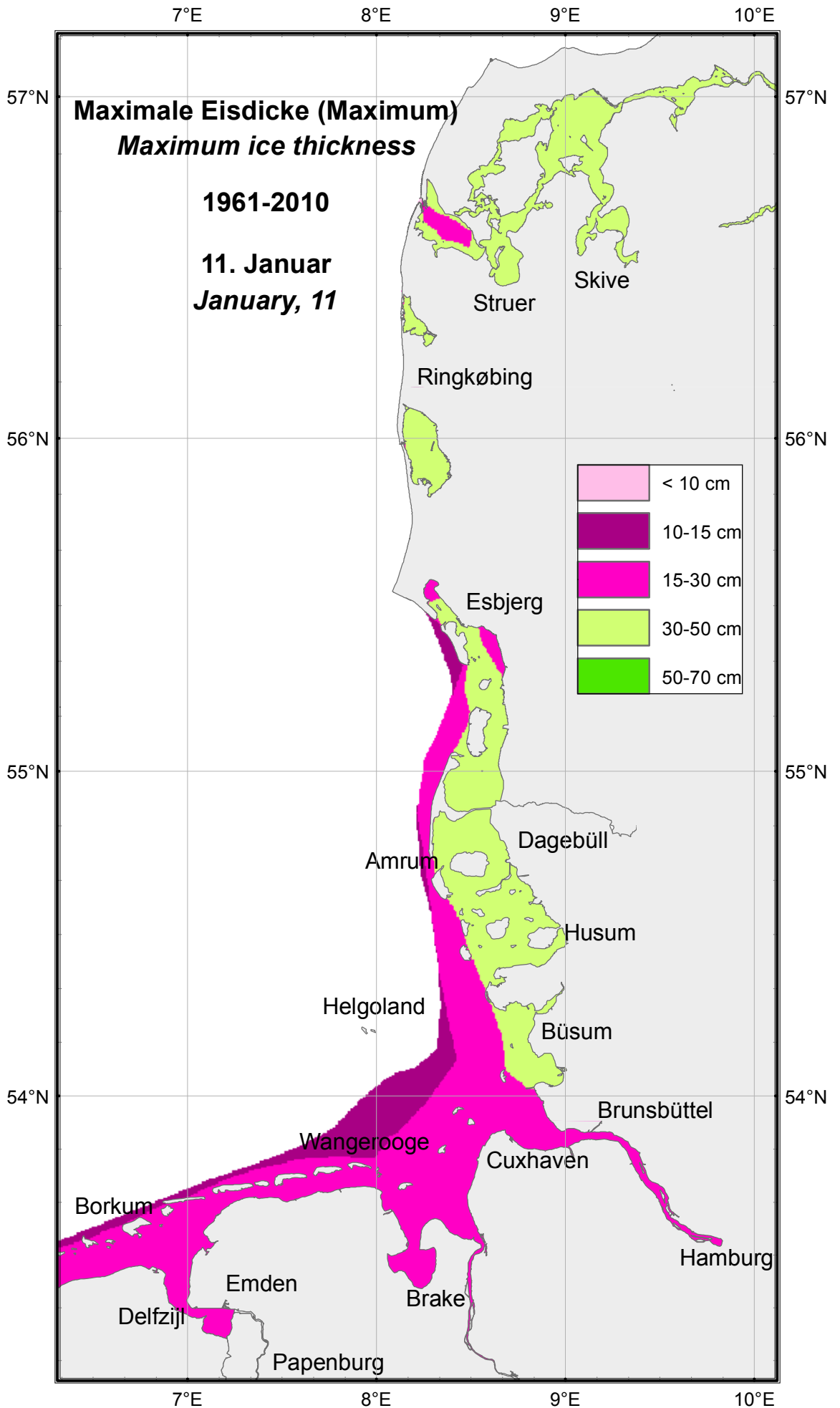


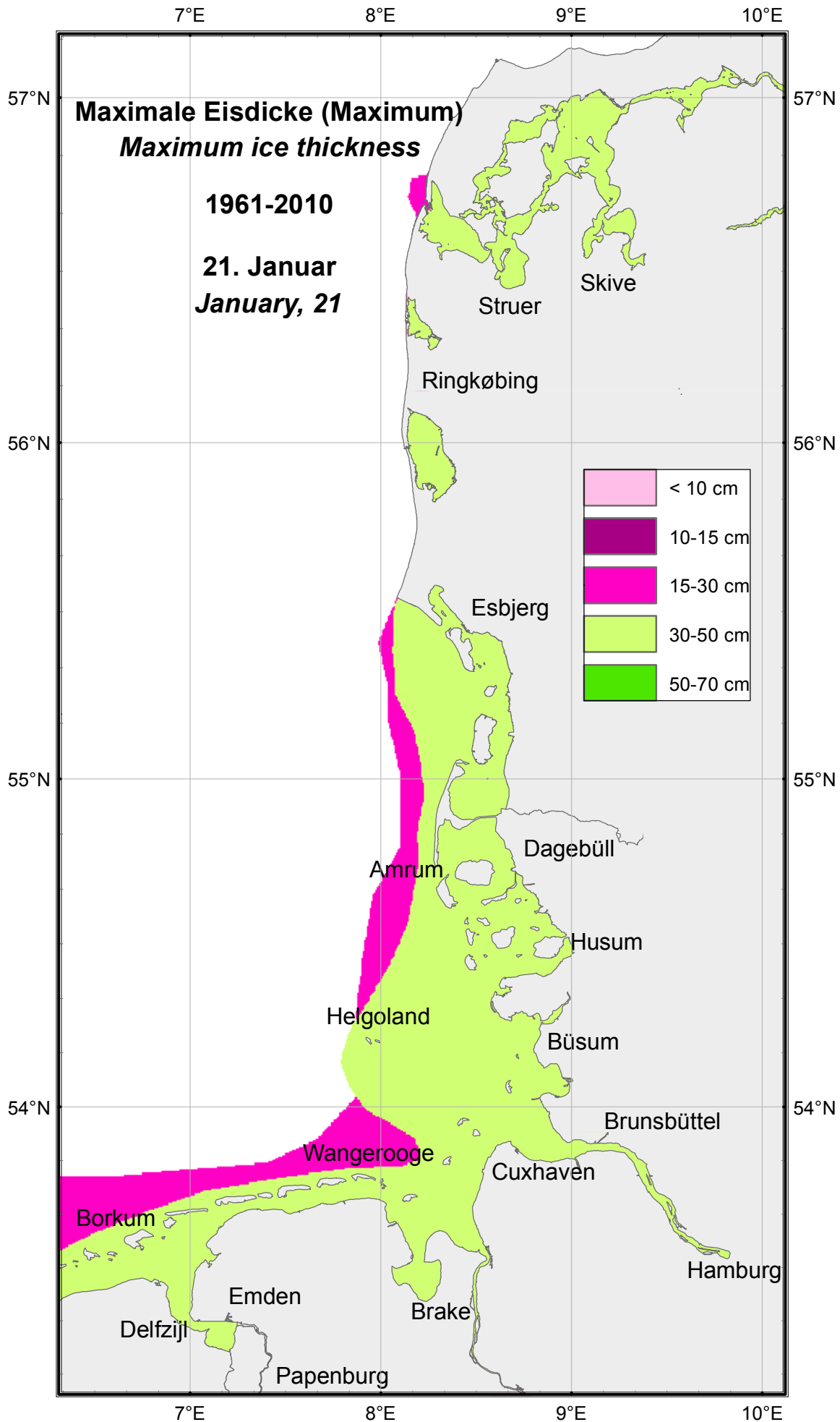


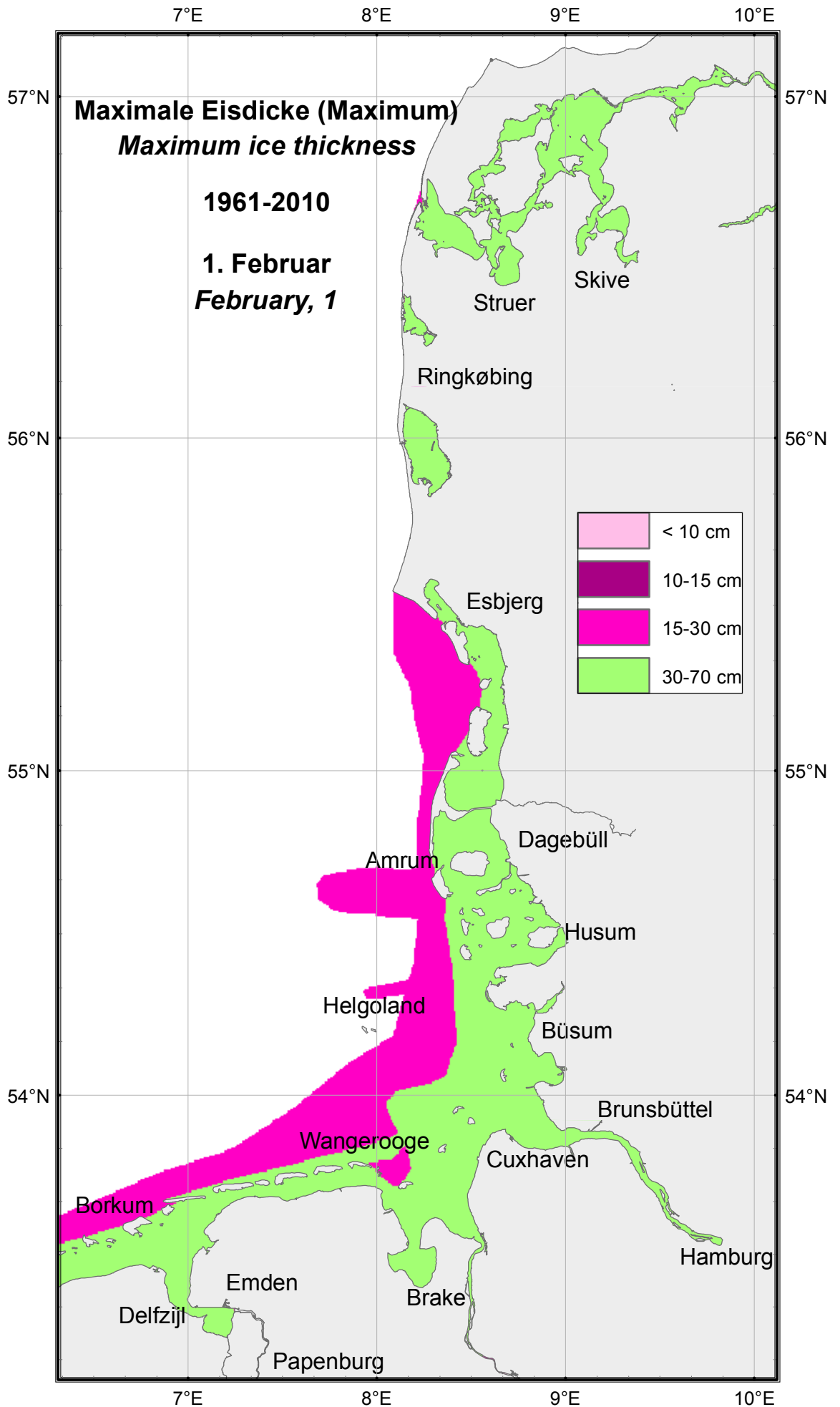


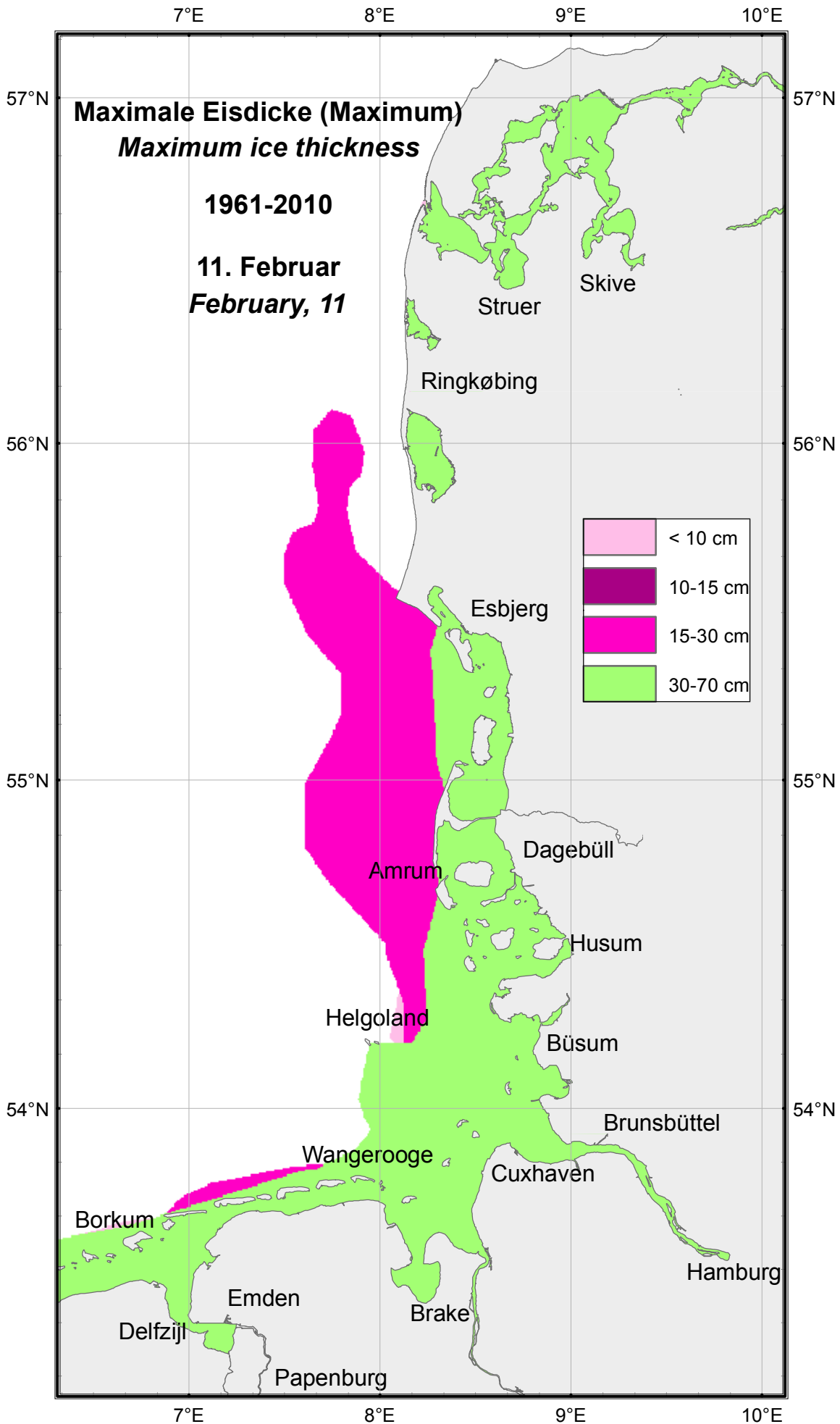


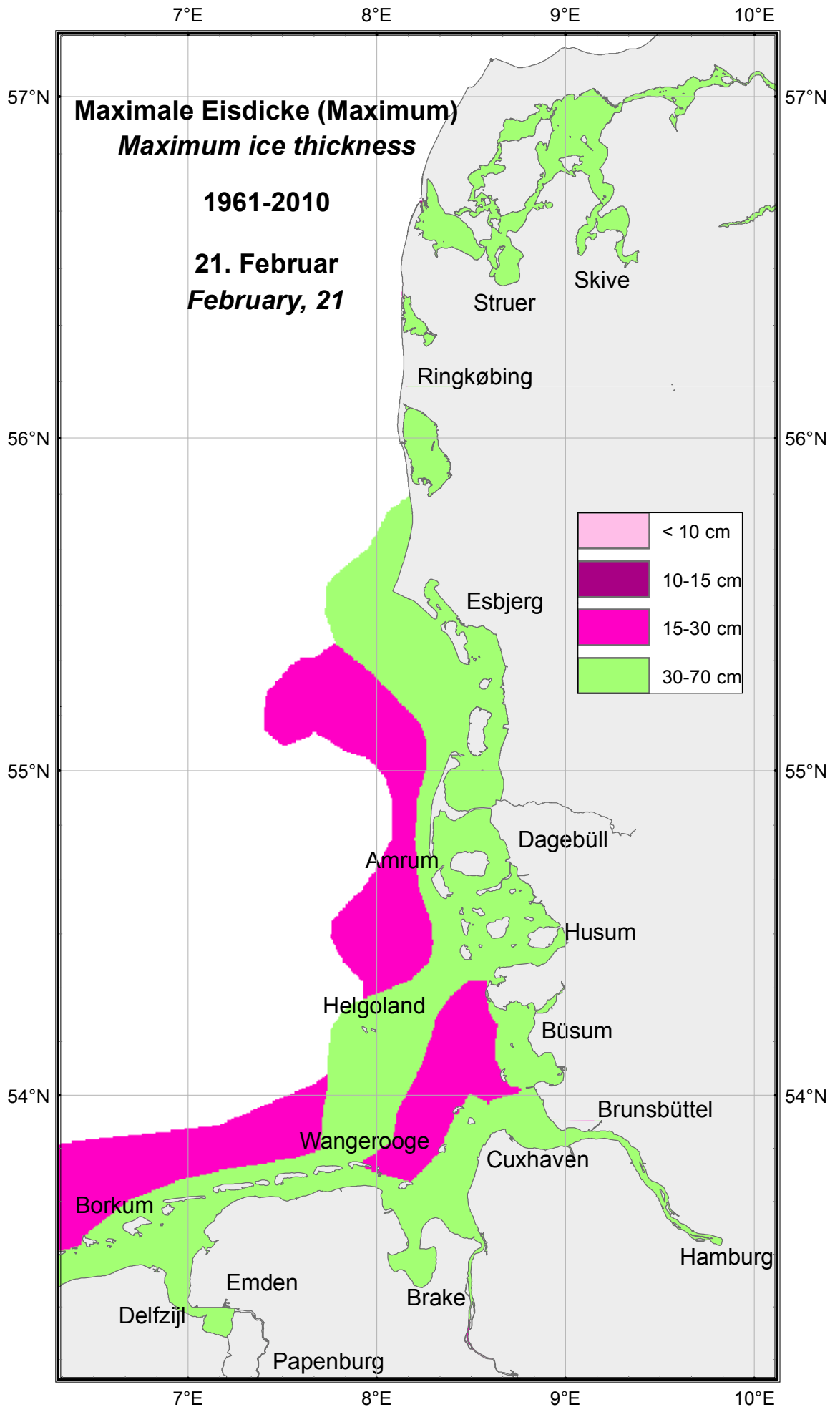


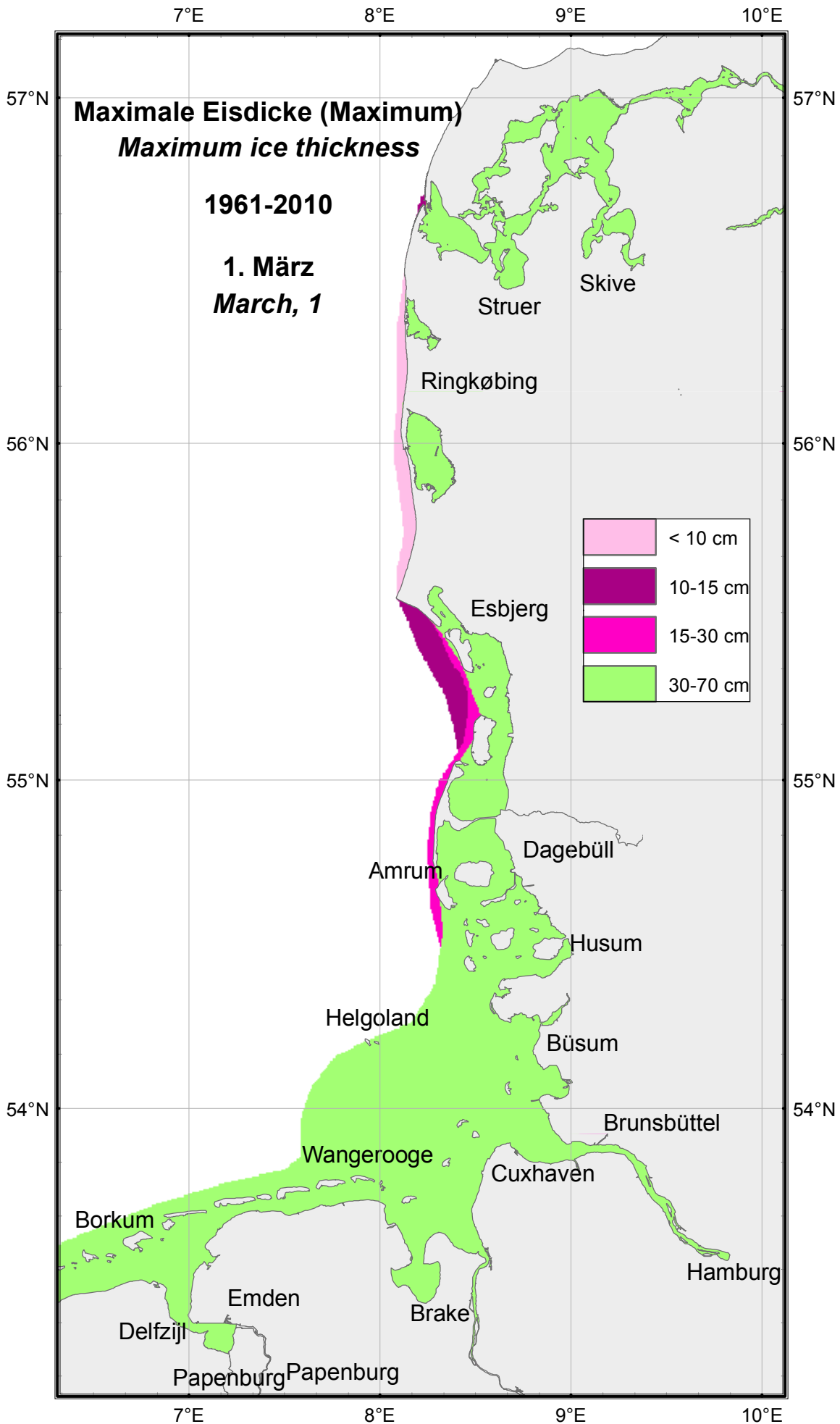


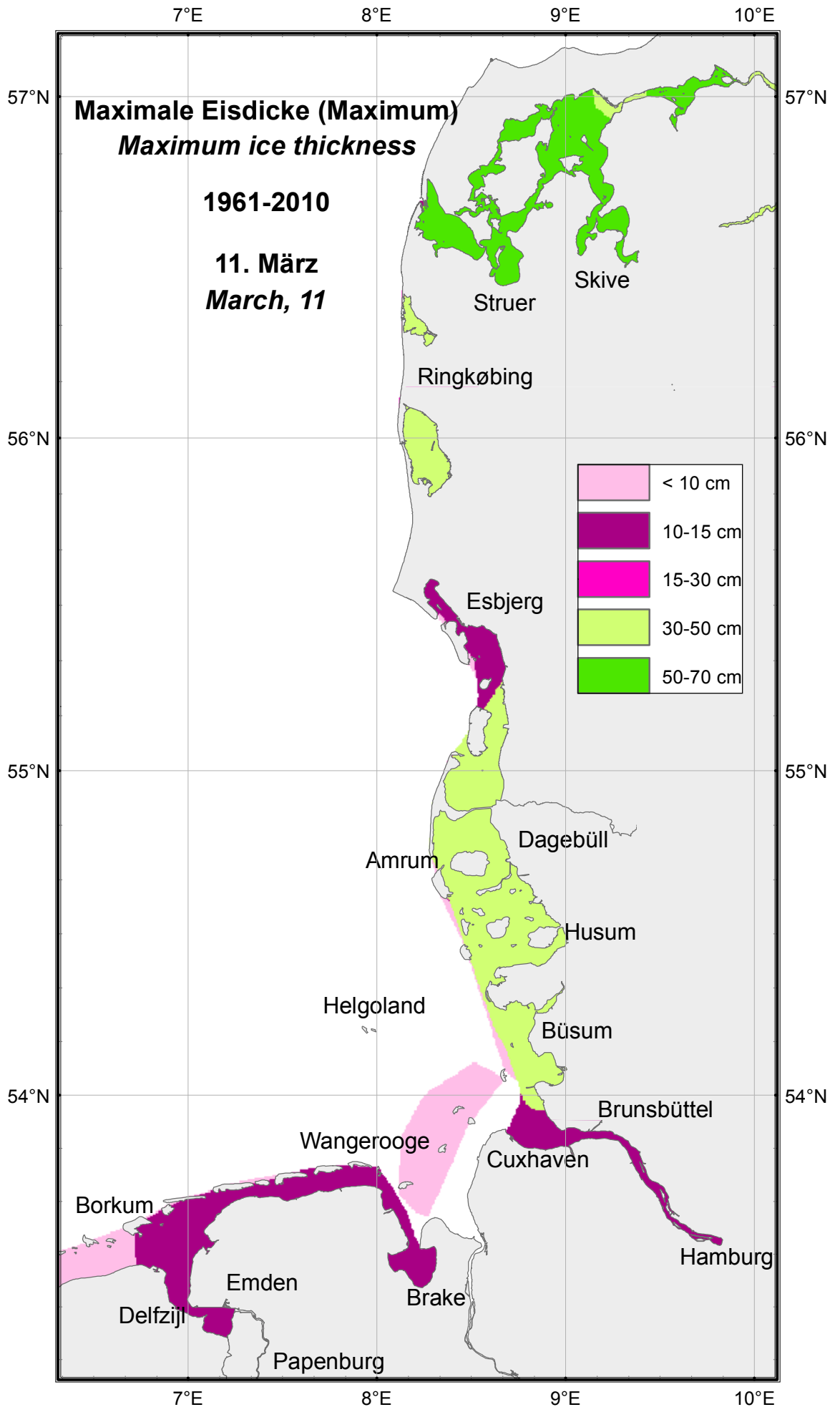


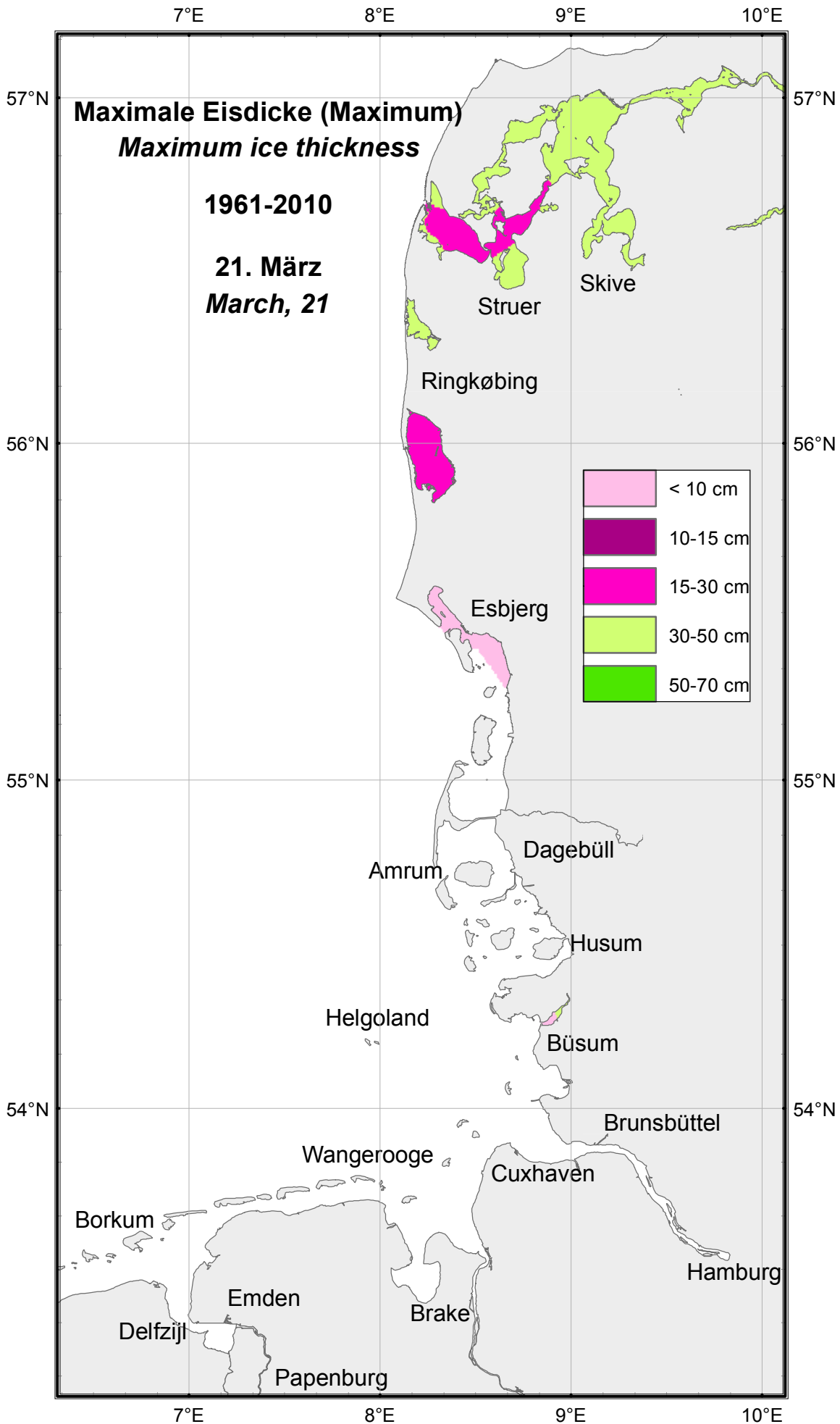






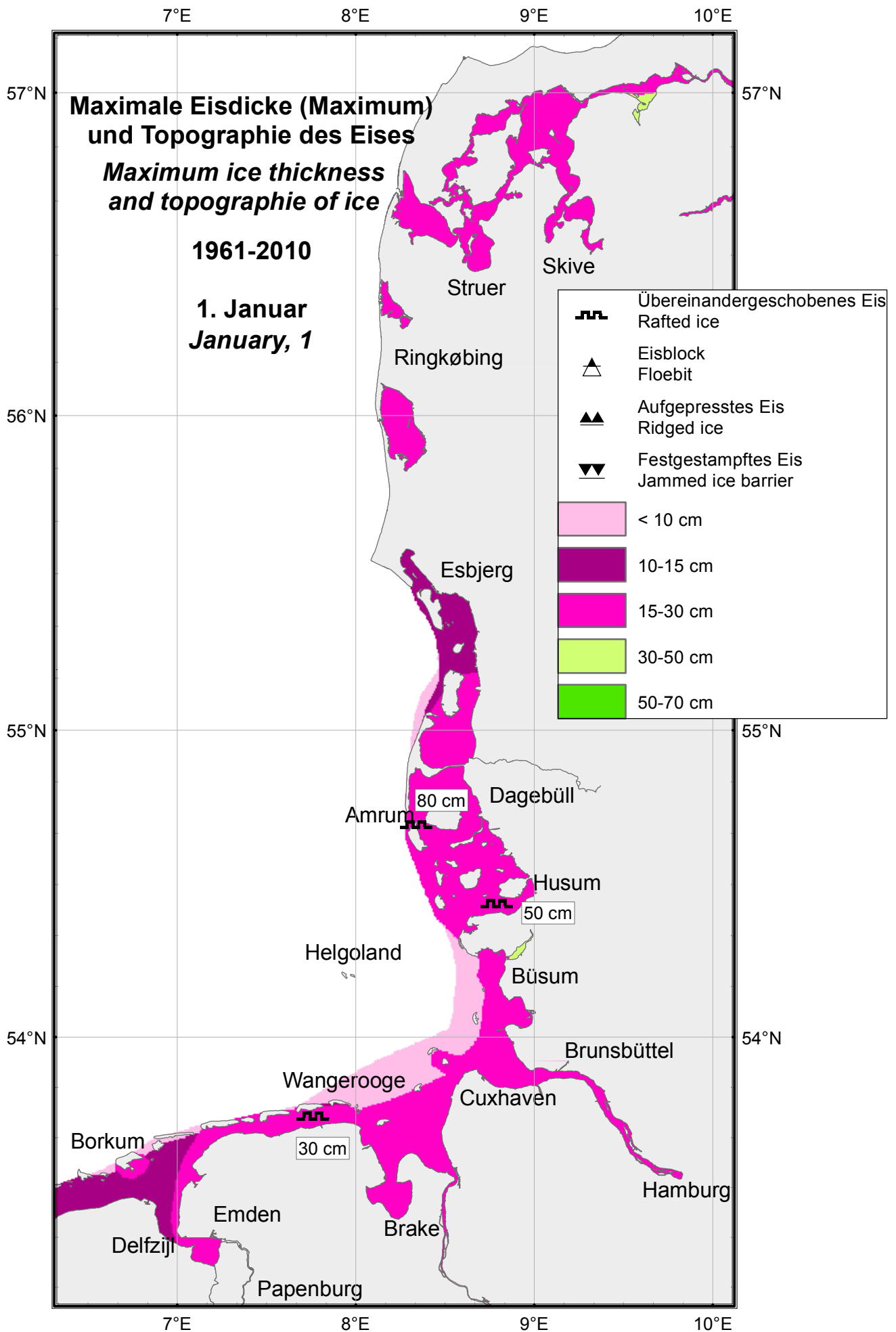


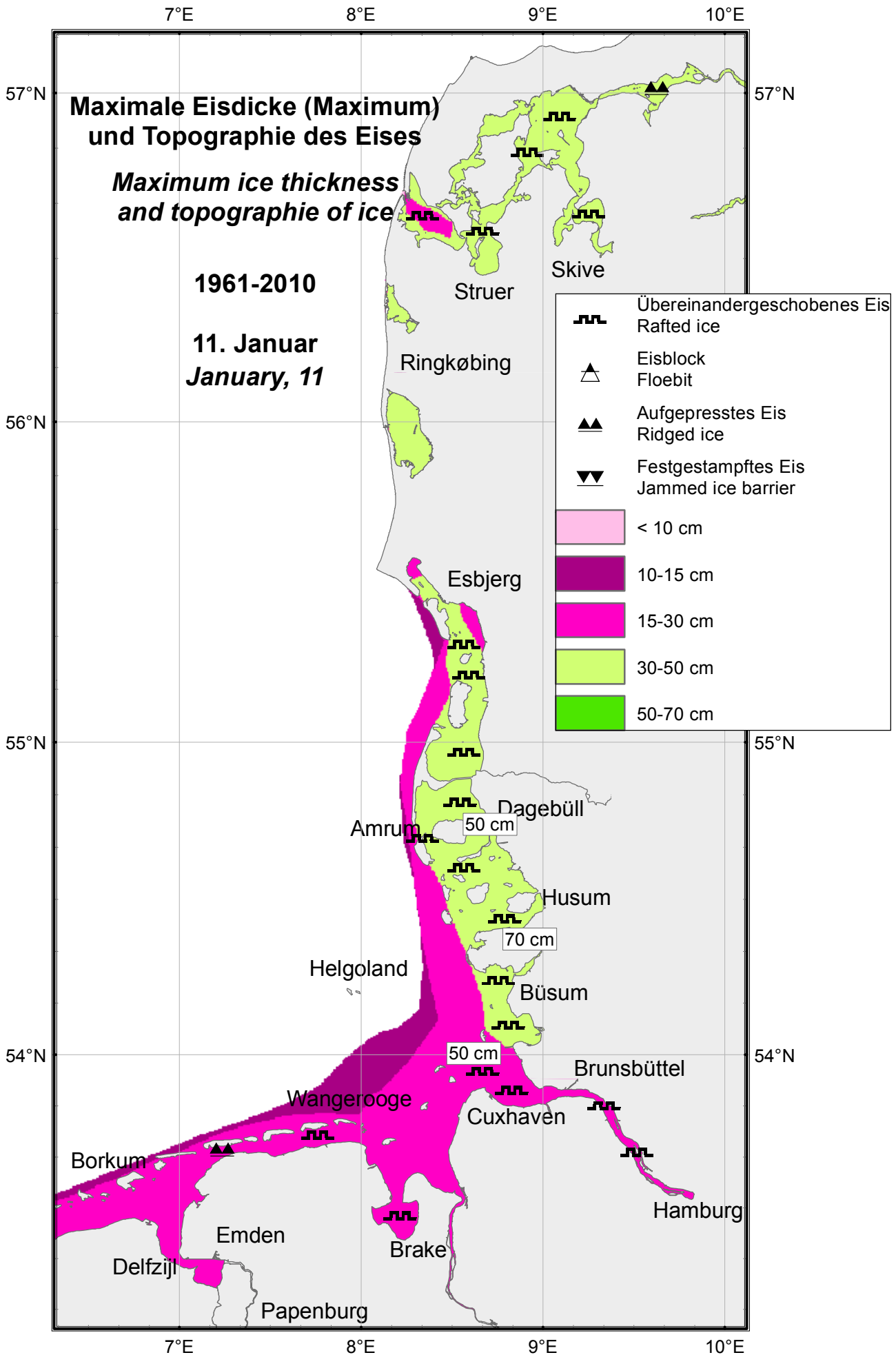


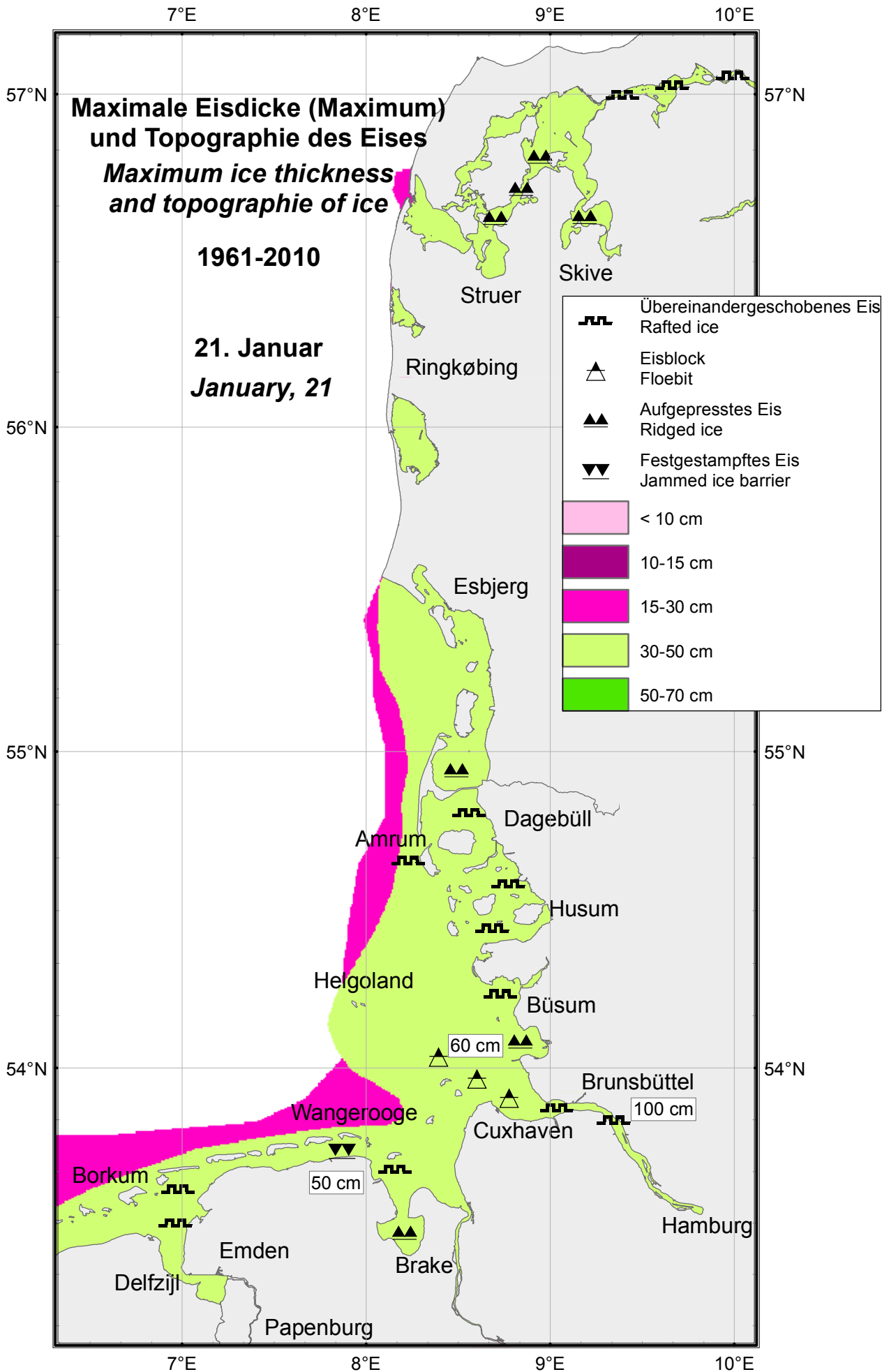


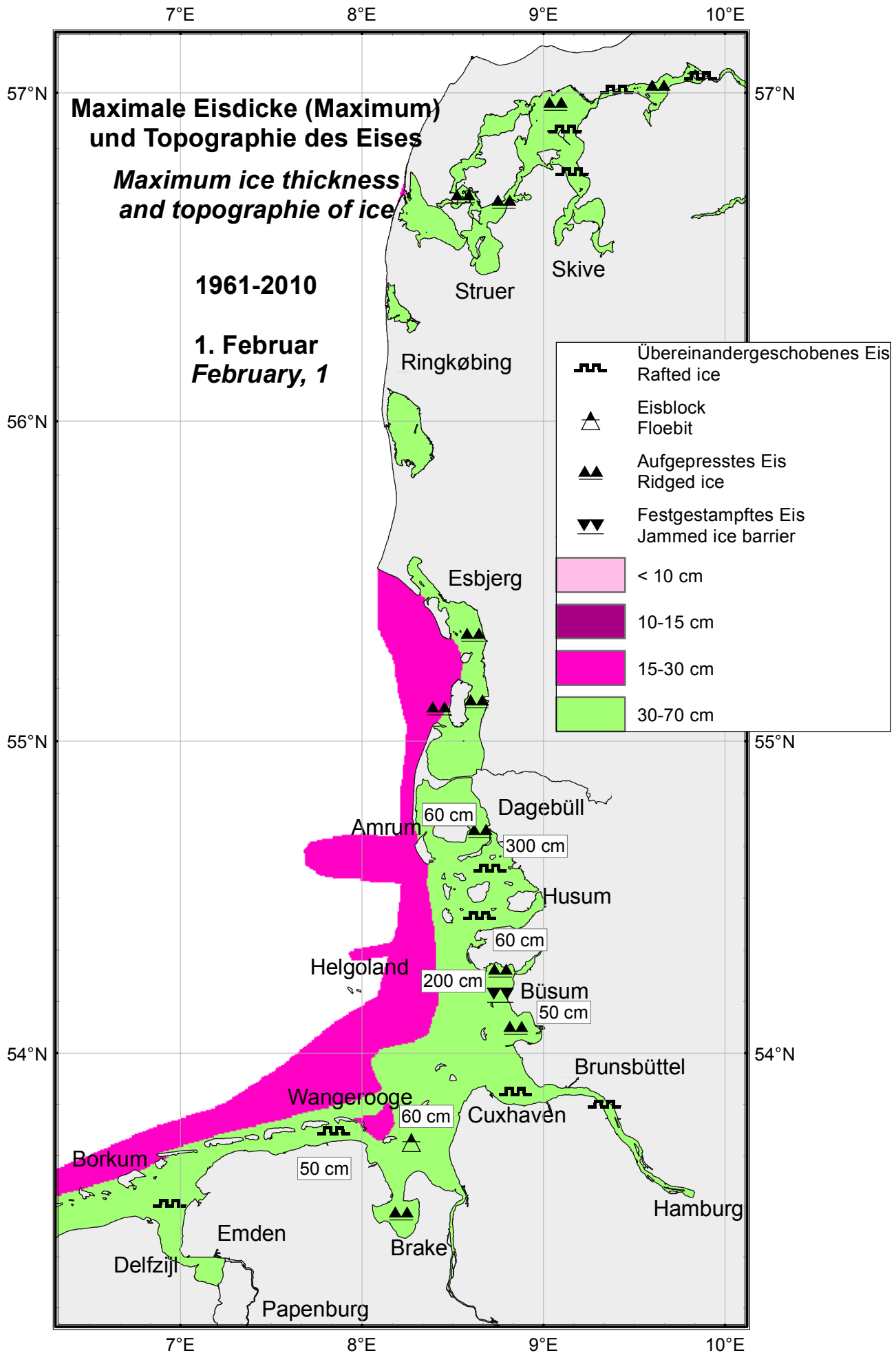
Maximale Eisdicke und Topographie des Eises

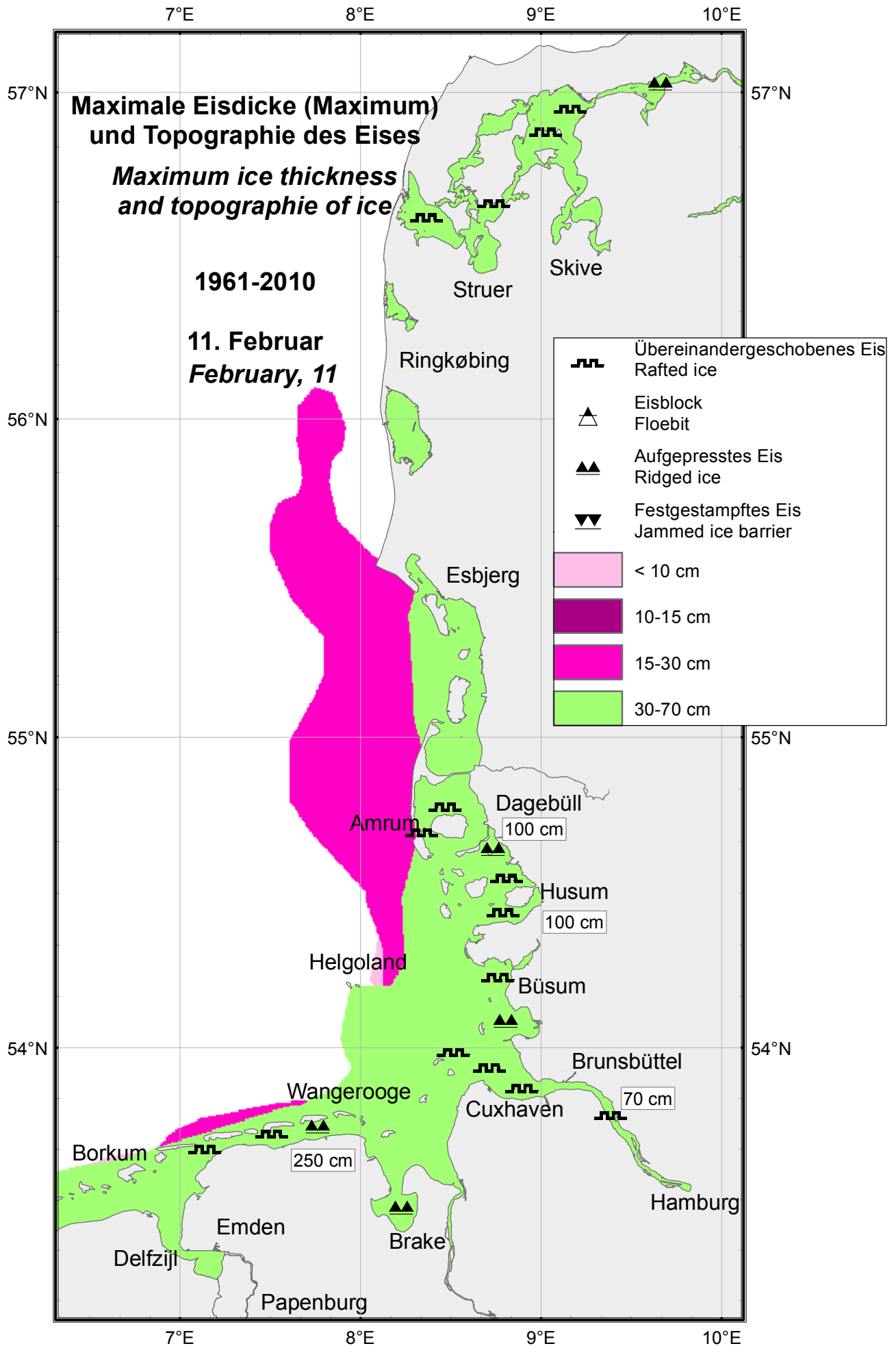
Maximum Ice Thickness and Topography of Ice

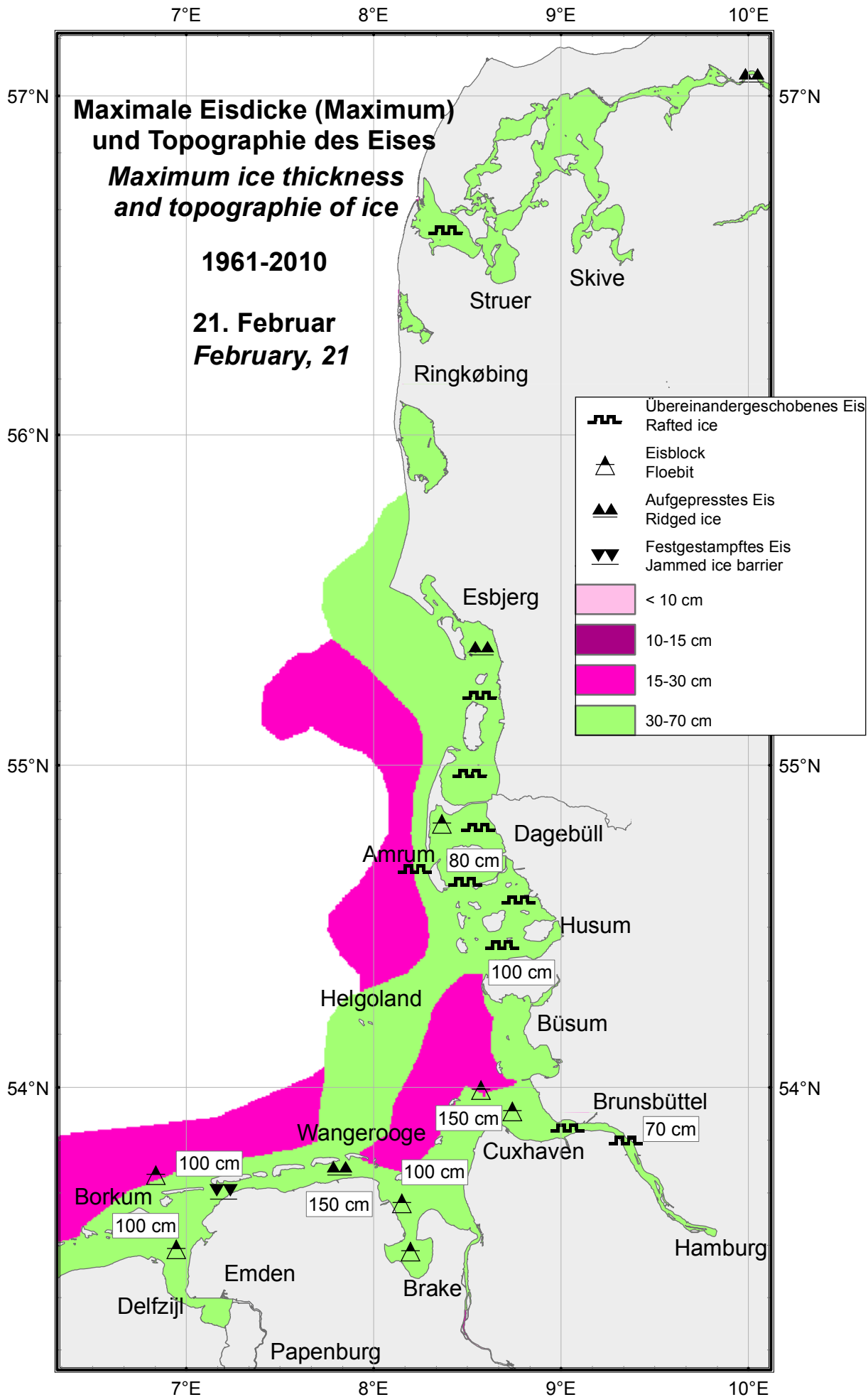


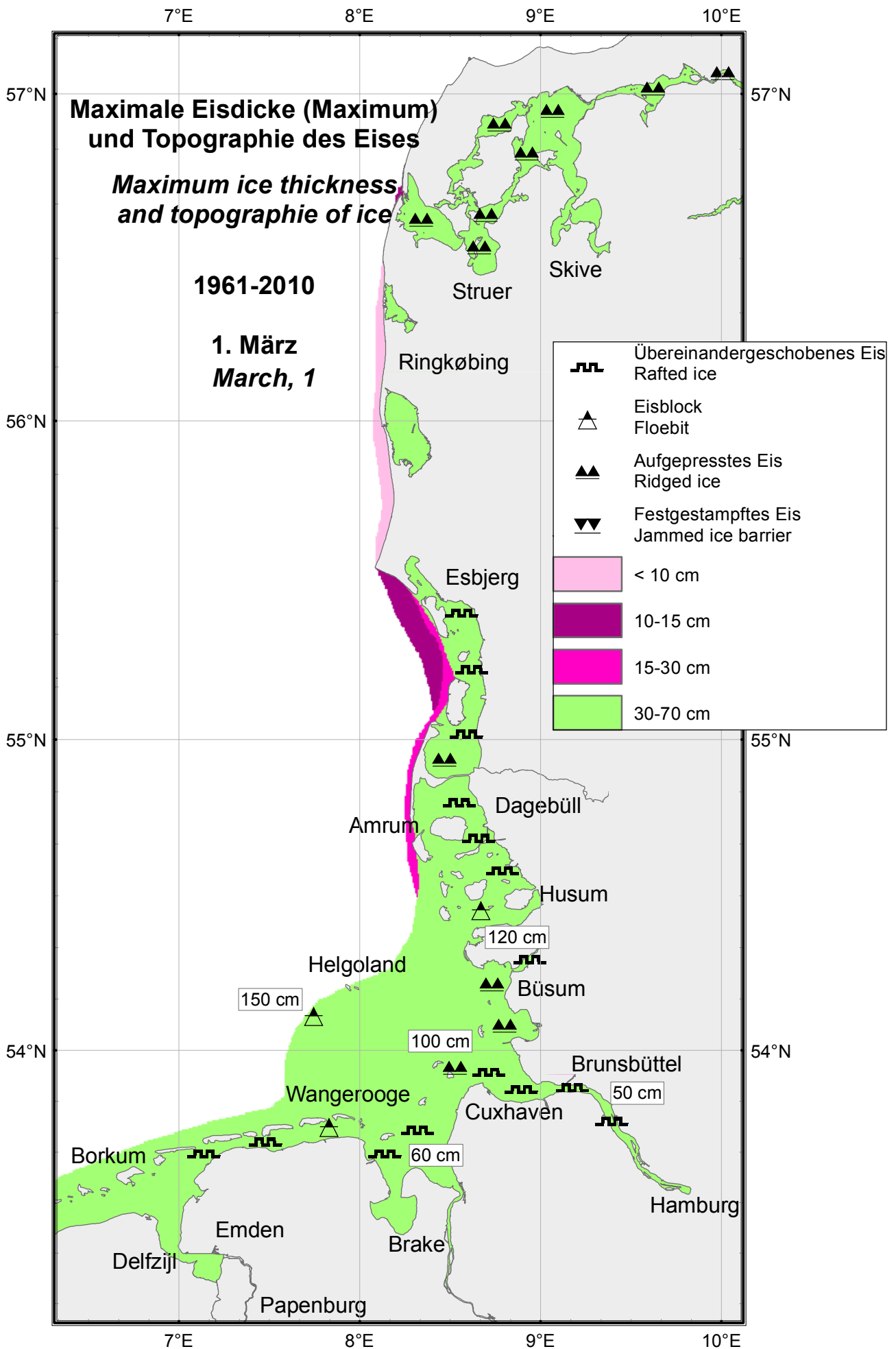


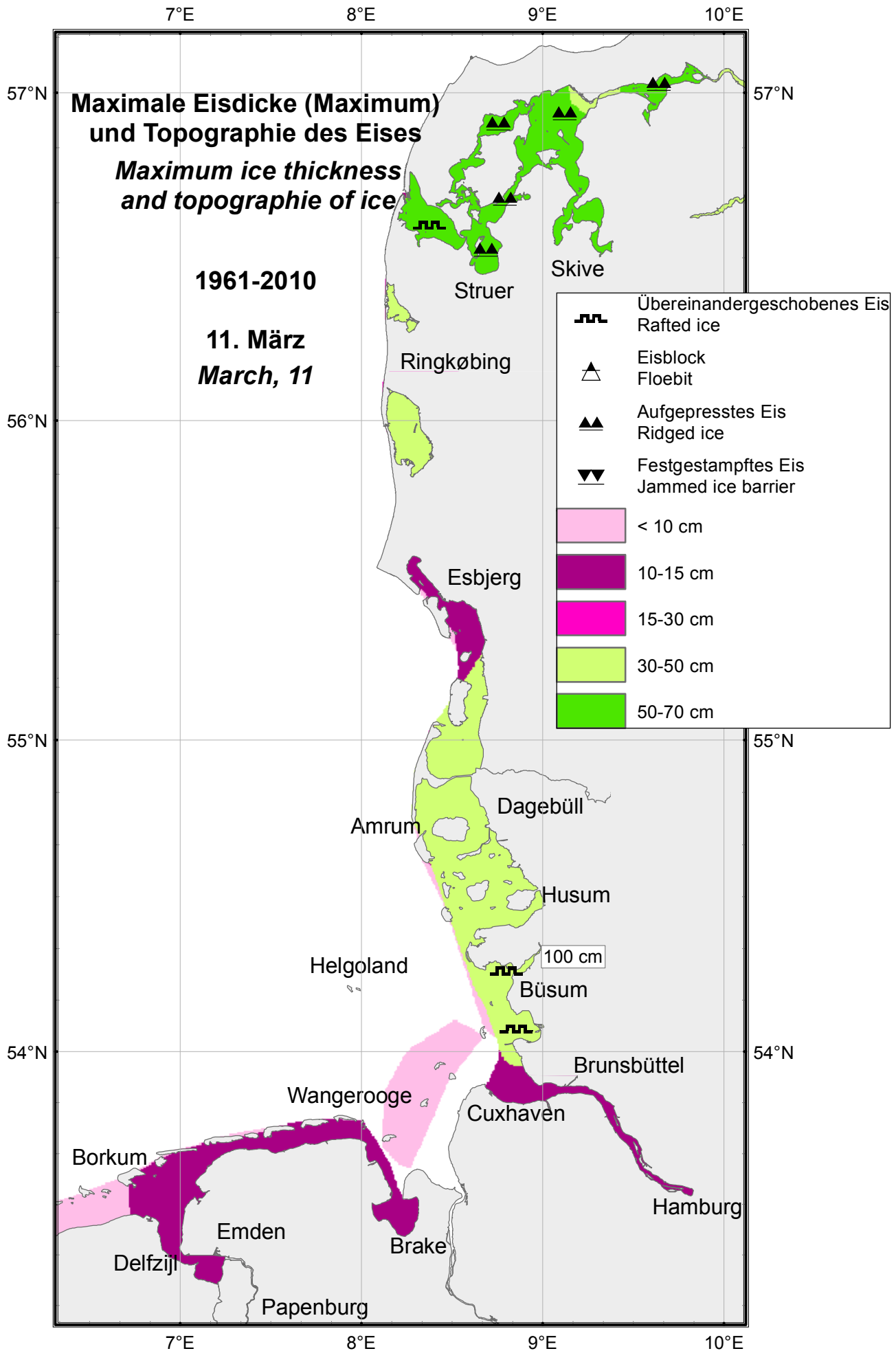












Vergleich der Lufttemperaturen und Eisverhältnisse in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Comparison of the air temperatures and ice conditions in weak, moderate, and strong to extremely strong ice winters

(vgl. Tabellen 12–14 und Abb. 16–30 im Text sowie Karten auf der DVD)

(cf. Tables 12–14 and Fig. 16–30 in the text and charts on the DVD)

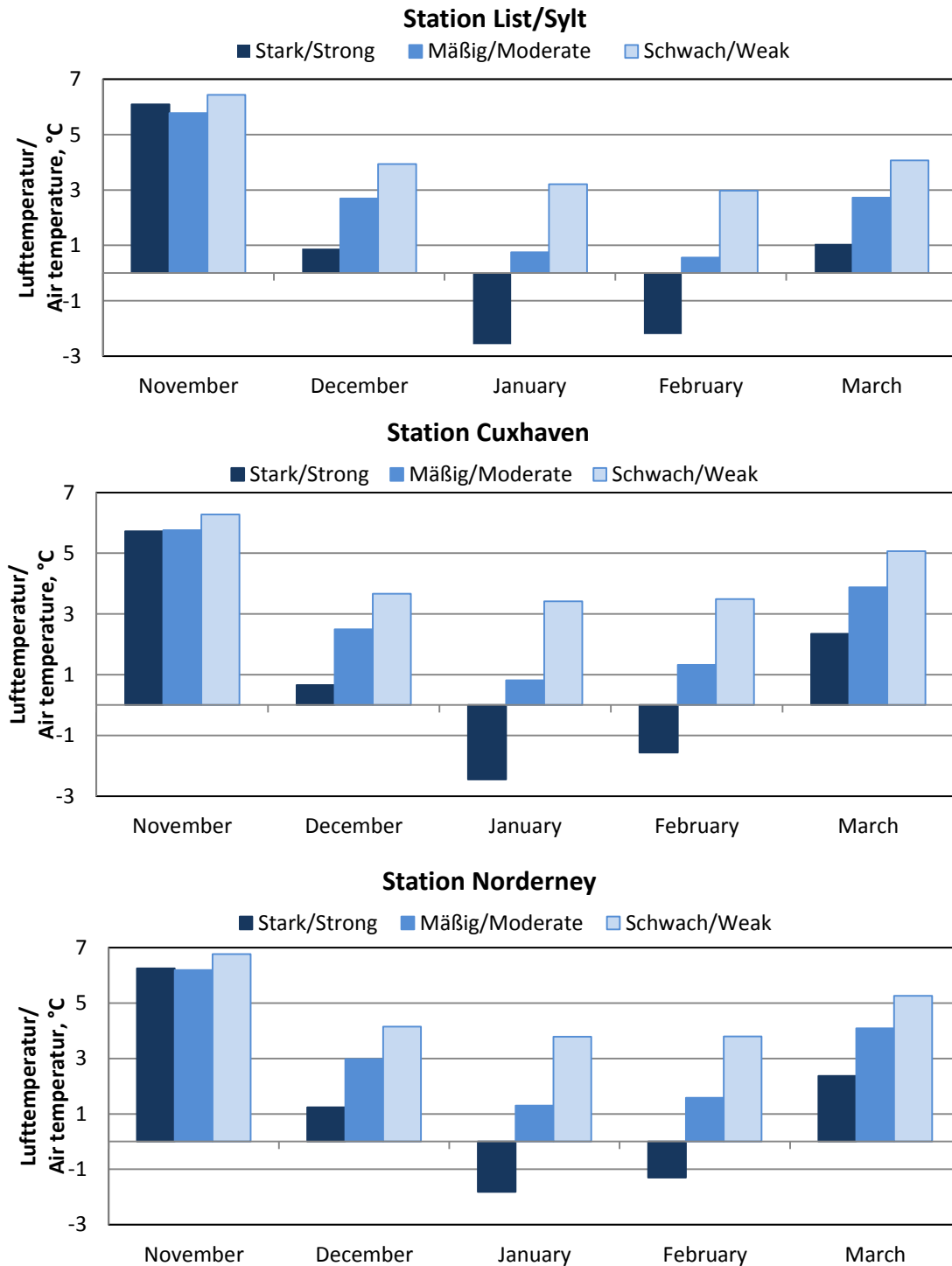


Abb. 16: Monatsmittel der Lufttemperatur in den Wintermonaten in den schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern für die Stationen List/Sylt, Cuxhaven und Norderney

Fig. 16: Mean of the air temperatures in the winter months of weak, moderate, and strong to extremely strong ice winters at the List/Sylt, Cuxhaven and Norderney stations

Wie bereits im Abschnitt „Klassifizierung der Eiswinter“ erwähnt wurde, werden die Eiswinter an der deutschen Nordseeküste in 5 Eiswintertypen unterteilt: in schwache, mäßige, starke, sehr starke und extrem starke. Im untersuchten 50-jährigen Zeitraum 1961–2010 gab es 8 starke bis extrem starke, 16 mäßige und 26 schwache Eiswinter.

As mentioned in the section “Classification of the ice winters”, the ice winters on the German North Sea coast are divided into 5 ice winter types: weak, moderate, strong, very strong and extremely strong. In the 50-year period 1961 to 2010 which was analysed, 8 of the ice winters were strong to extremely strong, 16 were moderate and 26 were weak.

Für den Beginn der Eisbildung und die weitere Entwicklung der Eisverhältnisse in der Nordsee sind, wie auch für die Ostsee, die Temperaturverhältnisse maßgebend. Dabei scheint die „Vorgeschichte“ keine große Rolle zu spielen: im November sind die Monatsmittel der Lufttemperatur etwa gleich für alle drei Eiswintertypen. Deutliche Unterschiede in den Lufttemperaturen beginnen im Dezember und setzen sich im Januar und Februar fort. Im Mittel ist der Dezember eines starken Eiswinters um 2 Grad kälter als eines mäßigen und um 3 Grad kälter als eines schwachen Eiswinters. Der Januar ist in starken Eiswintern sehr kalt, die Abweichung zu den mäßigen und schwachen Eiswintern beträgt etwa 4 Grad und 6 Grad entsprechend. Dieser Trend bleibt auch im Februar und März mit geringeren Differenzen bestehen, Abb. 16.

Temperature conditions determine the onset of the ice formation and the further development of the ice conditions in the North Sea and also the Baltic Sea, but “previous history” does not seem to play a significant role: In November, the monthly air temperature means are approximately the same for all three ice winter types. Clear air temperature differences begin to emerge in December and continue through January and February. On average, the December of a very strong ice winter is 2 degrees colder than a moderate ice winter and 3 degrees colder than a weak ice winter. The January of strong ice winters is very cold; deviation from the moderate and weak ice winters is approximately 4 degrees and 6 degrees, respectively. This trend is also maintained in February and March, with minor differences; Fig. 16.

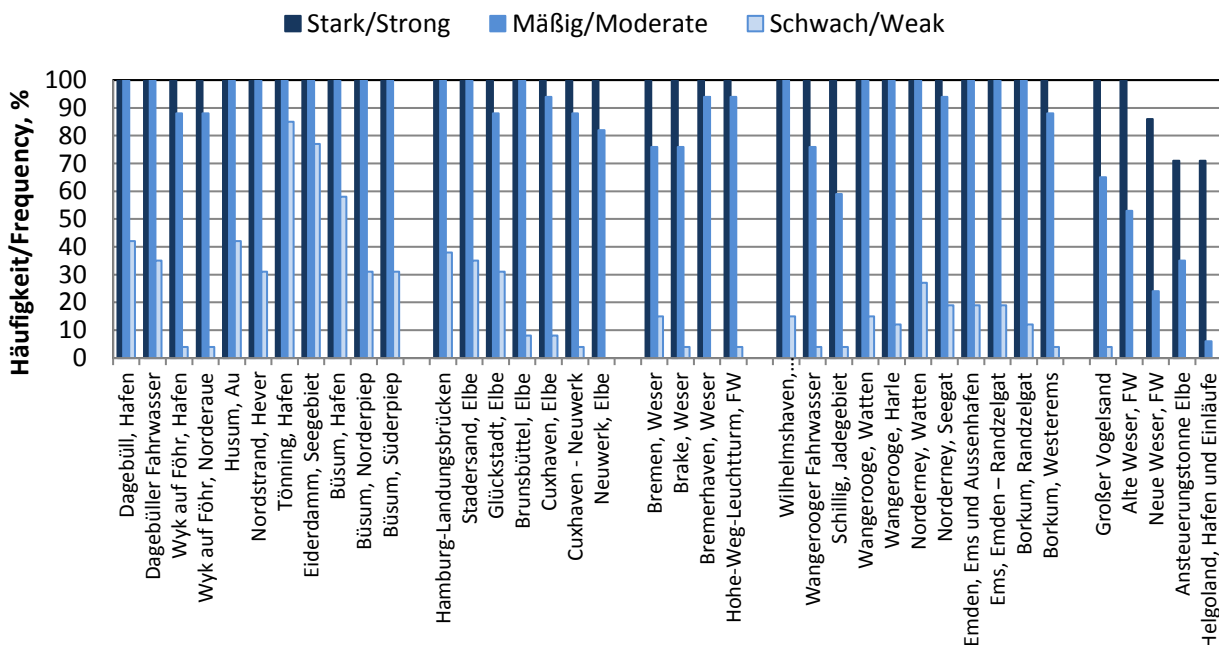


Abb. 17: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 17: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the weak, moderate, and strong to very strong ice winters

Bis auf den offenen Bereich der Deutschen Bucht beträgt die Häufigkeit des Eisauftretens in starken Eiswintern 100 %. Auch in allen mäßigen Eiswintern bildet sich in den Häfen und geschützt liegenden Gewässern an der nordfriesischen und ostfriesischen Küste Eis. Außerhalb der Inselketten wird die Vereisungshäufigkeit in normalen Wintern kleiner, vollkommen eisfrei bleibt aber nur die innere Deutsche Bucht. In schwachen Eiswintern bleibt die Eisbildung auf einige Häfen und geschützte Bereiche der inneren Gewässer begrenzt; vgl. Abb. 17 und 21.

Die Eisbildung im nordfriesischen und ostfriesischen Wattenmeer beginnt in starken Eiswintern normalerweise bereits Ende Dezember. In den ersten Januartagen muss man mit erstem Eis auf der Unterelbe, Unterweser und Ems und in der ersten Januarhälfte mit der Eisbildung im Seegebiet rechnen. In mäßigen Eiswintern beginnt die Eisbildung etwa zwei Wochen später als in starken Eiswintern, und noch eine Woche später kann das erste Eis in schwachen Eiswintern auftreten; vgl. Abb. 18 und 24.

Im Mittel verschwand das letzte Eis an der deutschen Nordseeküste in starken Eiswintern in den ersten Märztagen, zwei Wochen früher endete normalerweise die Eissaison in mäßigen Eiswintern. In schwachen Eiswintern schmilzt das letzte Eis im Verlauf des Januars, aber an der nordfriesischen Küste können Eisreste noch Anfang Februar vorkommen; vgl. Abb. 18 und 23.

In extremen Fällen kann das erste Eis in allen Eiswintertypen kurzzeitig bereits Mitte November auftreten und bis Ende März liegen bleiben. Nur an der ostfriesischen Küste verschwand das letzte Eis in schwachen Eiswintern spätestens Mitte Februar; vgl. Abb. 19, 22, 25.

Apart from the open area of the German Bight, the frequency of ice formation in strong ice winters is 100 %. Ice also forms in the ports and sheltered waters on the North Frisian and East Frisian coasts during all moderate ice winters. The frequency of ice occurrence in normal winters becomes smaller beyond the island chain, but only the inner German Bight remains completely free of ice. During weak ice winters, the ice formation remains limited to some ports and sheltered areas in the inner waters; cf. Fig. 17 and 21.

Ice formation in the North Frisian and East Frisian Wadden Sea normally begins in late December in strong ice winters. The first ice on the Lower Elbe, Weser and Ems is to be expected in the first days of January; the first half of January sees the first ice formation in the sea area. The ice formation begins approximately two weeks later in moderate ice winters than in strong ice winters, and the first ice can occur a week later than that in weak ice winters; cf. Fig. 18 and 24.

On average, the last ice on the German North Sea coast disappeared in the first days of March during strong ice winters; the ice season of moderate ice winters normally ended two weeks earlier. In weak ice winters, the last ice melts during the month of January, but ice residue can still occur on the North Frisian coast in early February; cf. Fig. 18 and 23.

In extreme cases, the first ice can briefly form as early as mid-November in all ice winter types and remain until the end of March. It was only on the East Frisian coast that the last ice of weak ice winters disappeared by mid-February at the latest; cf. Fig. 19, 22, 25.

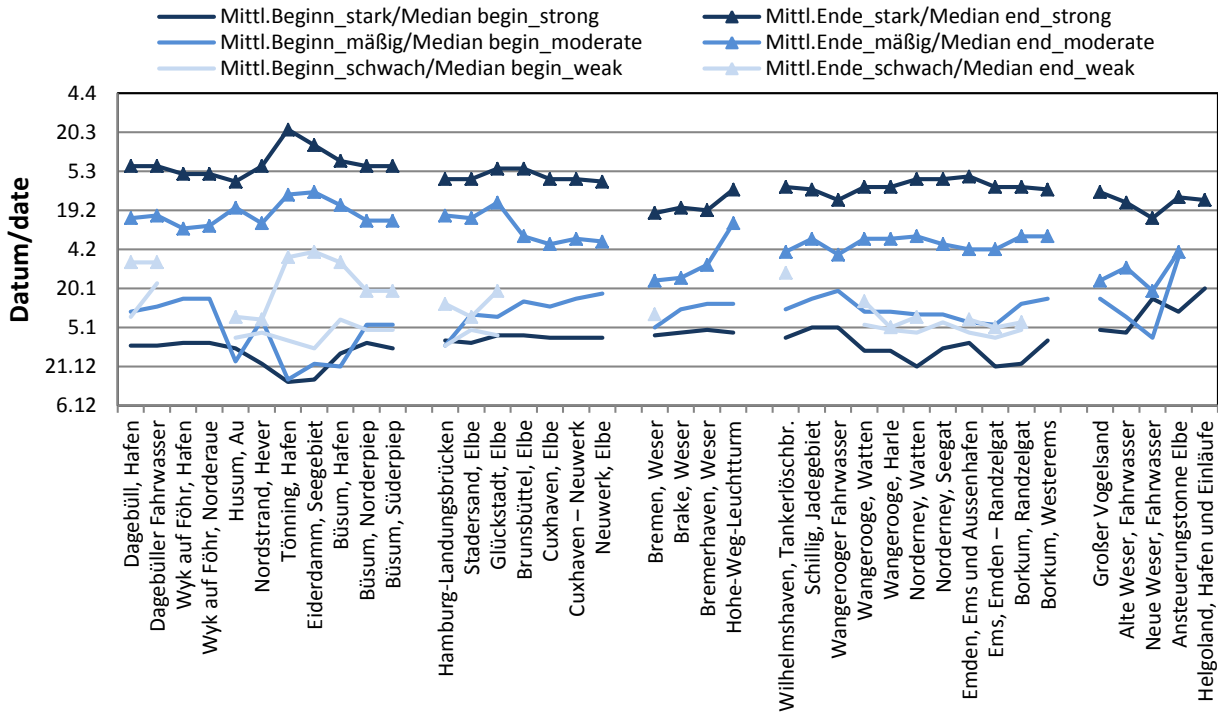


Abb. 18: Mittlerer Beginn und mittleres Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 18: Mean begin and mean end of ice occurrence on the German North Sea coast in weak, moderate, and strong to extremely strong ice winters

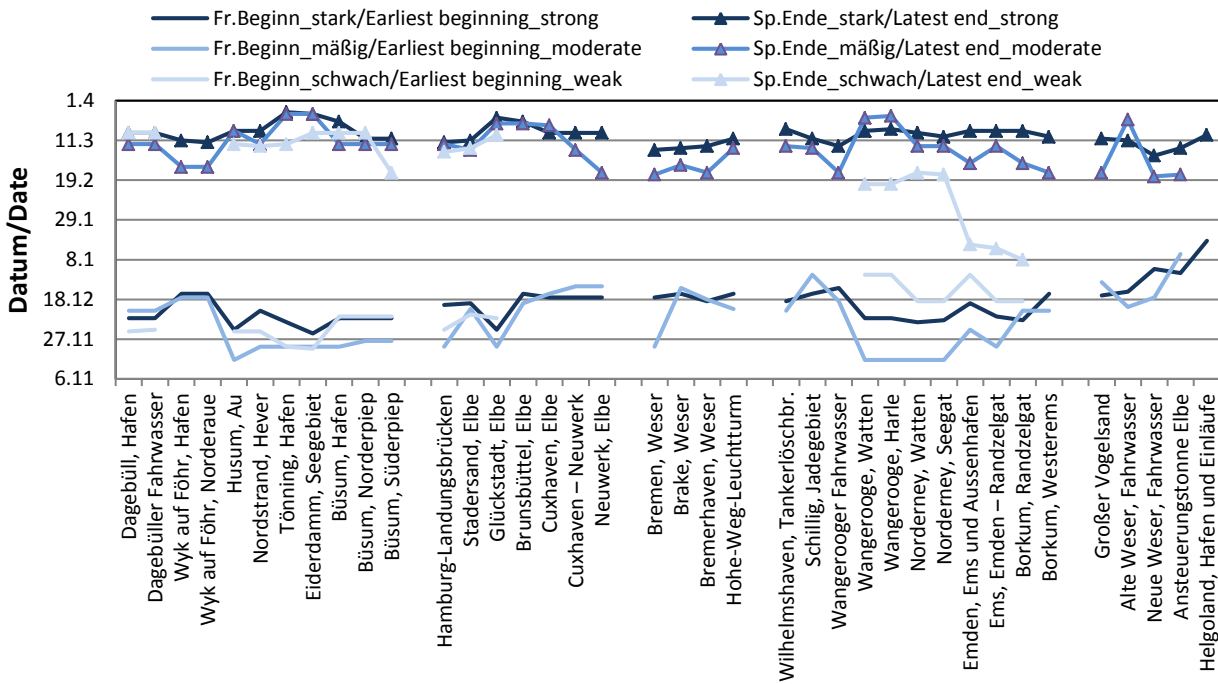


Abb. 19: Frühester Beginn und spätestes Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 19: Earliest beginning and latest end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

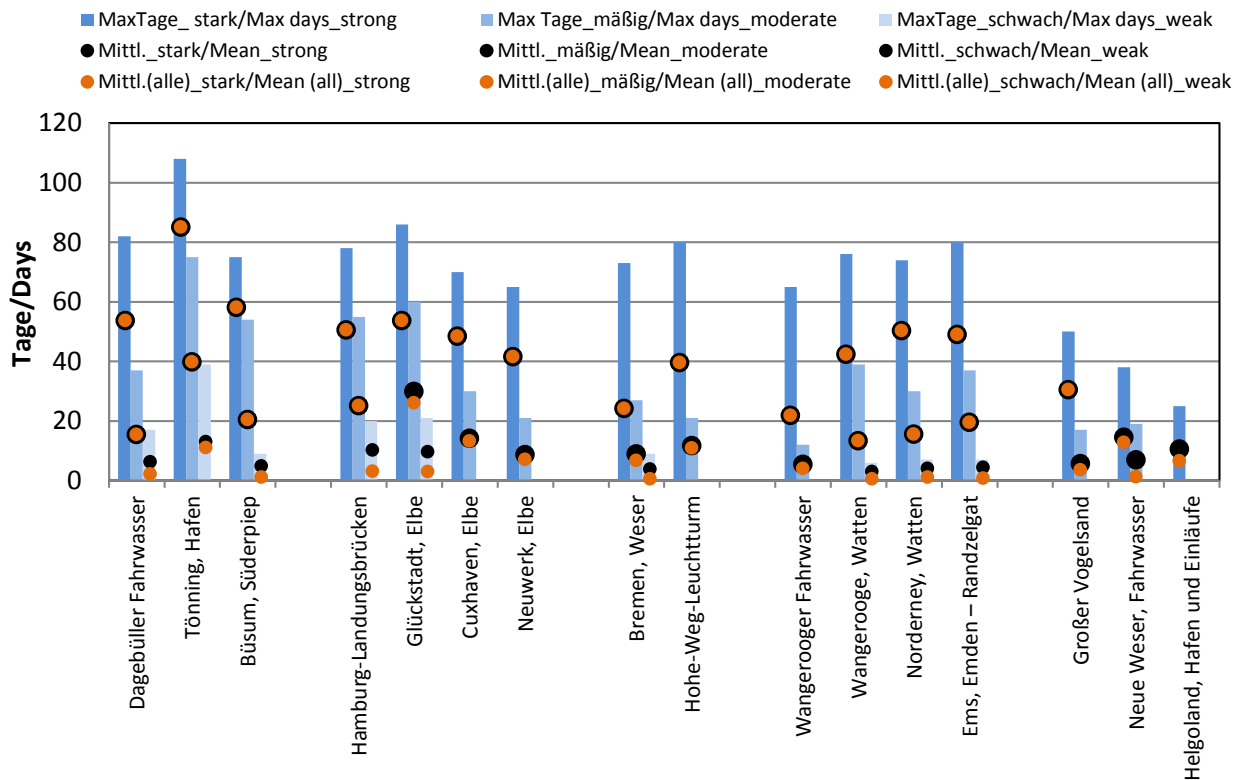


Abb. 20: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (für alle Winter), mittlere Anzahl der Tage mit Eis (nur für Winter mit Eis), maximale Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 20: Mean number of days with ice (all winters), mean number of days with ice (only winters with ice), maximum number of days with ice on the German North Sea coast in weak, moderate and strong to extremely strong ice winters

Die mittlere Anzahl der Tage mit Eis variiert in starken Eiswintern zwischen 60 und 80 Tagen an der nordfriesischen Küste, zwischen 40 und 60 Tagen auf der Unterelbe und im ostfriesischen Wattenmeer, zwischen 20 und 40 Tagen auf der Unterweser und zwischen 10 und 30 Tagen in der inneren Deutschen Bucht. In sehr starken bis extrem starken Eiswintern wurden in geschützten Bereichen 80–110 Tage mit Eis registriert. In mäßigen Eiswintern werden im Mittel 10 bis 40 Tage und maximal 75 Tage gezählt, in der Deutschen Bucht tritt das Eis im Seebereich westlich von Helgoland nur kurzfristig auf. In schwachen Eiswintern ist eine Eissaison normalerweise auf einige wenige Tage in geschützt liegenden inneren Bereichen beschränkt, kann aber auch 40 Tage (Hafen Tönning) oder 20 Tage (Unterelbe) dauern; vgl. Abb. 20, 26, 27, 28.

During strong ice winters, the average number of days of ice varies between 60 and 80 days on the North Frisian coast, between 40 and 60 days on the Lower Elbe and in the East Frisian Wadden Sea, between 20 and 40 days on the Lower Weser and between 10 and 30 days in the inner German Bight. During very strong to extremely strong ice winters, 80–110 days of ice were registered in sheltered areas. During moderate ice winters, an average of 10 to 40 days and a maximum of 75 days were counted; in the German Bight, the ice only appeared briefly in the sea area to the west of Helgoland. During weak ice winters, an ice season is normally limited to a few days in sheltered, inner areas, but can also last for 40 days (port of Tönning) or 20 days (Lower Elbe); cf. Fig. 20, 26, 27, 28.

Der Höhepunkt der Eisausdehnung in starken Eiswintern liegt im Zeitraum zwischen dem 11. und dem 21. Februar. Auf den Watten und in den durch die Inseln vom Seebereich abgeschirmten Abschnitten beträgt der maximale Bedeckungsgrad 10/10, auf See außerhalb der Insel 4/10–6/10.

Die maximale Eisausdehnung wird in mäßigen Eiswintern ebenfalls zum 21. Februar erreicht: die nordfriesischen und ostfriesischen Watten sind zu dieser Zeit vollständig mit Eis bedeckt, auf den Nordseezuflüssen liegt sehr dichtes Eis, außerhalb der Inselketten treibt lockeres Eis; vgl. Abb. 29.

Die maximalen Dicken des ebenen Eises erreichen in starken Eiswintern in der Regel Werte um die 50 cm, in mäßigen Eiswintern um die 30 cm. In beiden Eiswintertypen kommt dickeres Eis vor, das aus mehreren zusammengefrorenen Schichten besteht und mit Gezeiten, Strömungen oder ablandigen Winden in verschiedene Bereiche der Deutschen Bucht gelangen kann; vgl. Abb. 30.

The culmination of the ice extent in strong ice winters is the period between 11 and 21 February. The maximum degree of coverage on the tidal flats and in the sections separated from the sea area by the islands is 10/10 and 4/10–6/10 on the sea beyond the islands.

The maximum ice extent is also reached on 21 February in moderate ice winters: The North Frisian and East Frisian tidal flats are completely covered with ice at this time; very close ice lies on the North Sea tributaries and open ice floats beyond the island chains; cf. Fig. 29.

The maximum thickness of the level ice generally reaches values of around 50 cm during strong ice winters and approximately 30 cm during moderate ice winters. Thicker ice consisting of several frozen-together layers, which can end up in different areas of the German Bight with the tides, currents or offshore winds, occurs in both ice winter types; cf. Fig. 30.

1961–2010		Häufigkeit		Median		Früh.		Spät.		Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
Schwache Eiswinter (52%)		%		Beginn		Ende		Beginn		alle Winter		mit Eis		mit Eis	
1961–2010		Frequency		Median		Earliest		Latest		Mean days		Min. days		Max. days	
Weak ice winters (52%)		%		begin		begin		end		all winters		with ice		with ice	
Dagebüll, Hafen	42	9.01	1.12	17.02	30.01	3.12	15.03	5.8	2.5	1	20				
Dagebüller Fahrwasser	35	22.01	2.12	17.02	30.01	3.12	15.03	6.3	2.2	2	17				
Wyk auf Föhr, Hafen	4														
Wyk auf Föhr, Norderaue	4														
Husum, Hafen	42	1.01	1.12	4.03	12.01	4.12	15.03	9.4	4	3	27				
Husum, Au	42	1.01	1.12	5.03	9.01	4.12	9.03	7.6	3.2	3	27				
Nordstrand, Hever	31	3.01	1.12	27.01	8.01	2.12	8.03	5.3	1.6	2	14				
Tönning, Hafen	85	31.12	23.11	2.03	1.02	12.12	9.03	13	11.1	2	39				
Eiderdamm, Seegebiet	77	28.12	22.11	11.02	3.02	11.12	15.03	12.6	9.7	1	30				
Büsum, Hafen	58	8.01	9.12	28.02	30.01	13.12	15.03	6.3	3.1	2	14				
Büsum, Norderpiep	31	4.01	9.12	14.02	19.01	13.12	15.03	5.4	1.1	1	9				
Büsum, Süderpiep	31	4.01	9.12	14.02	19.01	13.12	23.02	4.9	1.1	1	9				
Hamburg-Landungsbrücken	38	29.12	2.12	4.03	14.01	6.12	5.03	10.2	3.1	2	20				
Stadersand, Elbe	35	4.01	10.12	3.03	9.01	12.12	7.03	4.4	1.5	1	12				
Glückstadt, Hafen und Einfahrt	38	2.01	30.11	12.02	21.01	11.12	14.03	14.5	5.6	2	31				
Glückstadt, Elbe	31	2.01	8.12	24.01	19.01	4.01	14.03	9.6	3	2	21				
Brunsbüttel, Elbe	8														
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt	12	23.01	7.01	4.03	31.01	12.01	8.03	6.7	0.8	5	9				
Cuxhaven, Elbe	8														
Cuxhaven – Neuwerk	4														
Neuwerk, Elbe	0														
Großer Vogelsand	4														
Ansteuerungstonne Elbe	0														
Helgoland, Hafen und Einläufe	0														

Tabelle 12: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in schwachen Eiswintern

Table 12: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in weak ice winters

1961–2010		Häufigkeit %	Median		Früh.		Spät.		Mittel Tage	Mittel Tage	Min. Tage	Max. Tage
Schwache Eiswinter (52%)			Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Winter mit Eis alle Winter	Mean days all winters	mit Eis	mit Eis
1961–2010		Frequency %	Median		Früh.		Spät.		Mean days	Mean days	Min. days	Max. days
Weak ice winters (52%)			begin	end	begin	end	begin	end	winters with ice	all winters	with ice	with ice
Bremen, Weser		15	5.01	10.01	1.01	2.01	29.01	30.01	3.8	0.6	2	9
Brake, Weser		4										
Bremerhaven, Weser		0										
Hohe-Weg-Leuchtturm		4										
Alte Weser, Fahrwasser		0										
Neue Weser, Fahrwasser		0										
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt		4										
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.		15	2.01	26.01	18.12	2.01	14.02	21.02	2.5	0.4	1	4
Schillig, Jadegebiet		4										
Wangerooger Fahrwasser		4										
Wangerooge, Watten		15	6.01	15.01	31.12	31.12	24.01	17.02	3	0.5	1	6
Wangerooge, Harle		12	4.01	5.01	31.12	31.12	9.01	17.02	3	0.3	1	6
Norderney, Watten		27	3.01	9.01	17.12	2.01	14.02	23.02	4	1.1	1	7
Norderney, Seegat		19	7.01	14.02	17.12	8.01	14.02	22.02	3.2	0.6	1	6
Emden, Ems und Aussenhafen		19	3.01	8.01	31.12	1.01	10.01	16.01	4.2	0.8	1	8
Ems, Emden – Randzelgat		19	1.01	5.01	17.12	19.12	3.01	14.01	4.4	0.8	2	7
Borkum, Randzelgat		12	4.01	7.01	17.12	19.12	7.01	8.01	3	0.3	2	4
Borkum, Westerems		4										

Tabelle 12: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in schwachen Eiswintern (Fortsetzung)
 Table 12: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in weak ice winters (continued)

1961–2010		Häufigkeit %	Median			Spät.			Mittel Tage			Min. Tage			Max. Tage		
Station	Mäßige Eiswinter (32%)		Beginn	Früh. Beginn	Spät. Beginn	Ende	Früh. Ende	Spät. Ende	Winter mit Eis alle Winter	Mittel Tage mit Eis	Min. Tage mit Eis	Max. Tage mit Eis	Winter mit Eis alle Winter	Min. Tage mit Eis	Max. Tage mit Eis		
1961–2010		Frequency %	Median			Latest			Mean days			Min. days			Max. days		
Station	Moderate ice winters (32%)		begin	Earliest begin	Latest begin	end	Earliest end	Latest end	winters with ice all winters	Mean days with ice	Min. days with ice	Max. days with ice	winters with ice all winters	Min. days with ice	Max. days with ice		
Dagebüll, Hafen		100	11.01	12.12	18.02	16.02	30.12	9.03	16.8	16.8	3	16.8	3	44			
Dagebüller Fahrwasser		100	13.01	12.12	18.02	17.02	30.12	9.03	15.5	15.5	2	15.5	2	37			
Wyk auf Föhr, Hafen		87	16.01	19.12	19.02	12.02	31.12	26.02	14.5	12.1	2	14.5	2	45			
Wyk auf Föhr, Norderaue		87	16.01	19.12	19.02	13.02	31.12	26.02	14.6	12.1	1	14.6	1	41			
Husum, Hafen		100	22.12	16.11	15.02	22.02	15.01	16.03	26.4	26.4	12	26.4	12	58			
Husum, Au		100	23.12	16.11	18.02	20.02	15.01	16.03	25.1	25.1	8	25.1	8	56			
Nordstrand, Hever		100	8.01	23.11	15.02	14.02	1.01	9.03	21.2	21.2	7	21.2	7	40			
Tönning, Hafen		100	16.12	23.11	28.01	25.02	2.02	25.03	39.8	39.8	16	39.8	16	75			
Eiderdamm, Seegebiet		100	22.12	23.11	8.02	26.02	3.02	25.03	38.7	38.7	15	38.7	15	80			
Büsum, Hafen		100	21.12	23.11	14.02	21.02	4.01	9.03	28.5	28.5	12	28.5	12	62			
Büsum, Norderpiep		100	6.01	26.11	14.02	15.02	30.12	9.03	20.8	20.8	7	20.8	7	57			
Büsum, Süderpiep		100	6.01	26.11	14.02	15.02	30.12	9.03	20.5	20.5	7	20.5	7	54			
Hamburg-Landungsbrücken		100	29.12	23.11	19.02	17.02	8.01	9.03	25.1	25.1	6	25.1	6	55			
Stadersand, Elbe		100	10.01	13.12	19.02	16.02	2.01	6.03	19.1	19.1	5	19.1	5	48			
Glückstadt, Hafen und Einfahrt		87	30.12	22.11	10.02	24.02	30.01	22.03	36	31.5	18	36	18	71			
Glückstadt, Elbe		87	9.01	23.11	10.02	22.02	25.01	20.03	29.9	26.1	11	29.9	11	60			
Brunsbüttel, Elbe		100	15.01	16.12	22.02	9.02	22.12	20.03	20.7	20.7	7	20.7	7	50			
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt		94	12.01	20.12	18.02	10.02	14.01	20.03	16.3	15.3	3	16.3	3	57			
Cuxhaven, Elbe		94	13.01	21.12	18.02	6.02	31.12	19.03	14.2	13.3	3	14.2	3	30			
Cuxhaven – Neuwerk		87	16.01	25.12	19.02	8.02	31.12	6.03	12.1	10.6	2	12.1	2	26			
Neuwerk, Elbe		81	18.01	25.12	19.02	7.02	30.12	23.02	8.7	7.1	1	8.7	1	21			
Großer Vogelsand		62	16.01	27.12	19.02	23.01	31.12	23.02	5.7	3.6	1	5.7	1	17			
Ansteuerungstonne Elbe		31	1.02	11.01	18.02	3.02	14.01	3.02	3.8	1.2	3	3.8	3	7			
Helgoland, Hafen und Einläufe		0															

Tabelle 13: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in mäßigen Eiswintern

Table 13: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in moderate ice winters

1961–2010		Häufigkeit %	Median			Früh.			Spät.			Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
Mäßige Eiswinter (32%)			Beginn	Ende	Spät. Beginn	Beginn	Ende	Spät. Beginn	Ende	Ende	Ende	alle Winter	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis
1961–2010		Frequency %	Median			Earliest			Latest			Mean days		Min. days		Max. days	
Moderate ice winters (32%)			begin	end	begin	begin	end	begin	end	end	winters with ice	all winters	with ice	with ice	with ice	with ice	with ice
Bremen, Weser		75	5.01	23.11	15.02	23.01	2.01	22.02	22.02	8.9	6.7	5	27				
Brake, Weser		75	12.01	24.12	19.02	24.01	30.12	27.02	27.02	9.2	6.9	1	26				
Bremerhaven, Weser		94	14.01	18.12	22.02	29.01	30.12	23.02	23.02	9.9	9.2	2	28				
Hohe-Weg-Leuchtturm		94	14.01	13.12	17.02	14.02	13.01	7.03	7.03	11.7	10.9	3	21				
Alte Weser, Fahrwasser		50	9.01	14.12	22.02	28.01	19.12	22.03	22.03	8.5	4.2	1	19				
Neue Weser, Fahrwasser		19	1.01	19.12	21.02	19.01	19.12	21.02	21.02	7	1.3	1	19				
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt		87	23.01	17.12	19.02	3.02	25.12	6.03	6.03	9.9	8.7	3	21				
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.		100	12.01	12.12	17.02	3.02	31.12	8.03	8.03	15.6	15.6	4	43				
Schillig, Jadegebiet		56	16.01	31.12	17.02	8.02	13.01	7.03	7.03	9.9	5.6	2	19				
Wangerooger Fahrwasser		75	19.01	17.12	22.02	2.02	10.01	23.02	23.02	5.4	4.1	1	12				
Wangerooge, Watten		100	11.01	16.11	21.02	8.02	30.12	23.03	23.03	13.4	13.4	3	39				
Wangerooge, Harle		100	11.01	16.11	21.02	8.02	30.12	24.03	24.03	13.2	13.2	3	39				
Norderney, Watten		100	10.01	16.11	14.02	9.02	30.12	8.03	8.03	15.6	15.6	6	30				
Norderney, Seegat		94	10.01	16.11	7.02	6.02	30.12	8.03	8.03	12.1	11.4	2	28				
Emden, Ems und Aussenhafen		100	7.01	2.12	15.02	4.02	3.01	28.02	28.02	18.1	18.1	6	39				
Ems, Emden – Randzelgat		100	6.01	23.11	16.02	4.02	31.12	8.03	8.03	19.6	19.6	5	37				
Borkum, Randzelgat		100	14.01	12.12	18.02	9.02	1.01	28.02	28.02	13.1	13.1	3	33				
Borkum, Westerems		87	16.01	12.12	21.02	9.02	31.12	23.02	23.02	11	9.6	1	27				

Tabelle 13: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in mäßigen Eiswintern (Fortsetzung)

Table 13: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in moderate ice winters (continued)

1961–2010		Häufigkeit %	Median		Früh.		Spät.		Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
Starke Eiswinter (16%)			Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Winter mit Eis alle Winter	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis
<i>Station</i>	<i>Strong ice winters (16%)</i>	<i>Frequency</i> %	<i>Median</i> <i>begin</i>	<i>Median</i> <i>end</i>	<i>Earliest</i> <i>begin</i>	<i>Earliest</i> <i>end</i>	<i>Latest</i> <i>begin</i>	<i>Latest</i> <i>end</i>	<i>Mean days</i> <i>winters with ice</i>	<i>Mean days</i> <i>all winters</i>	<i>Min. days</i> <i>with ice</i>	<i>Min. days</i> <i>with ice</i>	<i>Max. days</i> <i>with ice</i>	<i>Max. days</i> <i>with ice</i>
Dagebüll, Hafen		100	29.12	7.03	8.12	11.02	10.01	15.03	54.4	54.4	24	24	84	84
Dagebüller Fahrwasser		100	29.12	7.03	8.12	11.02	10.01	15.03	53.7	53.7	20	20	82	82
Wyk auf Föhr, Hafen		100	30.12	4.03	21.12	7.02	10.02	11.03	48.1	48.1	25	25	71	71
Wyk auf Föhr, Norderaue		100	30.12	4.03	21.12	10.02	10.02	10.03	50.4	50.4	27	27	71	71
Husum, Hafen		100	28.12	2.03	2.12	7.02	10.01	16.03	55.6	55.6	40	40	90	90
Husum, Au		100	28.12	1.03	2.12	7.02	10.01	16.03	55.1	55.1	37	37	90	90
Nordstrand, Hever		100	22.12	7.03	12.12	10.02	10.01	16.03	61	61	38	38	80	80
Tönning, Hafen		100	15.12	21.03	6.12.	28.02	2.01	26.03	85.1	85.1	66	66	108	108
Eiderdamm, Seegebiet		100	16.12	15.03	30.11	28.02	24.12	25.03	75.7	75.7	64	64	94	94
Büsum, Hafen		100	26.12	9.03	8.12	14.02	10.01	21.03	64.7	64.7	49	49	82	82
Büsum, Norderpiep		100	30.12	7.03	8.12	14.02	10.01	12.03	58	58	44	44	75	75
Büsum, Süderpiep		100	28.12	7.03	8.12	14.02	10.01	12.03	58.2	58.2	43	43	75	75
Hamburg-Landungsbrücken		100	31.12	2.03	15.12	28.01	10.01	10.03	50.6	50.6	33	33	78	78
Stadersand, Elbe		100	30.12	2.03	16.12	27.01	5.02	11.03	49.9	49.9	35	35	76	76
Glückstadt, Hafen und Einfahrt		100	27.12	8.03	2.12	28.02	7.02	23.03	62.4	62.4	30	30	93	93
Glückstadt, Elbe		100	2.01	6.03	2.12	29.01	7.02	23.03	53.7	53.7	30	30	86	86
Brunsbüttel, Elbe		100	2.01	6.03	21.12	1.02	10.02	21.03	52.6	52.6	32	32	78	78
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt		100	1.01	2.03	18.12	28.01	9.02	15.03	49.4	49.4	32	32	77	77
Cuxhaven, Elbe		100	1.01	2.03	19.12	28.01	9.02	15.03	48.5	48.5	31	31	70	70
Cuxhaven – Neuwerk		100	1.01	2.03	19.12	28.01	9.02	15.03	43.9	43.9	28	28	68	68
Neuwerk, Elbe		100	1.01	1.03	19.12	25.01	9.02	15.03	41.6	41.6	24	24	65	65
Großer Vogelsand		100	4.01	26.02	20.12	25.01	21.02	12.03	30.5	30.5	7	7	50	50
Ansteuerungstonne Elbe		75	11.01	24.02	1.01	3.02	25.02	7.03	19.2	19.2	3	3	56	56
Helgoland, Hafen und Einläufe		62	20.01	23.02	18.01	21.01	1.03	14.03	10.6	6.6	2	2	25	25

Tabelle 14: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in starken bis extrem starken Eiswintern
 Table 14: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in strong to extremely strong ice winters

1961–2010		Häufigkeit %	Median			Spät.			Mittel Tage			Max. Tage		
Starke Eiswinter (16%)			Beginn	Früh. Beginn	Spät. Beginn	Ende	Früh. Ende	Spät. Ende	Winter mit Eis alle Winter	Min. Tage mit Eis	Max. Tage mit Eis			
1961–2010		Frequency %	Median begin	Earliest begin	Latest begin	Median end	Earliest end	Latest end	Mean days all winters	Min. days with ice	Max. days with ice			
Bremen, Weser		100	2.01	19.12	26.02	18.02	20.01	6.03	24.2	3	73			
Brake, Weser		100	3.01	21.12	23.02	20.02	21.01	7.03	27.7	3	71			
Bremerhaven, Weser		100	4.01	17.12	1.03	19.02	21.01	8.03	28.5	4	73			
Hohe-Weg-Leuchtturm, FW		100	3.01	21.12	9.02	27.02	25.01	12.03	39.6	22	80			
Alte Weser, FW		100	3.01	22.12	9.02	22.02	25.01	11.03	26.6	10	56			
Neue Weser, FW		87	16.01	3.01	12.02	16.02	17.01	3.03	14.6	1	38			
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt		100	31.12	18.12	7.02	24.02	23.01	17.03	41.1	29	76			
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.		100	1.01	17.12	11.01	28.02	23.01	17.03	43.4	29	76			
Schillig, Jadegebiet		100	5.01	21.12	10.02	27.02	21.01	12.03	32.7	8	60			
Wangerooger Fahrwasser		100	5.01	24.12	10.02	23.02	13.01	8.03	21.9	10	65			
Wangerooge, Watten		100	27.12	8.12	7.02	28.02	25.01	16.03	42.4	33	76			
Wangerooge, Harle		100	27.12	8.12	7.02	28.02	25.01	17.03	42.7	33	76			
Norderney, Watten		100	21.12	6.12	6.02	2.03	23.01	15.03	50.3	29	74			
Norderney, Seegat		100	28.12	7.12	9.02	2.03	22.01	13.03	43.7	26	74			
Emden, Ems und Aussenhafen		100	30.12	16.12	6.02	3.03	28.01	16.03	48.9	35	71			
Ems, Emden – Randzelgat		100	21.12	9.12	6.02	28.02	28.01	16.03	49	36	80			
Borkum, Randzelgat		100	22.12	7.12	6.02	28.02	25.01	16.03	46.6	34	80			
Borkum, Westerems		100	31.12	21.12	11.02	27.02	22.01	13.03	38.5	19	78			

Tabelle 14: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in starken bis extrem starken Eiswintern (Fortsetzung)
 Table 14: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in strong to extremely strong ice winters (continued)

Eiskarten für Winterstatistik

Ice charts of Winter Statistic

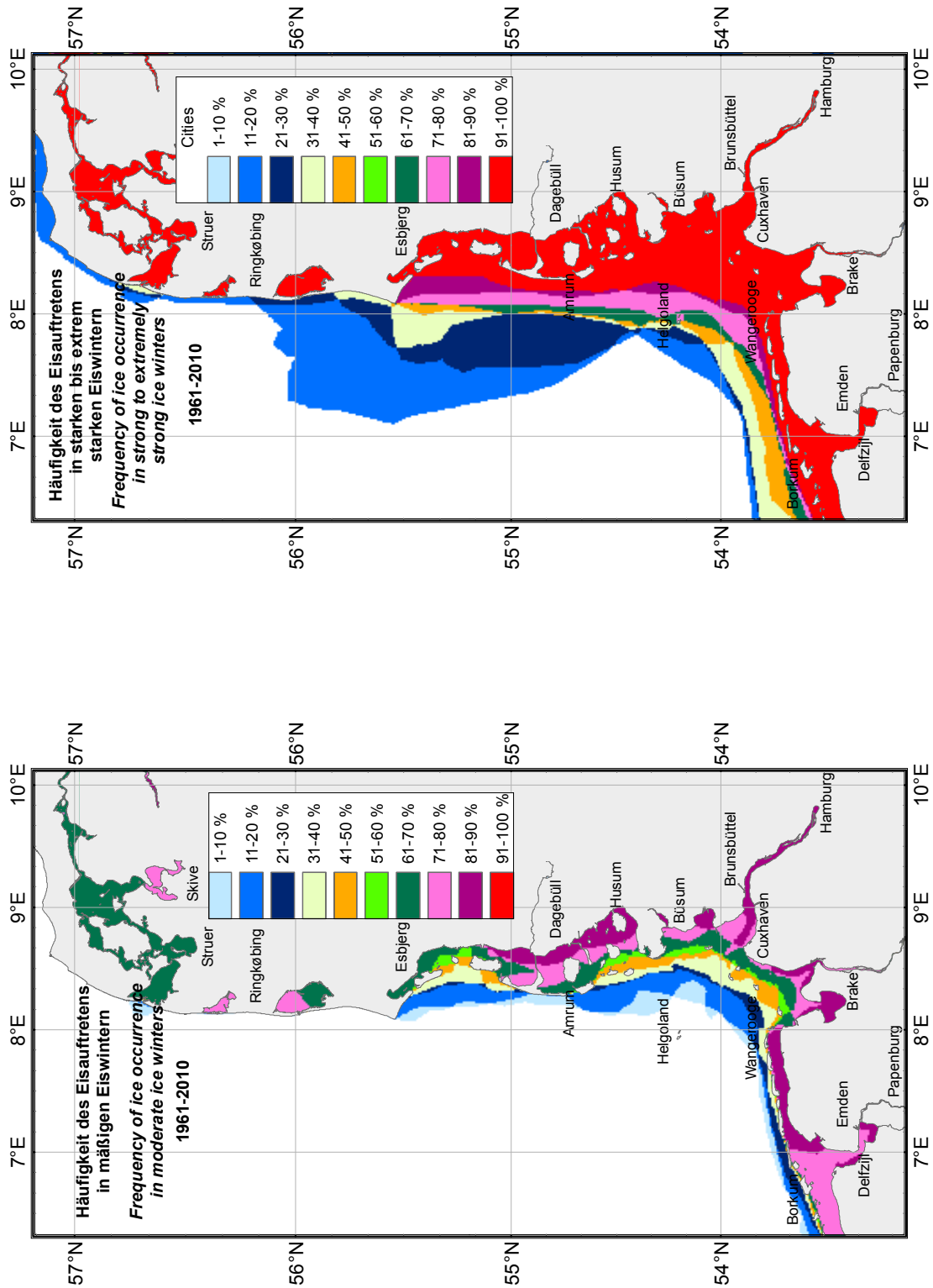


Abb. 21: Häufigkeit des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 21: Frequency of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

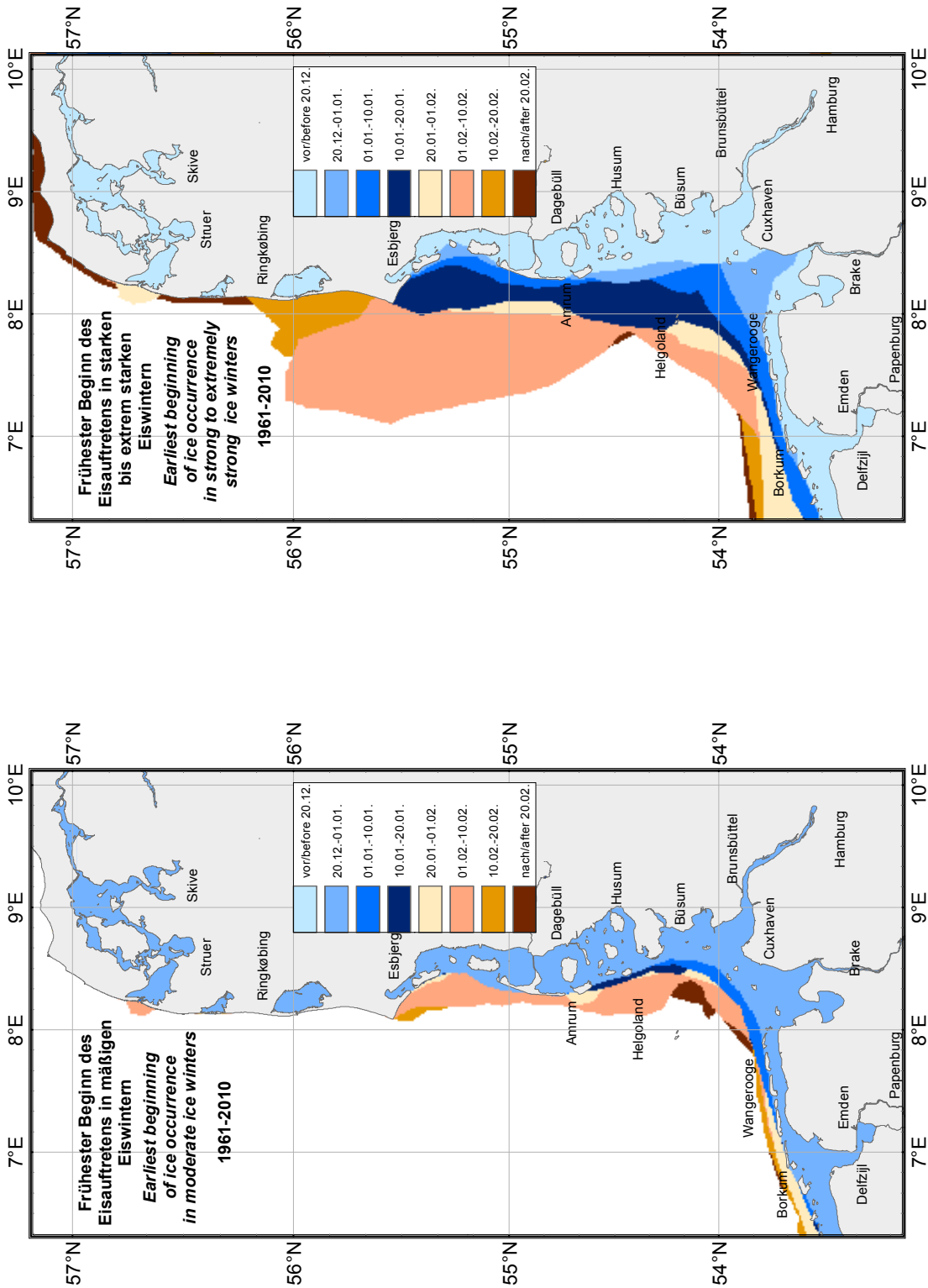


Abb. 22: Frühester Beginn des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 22: Earliest beginning of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

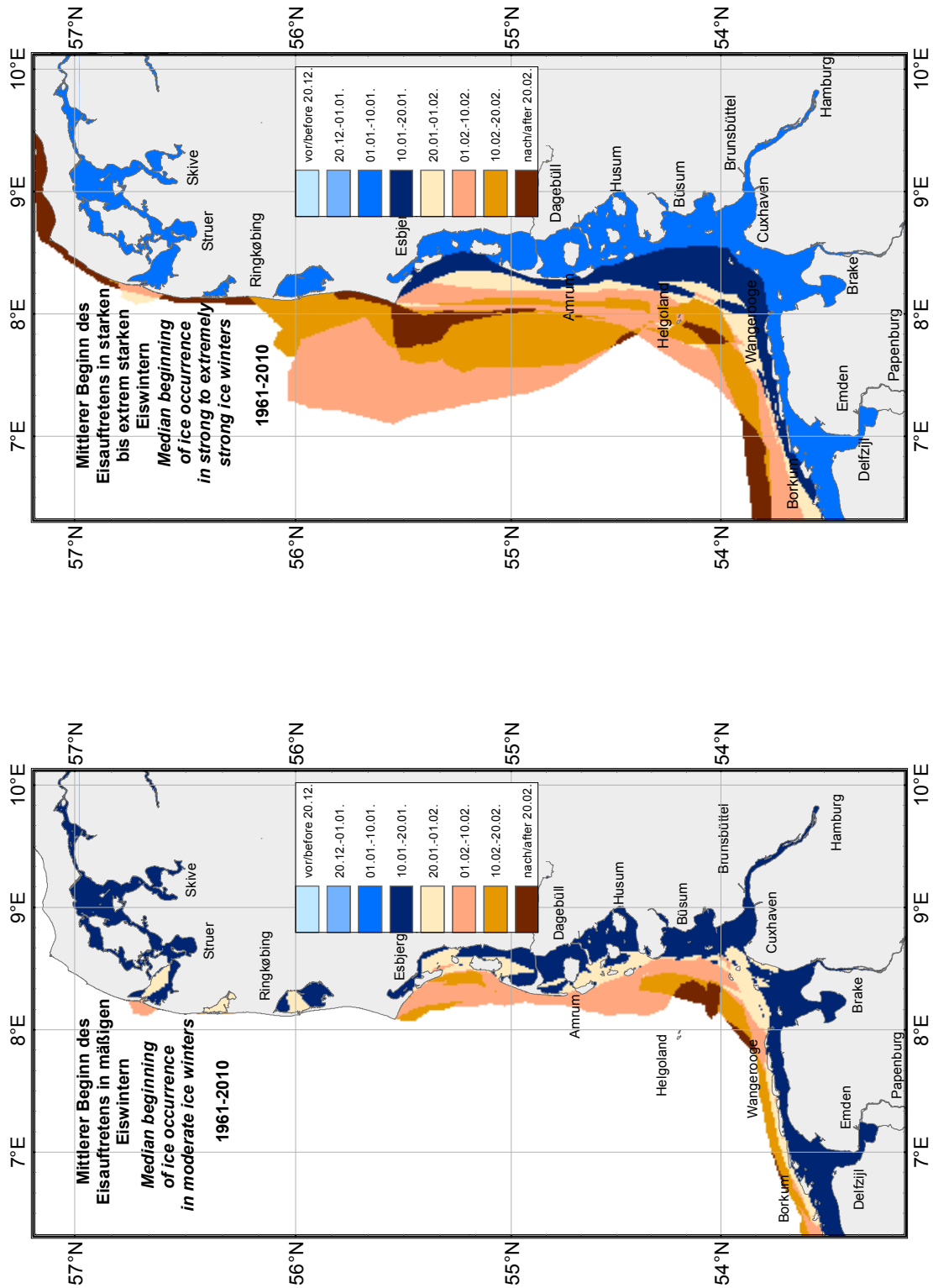


Abb. 23: Mittlerer Beginn des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 23: Median beginning of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

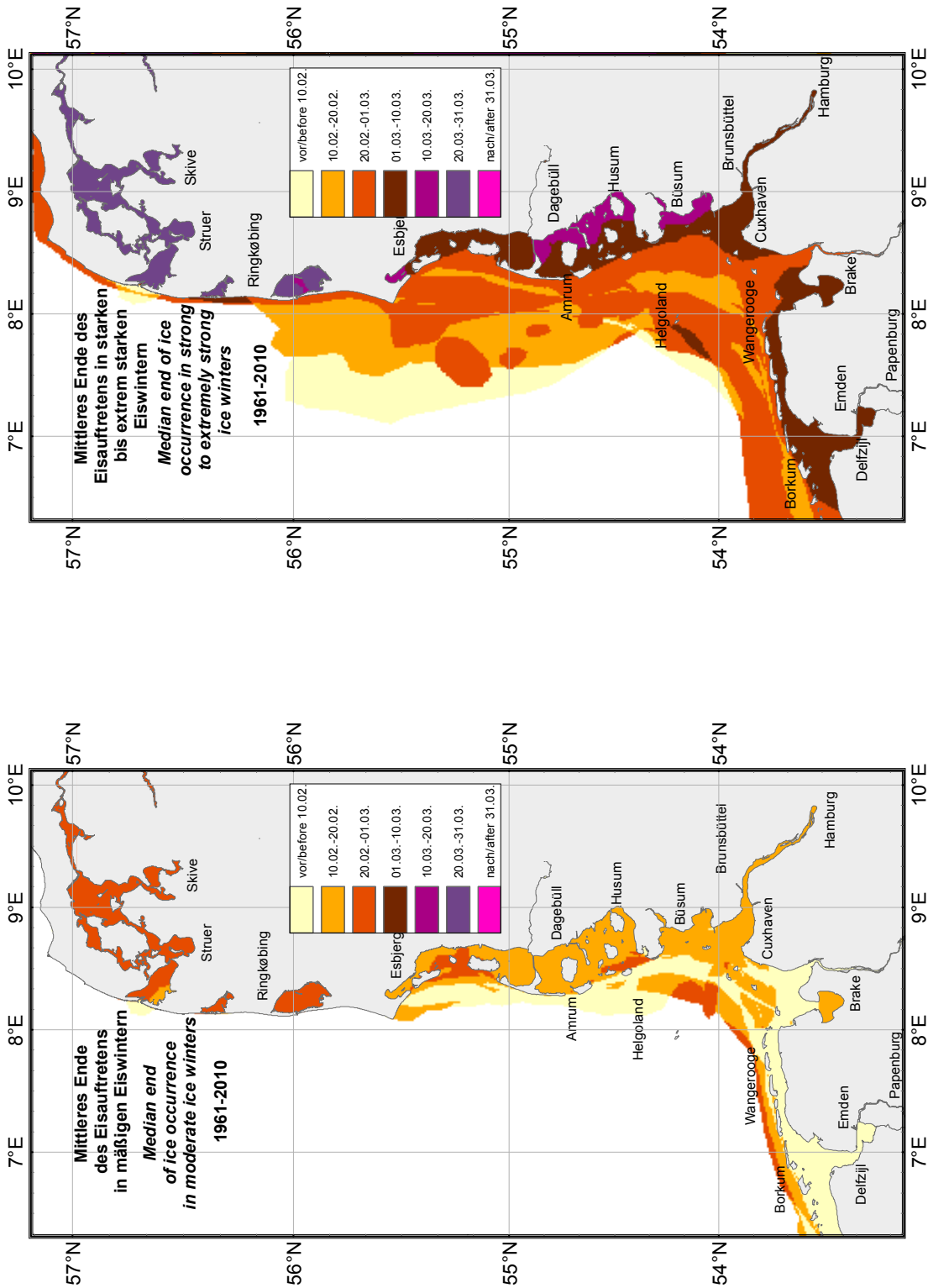


Abb. 24: Mittleres Ende des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 24: Median end of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

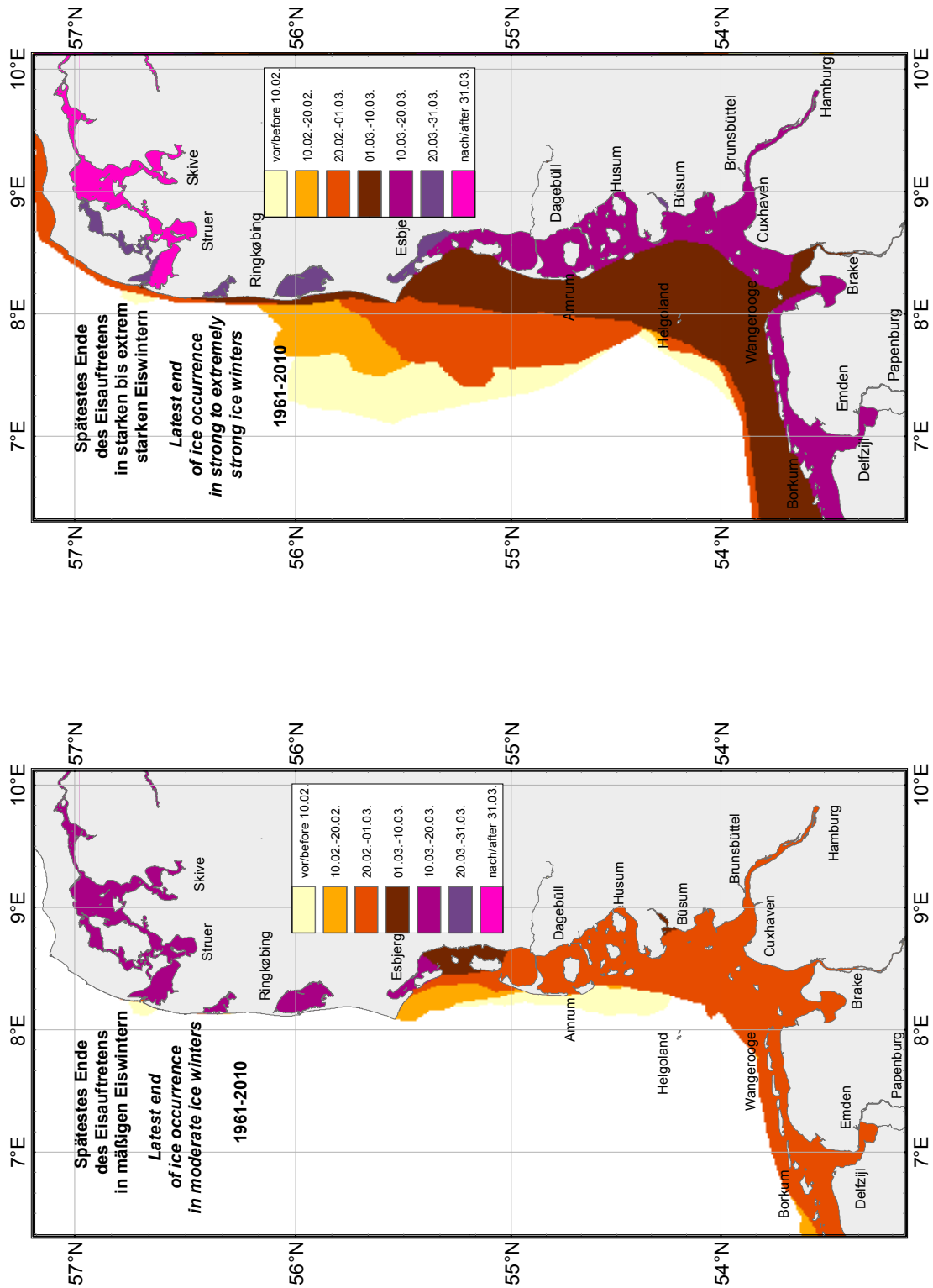


Abb. 25: Das späteste Ende des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 25: Latest end of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

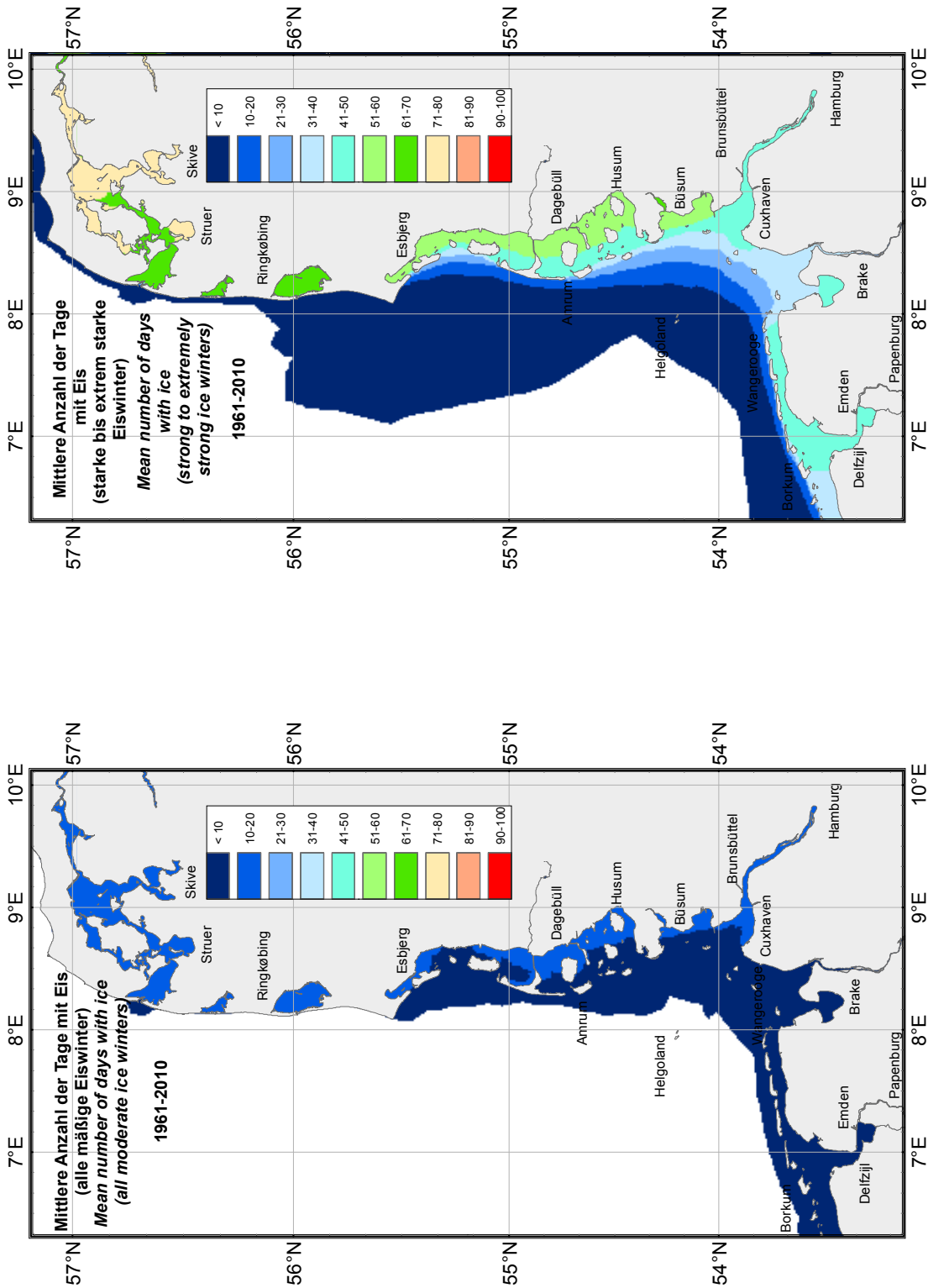


Abb. 26: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (alle Winter) in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 26: Mean number of the days with ice (all winters) in moderate and strong to extremely strong ice winters

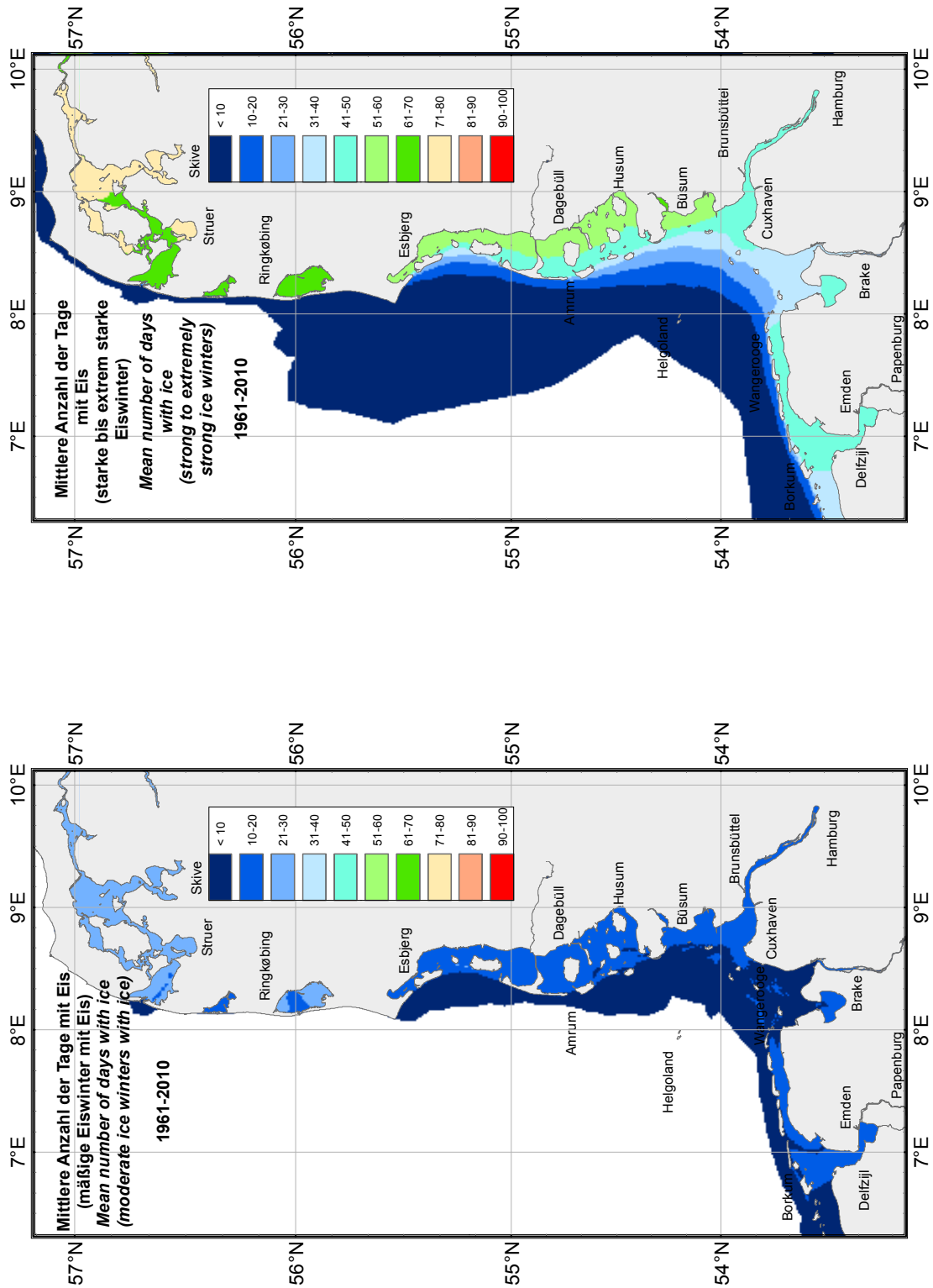


Abb. 27: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (Winter mit Eis) in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 27: Mean number of the days with ice (winters with ice) in moderate and strong to extremely strong ice winters

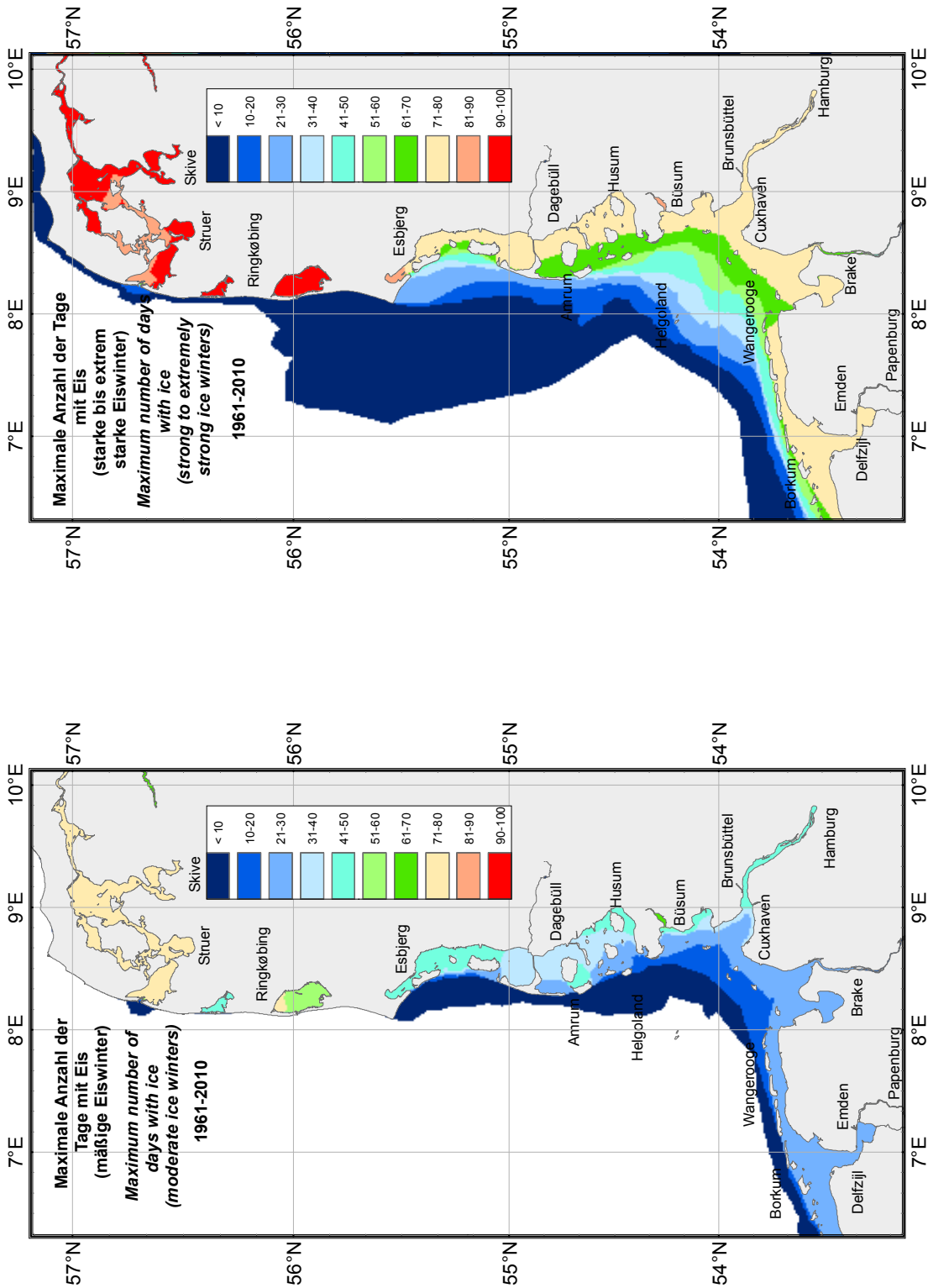


Abb. 28: Maximale Anzahl der Tage mit Eis in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 28: Maximum number of the days with ice in moderate and strong to extremely strong ice winters

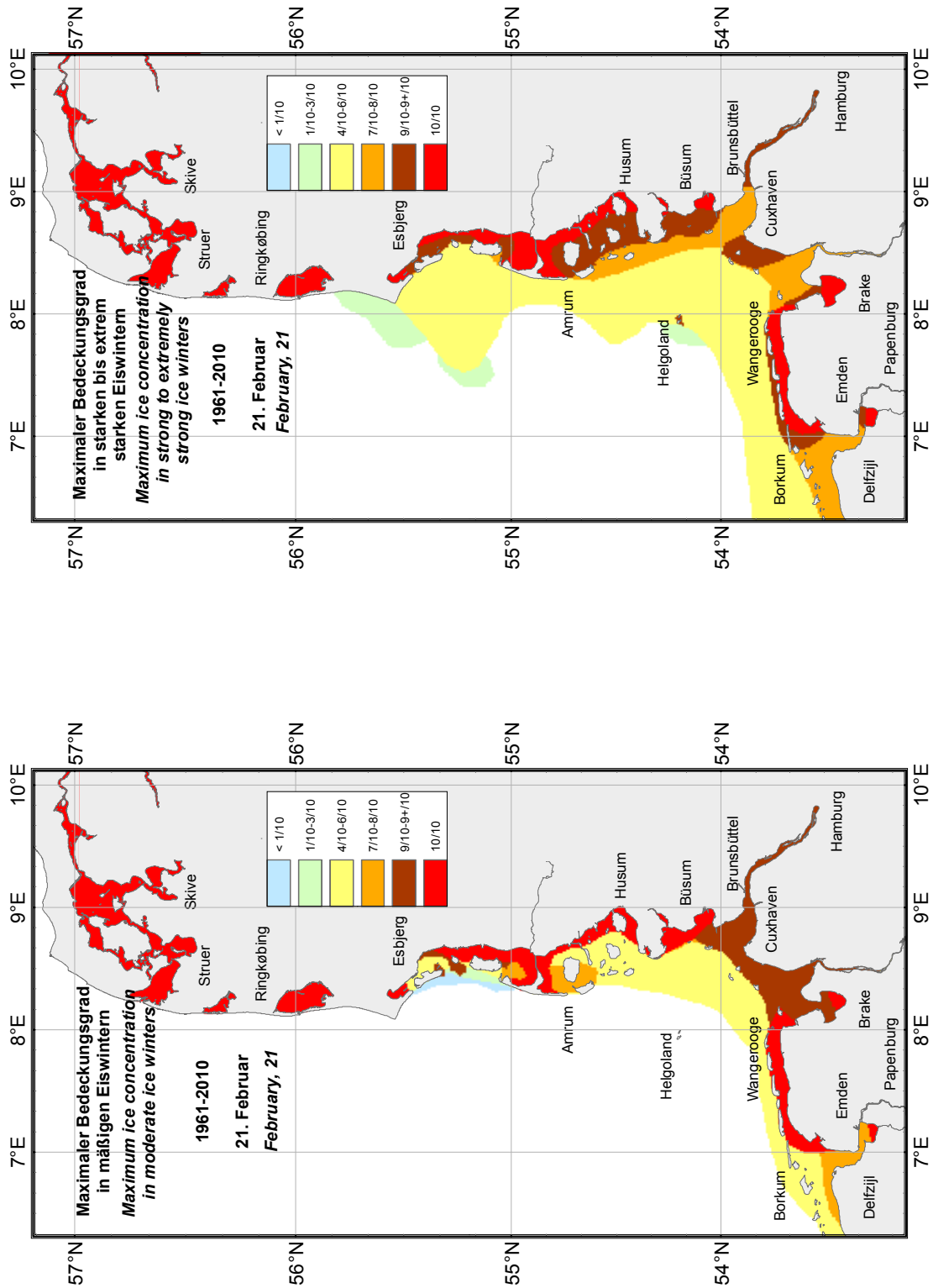


Abb. 29: Maximaler Eisbedeckungsgrad am 21. Februar in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 29: Maximum ice concentration on 21 of February in moderate and strong to extremely strong ice winters

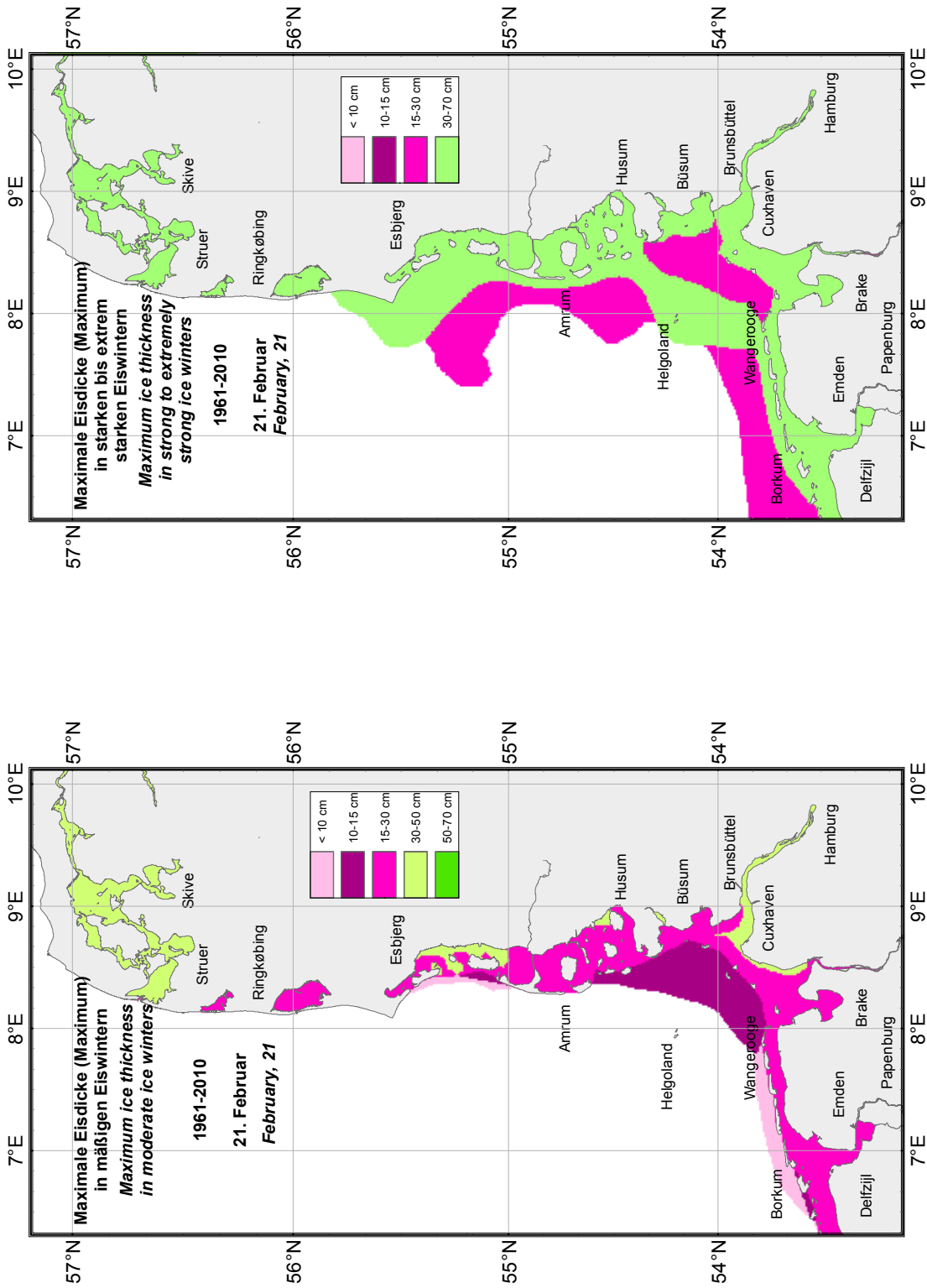


Abb. 30: Maximale Eisdicke am 21. Februar in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
 Fig. 30: Maximum ice thickness on 21 February in moderate and strong to extremely strong ice winters

Lufttemperatur- und Eisverhältnisse in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter

Die Vereisung der Gewässer an der Nordseeküste hängt in erster Linie von den Temperaturverhältnissen ab. Die Dauer und Stärke des Frostes sowie die Anzahl und Länge der Kälteperioden bestimmen die Eisbildung und Eisentwicklung. In den Abb. 31–33 ist die Änderung der Lufttemperatur in den Wintermonaten des extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinters für die Stationen Norderney, Cuxhaven und List/Sylt dargestellt. In den Tabellen 15–17 sind die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und deren Abweichungen vom Klimamittel 1971–2000 zusammengefasst. In den Abb. 34–43 werden die Eisverhältnisse am 1., 11., 21. jeden Wintermonats in den analysierten Wintern und in den Abb. 44–45 die Entwicklung der Lufttemperatur und der Eisverhältnisse im mäßigen Eiswinter 2009/10 verglichen.

Die Temperaturentwicklung in den drei Wintern verläuft unterschiedlich und ist ausschlaggebend für die produzierte Eismenge.

Im **extrem starken** Eiswinter 1962/63 lagen die Tagesmittel der Lufttemperatur noch bis Mitte Dezember überwiegend im positiven Bereich. Danach gab es eine durchgehende Kälteperiode mit Dauerfrost, die erst Anfang März endete. Die Tagesmitteltemperaturen in dieser Periode lagen meist zwischen -5 und -10 °C, nachts oft darunter. In diesem Winter dominierten die Wetterlagen, die zu rascher Eiszunahme führen, z. B. Hoch über Skandinavien und dem Nordmeer. Häufige Vorstöße arktischer Polarluft bis nach Mitteleuropa begünstigten die Eisproduktion. Die Eisdicke in den geschützt liegenden Bereichen nahm ständig zu, die Eislage auf den Nordseezuflüssen und auf See änderte sich nur wind- und strömungsbedingt. Erst mit der Umstellung der Großwetterlage Anfang März war der Höhepunkt des Winters im Bereich der deutschen Küste überschritten. Unter dem Einfluss der warmen südwestlichen Luftströmung begann von Süden her der langsame Eisrückgang, der bis Anfang April dauerte.

Im **starken** Eiswinter 1995/96 gab es zwei für die Eisbildung relevante Kälteperioden. Die erste dauerte zwei Wochen vom 24. Dezember bis 7. Januar, die zweite etwa drei Wochen vom 20. Januar bis Mitte Februar (Strübing, 1996). Am kältesten

Air temperature and ice conditions in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter

The ice formation in the waters on the North Sea coast primarily depends on the temperature conditions. The duration and severity of the frost and the number and length of the cold spells determine the ice formation and development. Fig's 31–33 depict the change in air temperature in the winter months of extremely strong (1962/63), strong (1995/96) and moderate (2009/10) ice winters for the stations Norderney, Cuxhaven, and List/Sylt. Tables 15–17 summarise the monthly air temperature means and their deviations from the climate average of the period 1971 to 2000. Fig's 34–43 compare the ice conditions on 1st, 11th, and 21st of each winter month in the winters analysed and Fig's 44–45 compare the air temperature development and ice conditions during the moderate 2009/10 ice winter.

The temperature development in the three winters proceeds differently and is the determining factor in the quantity of ice produced.

*The daily air temperature average during the **extremely strong** 1962/63 ice winter was still predominantly in the positive range until mid-December. After this, there was a permanent cold spell with continuous frost which ended as late as early March. The average daily temperatures in this period were mostly between -5° and -10° C and often below this at night. This winter saw the weather conditions which led to rapid ice increases dominating, for example highs over Scandinavia and the Nordic Seas. Frequent advances of Arctic easterlies reaching as far as central Europe facilitated ice production. The ice thickness in the sheltered areas increased constantly; the position of the ice on the North Sea tributaries and sea only changed as a result of wind and currents. It was only the change in the general weather situation in early March that saw the culmination of the winter in the German coastal area exceeded. The slow decrease in ice, which lasted until early April, began from the south under the influence of the warm, south-westerly wind flow.*

*There were two cold spells relevant to the ice formation during the **strong** ice winter of 1995/96. The first lasted two weeks, from 24 December to 7 January; the second lasted approximately three weeks from 20 January to mid-February*

war es in den ersten Tagen des Februars mit Werten der Tagesmitteltemperatur um $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Verantwortlich für die ungewöhnliche Kälte in diesem Winter waren die Wetterlagen mit überwiegend östlichen Winden, die polare Luft aus Nordrussland bis zur Nordsee brachten. Entsprechend den meteorologischen Bedingungen gab es an der deutschen Nordseeküste im Winter 1995/96 zwei Perioden mit mehr oder weniger intensiver Eisbildung in den Häfen, auf den Nordseezuflüssen und in den Wattenbereichen. Die häufigen ablandigen Winde sorgten für Ausbreitung des Eises auch im Seebereich. Mitte Februar setzte unter Einfluss der warmen Meeresluft aus Südwesten der Eisrückgang an der ostfriesischen Küste, Ende Februar auch an der nordfriesischen Küste ein. Die deutsche Nordseeküste war mit Ausnahme des Hafens Tönning Mitte März eisfrei, d. h. etwa drei Wochen später als im Durchschnitt. Der Winter 1995/96 war zwar nicht extrem kalt, dafür aber ungewöhnlich lang.

Im **mäßigen** Eiswinter 2009/10 gab es eine von Mitte Dezember bis Ende Februar dauernde Kälteperiode, die immer wieder durch kurze milde Phasen unterbrochen wurde. Die tiefsten Werte der Tagesmitteltemperatur lagen zwischen -4 und $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ und wurden um den 20. Dezember und um den 20. Januar gemessen. Die Gefrierbereitschaft des Wassers wurde an der nordfriesischen Küste Ende Dezember und an der ostfriesischen Küste Mitte Januar erreicht. Das erste Eis bildete sich an der nordfriesischen Küste sowie auf der Unterelbe zwischen dem 16. und dem 23. Dezember. Infolge des Weihnachtstauwetters verschwand das dünne Eis an der Nordseeküste vollständig. Die Eisbildung begann erneut an der nordfriesischen Küste und auf der Unterelbe in der zweiten Januardekade. Die Eiszunahme setzte sich im Februar nur in den nordfriesischen Wattenbereichen kontinuierlich fort. An den ostfriesischen und westfriesischen Küsten kam lockeres dünnes Eis nur an wenigen Tagen im Januar und Februar vor. In der dritten Februardekade setzte sich mit südwestlichen Winden nach und nach wärmere Luft in den Küstenregionen durch und leitete den Eisrückgang ein. Die Nordseeküste und die Nordseezuflüsse waren am 7. März vollkommen eisfrei. Im Limfjord an der dänischen Küste bildete sich bereits Ende Dezember in geschützten Bereichen Eis, das im Verlauf des Januars zu einer Festeisdecke zusammenfrohr und erst in der dritten Märzdekade vollständig verschwand (Schmelzer, Holfort, 2014).

(Strübing, 1996). It was coldest in the first days of February, with average daily temperature values of approximately -9°C . The weather conditions, with predominantly easterly winds which brought the polar air from northern Russia right up to the North Sea, were responsible for the unusual cold this winter. In accordance with the meteorological conditions, there were two periods of more or less concentrated ice formation in the ports, on the North Sea tributaries and in the tidal flat areas in the winter of 1995/96. The frequent offshore winds caused the ice to disperse, also in the sea area. In mid-February, the ice began to decrease on the East Frisian coast under the influence of the warm maritime air from the south-west and the ice on the North Frisian coast followed at the end of February. The German North Sea coast was ice-free in mid-March, with the exception of the port of Tönning, i. e. approximately three weeks later than on average. Although the winter of 1995/96 was not extremely cold, it was unusually long.

There was a cold spell during the moderate ice winter of 2009/10, lasting from mid-December to the end of February, which was repeatedly interrupted by short, mild phases. The lowest average daily temperature values were between -4°C and -8°C and were measured around 20 December and 20 January. The propensity of the water to freeze was reached at the end of December on the North Frisian coast and in mid-January on the East Frisian coast. The first ice formed on the North Frisian coast and the Lower Elbe, between 16 and 23 December. As a result of the Christmas thaw, the thin ice on the North Sea coast disappeared completely. The ice formation began again on the North Frisian coast and the Lower Elbe in the second decade of January. The increase in ice continued in February in the North Frisian tidal flat areas only. Open, thin ice only occurred on the East Frisian and West Frisian coasts in January and February. Southerly winds gradually warmed up the air in the coastal regions in the third decade of February and triggered the ice decrease. The North Sea coast and the North Sea tributaries were completely ice-free on 7 March. Ice had already formed in sheltered areas in the Limfjord on the Danish coast in late December. It froze together to form a fast ice cover throughout January and only disappeared completely in the third decade of March (Schmelzer, Holfort, 2014).

Station	Dezember 1962		Januar 1963		Februar 1963		März 1963	
	°C	K	°C	K	°C	K	°C	K
Norderney	-0.2	-3.9	-4.0	-6.2	-3.9	-6.2	2.6	-2.0
Cuxhaven	0.3	-2.9	-4.9	-6.7	-4.0	-6.1	2.4	-2.1
List/Sylt	1.1	-2.2	-4.6	-6.3	-3.9	-5.4	0.1	-3.2

Tabelle 15: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 1962/63 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1971–2000 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 15: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 1962/63 and their deviation from the 1971–2000 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Station	Dezember 1995		Januar 1996		Februar 1996		März 1996	
	°C	K	°C	K	°C	K	°C	K
Norderney	-1.4	-5.1	-1.9	-4.1	-1.8	-3.6	1.0	-3.6
Cuxhaven	-1.5	-4.7	-2.0	-3.8	-1.7	-3.2	0.9	-3.5
List/Sylt	-1.2	-4.5	-2.0	-3.7	-2.8	-3.7	0.1	-3.2

Tabelle 16: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 1995/96 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1971–2000 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 16: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 1995/96 and their deviation from the 1971–2000 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Station	Dezember 2009		Januar 2010		Februar 2010		März 2010	
	°C	K	°C	K	°C	K	°C	K
Norderney	2.2	-1.5	-1.6	-3.8	-0.4	-2.7	4.9	0.3
Cuxhaven	1.6	-1.6	-2.4	-4.2	-0.7	-2.8	5.0	0.6
List/Sylt	1.9	-1.4	-2.5	-4.2	-1.4	-2.9	3.4	0.1

Tabelle 17: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 2009/10 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1971–2000 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 17: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 2009/10 and their deviation from the 1971–2000 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

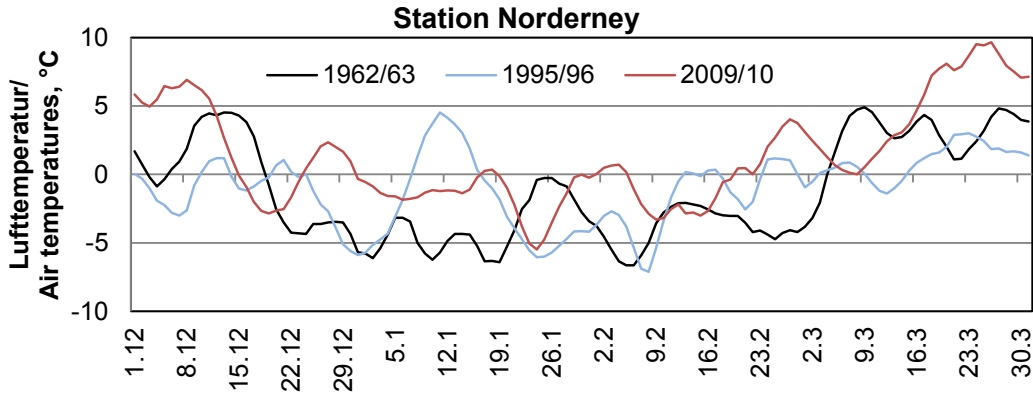


Abb. 31: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station Norderney in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Fig. 31: 5-day running means of air temperature, measured at the Norderney station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

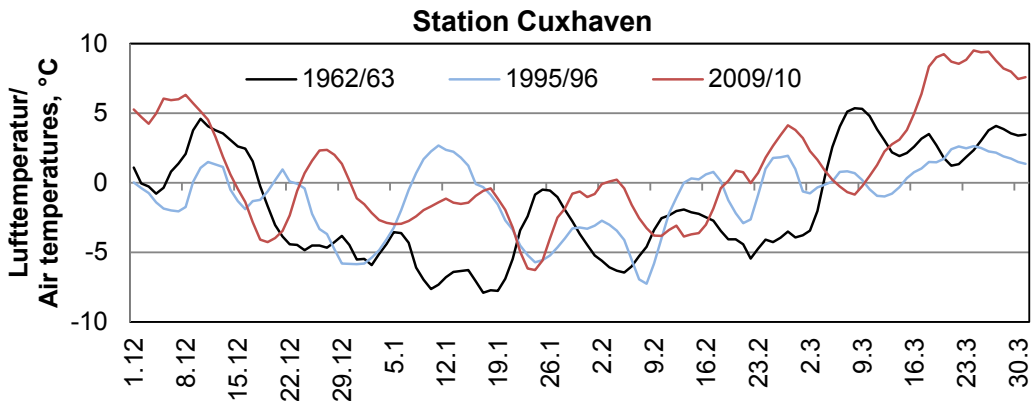


Abb. 32: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station Cuxhaven in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Fig. 32: 5-day running means of air temperature, measured at the Cuxhaven station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

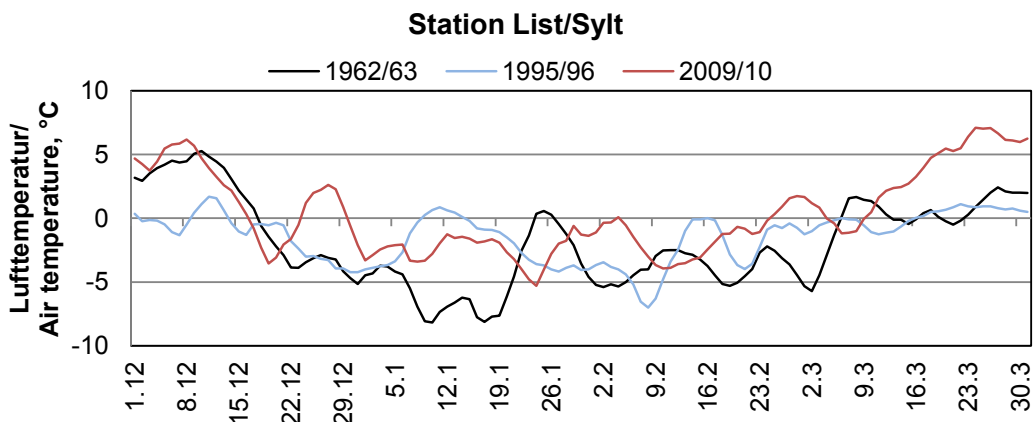


Abb. 33: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station List/Sylt in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Fig. 33: 5-day running means of air temperature, measured at the List/Sylt station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

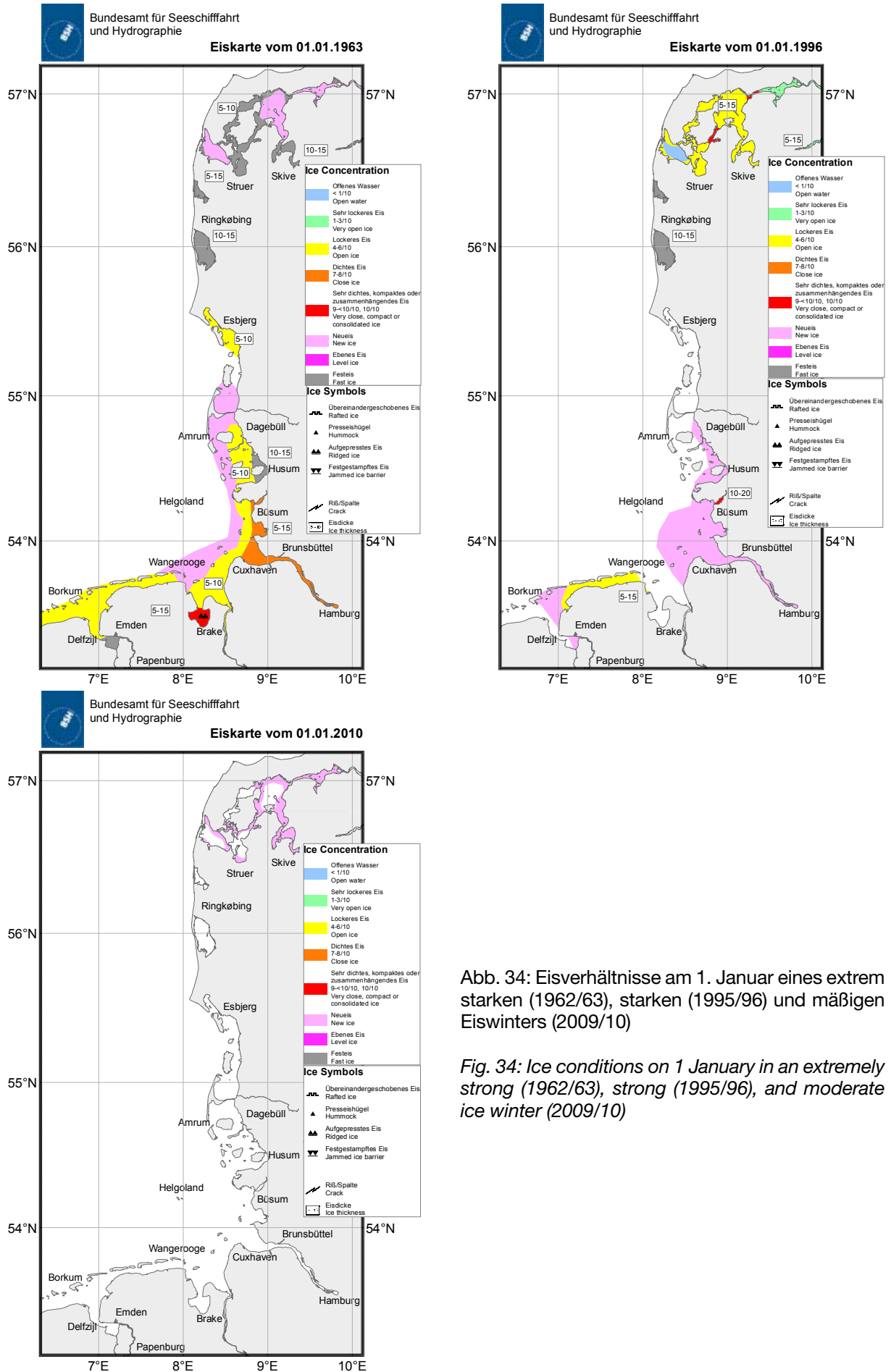


Abb. 34: Eisverhältnisse am 1. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 34: Ice conditions on 1 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

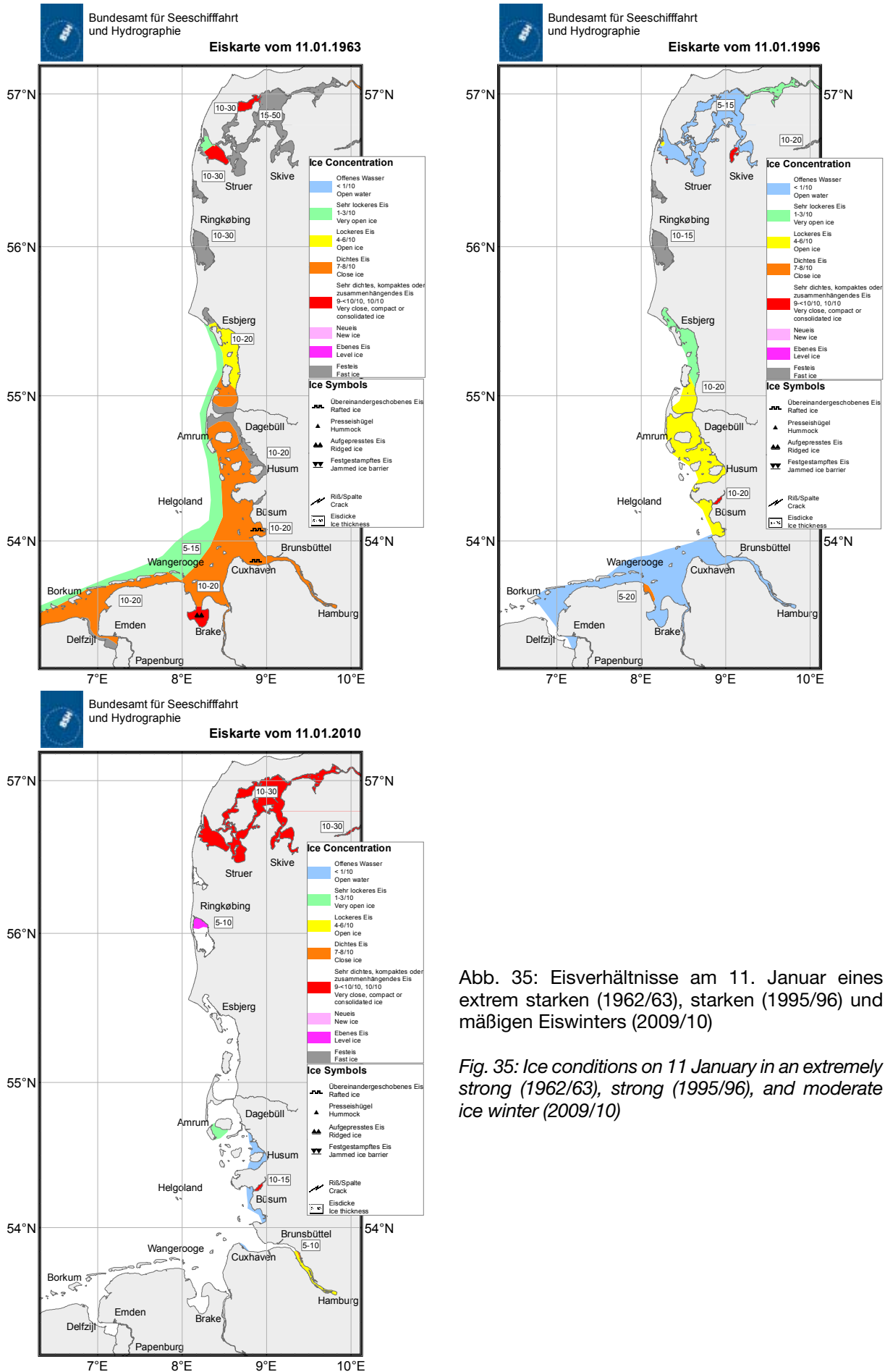


Abb. 35: Eisverhältnisse am 11. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 35: Ice conditions on 11 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

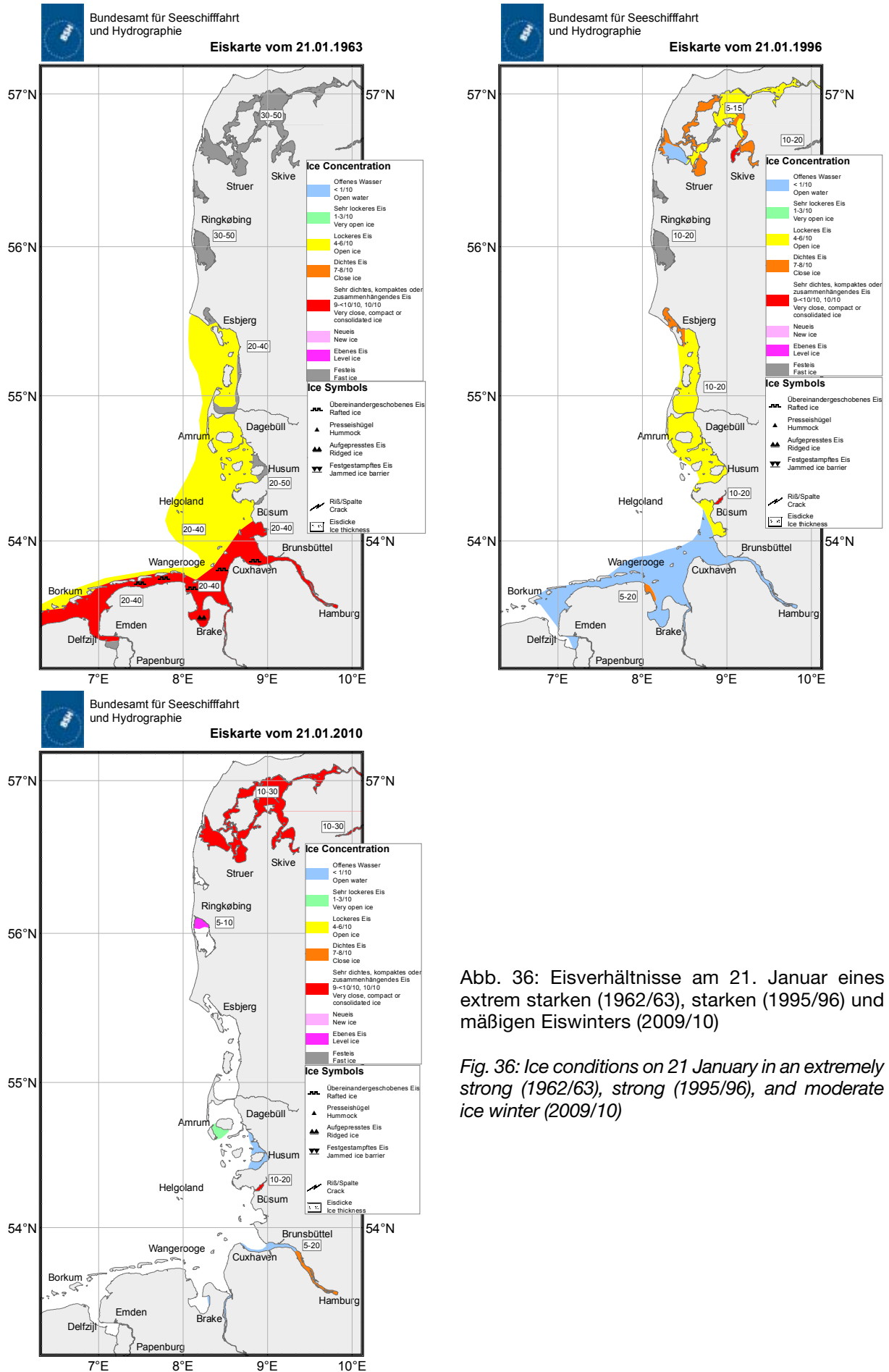


Abb. 36: Eisverhältnisse am 21. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 36: Ice conditions on 21 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

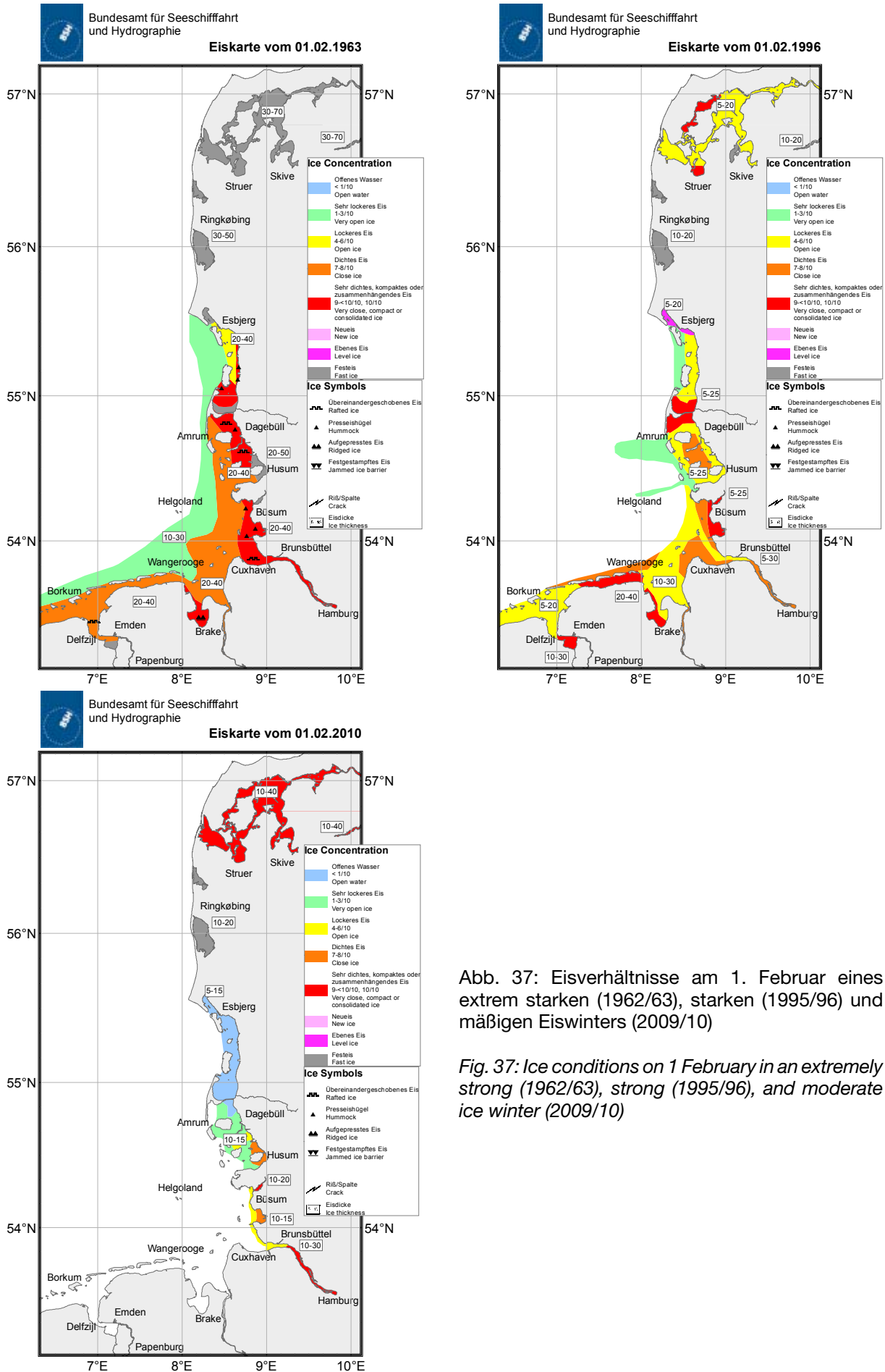


Abb. 37: Eisverhältnisse am 1. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 37: Ice conditions on 1 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

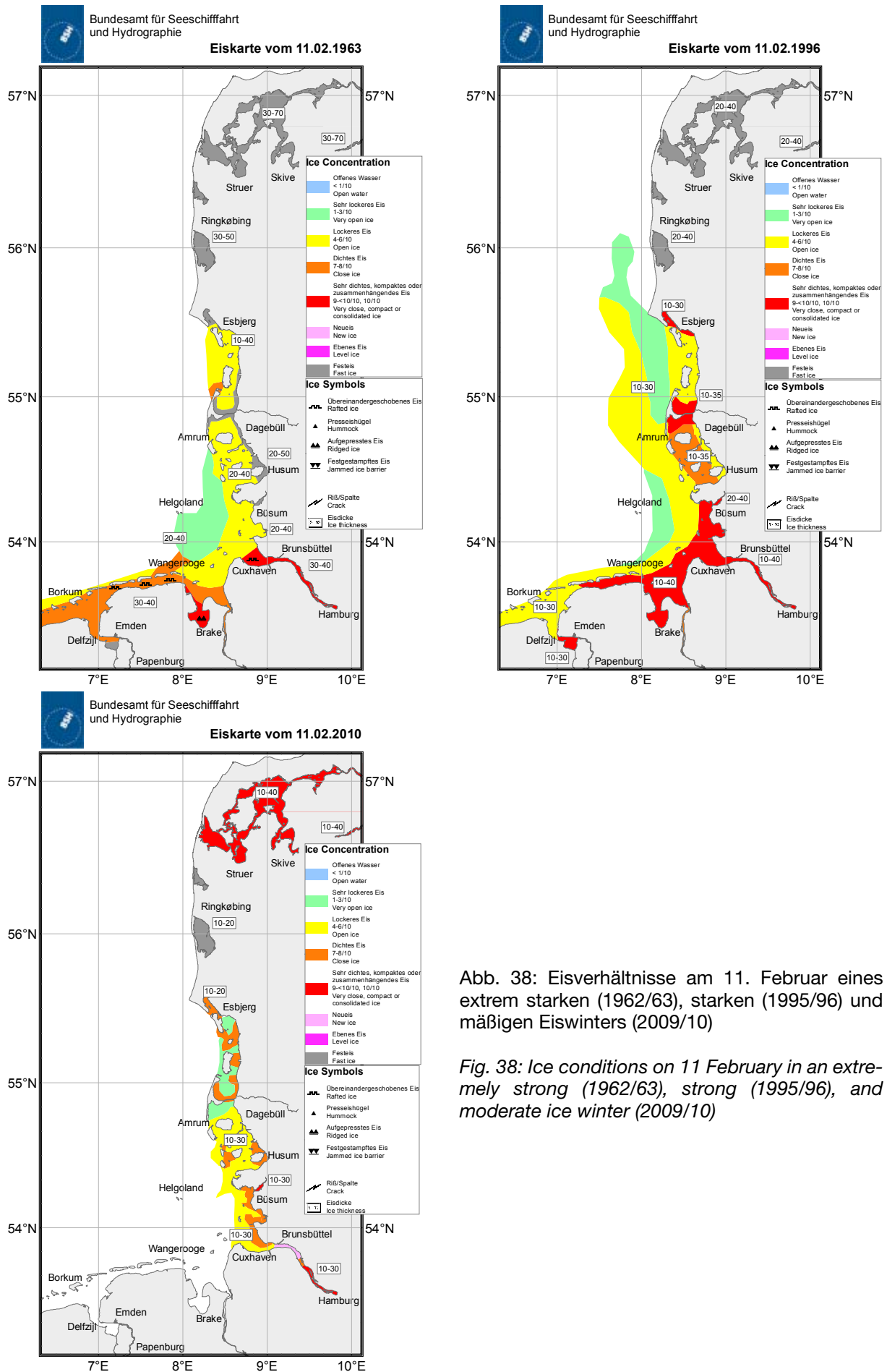


Abb. 38: Eisverhältnisse am 11. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 38: Ice conditions on 11 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

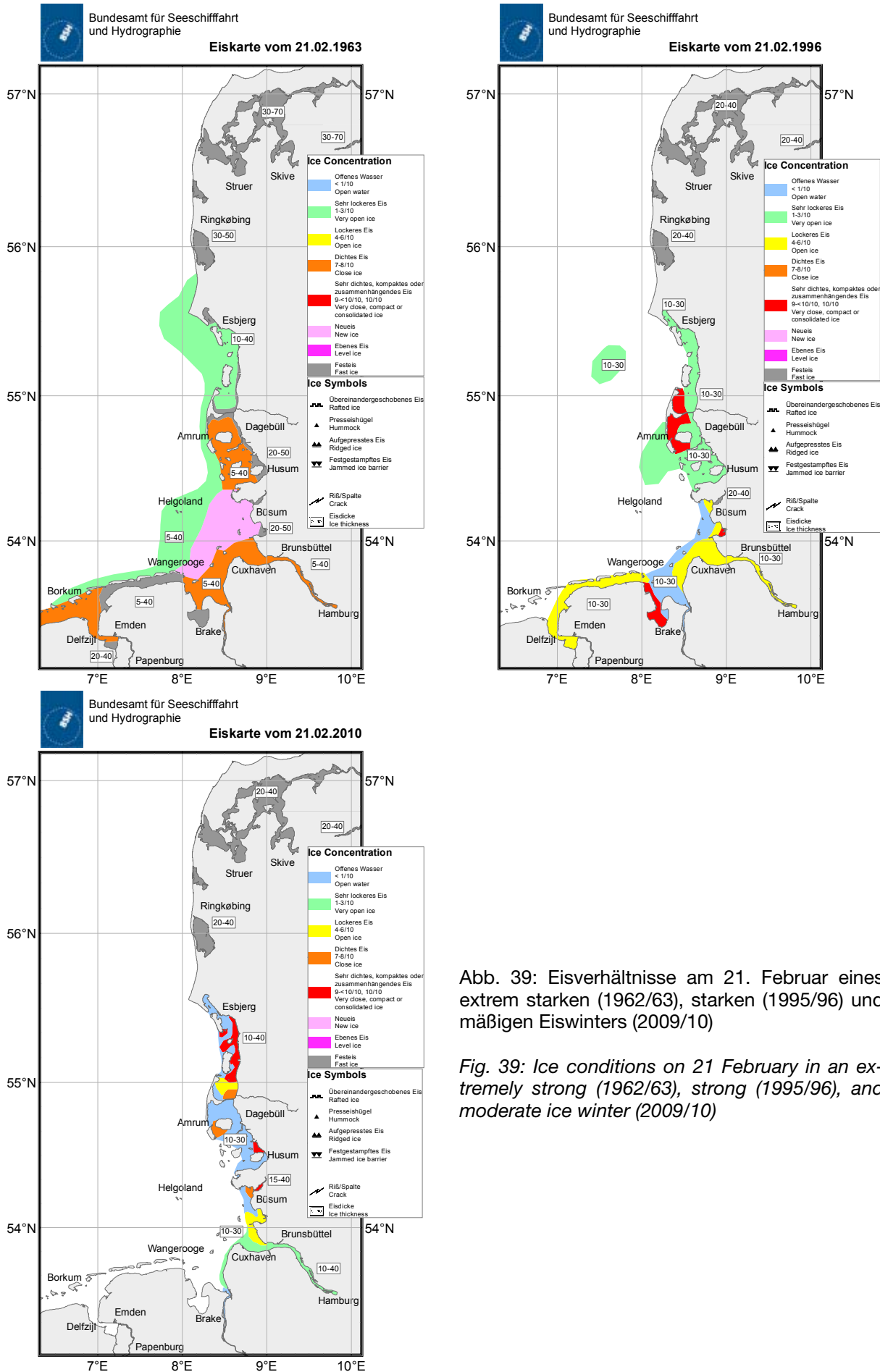


Abb. 39: Eisverhältnisse am 21. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 39: Ice conditions on 21 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

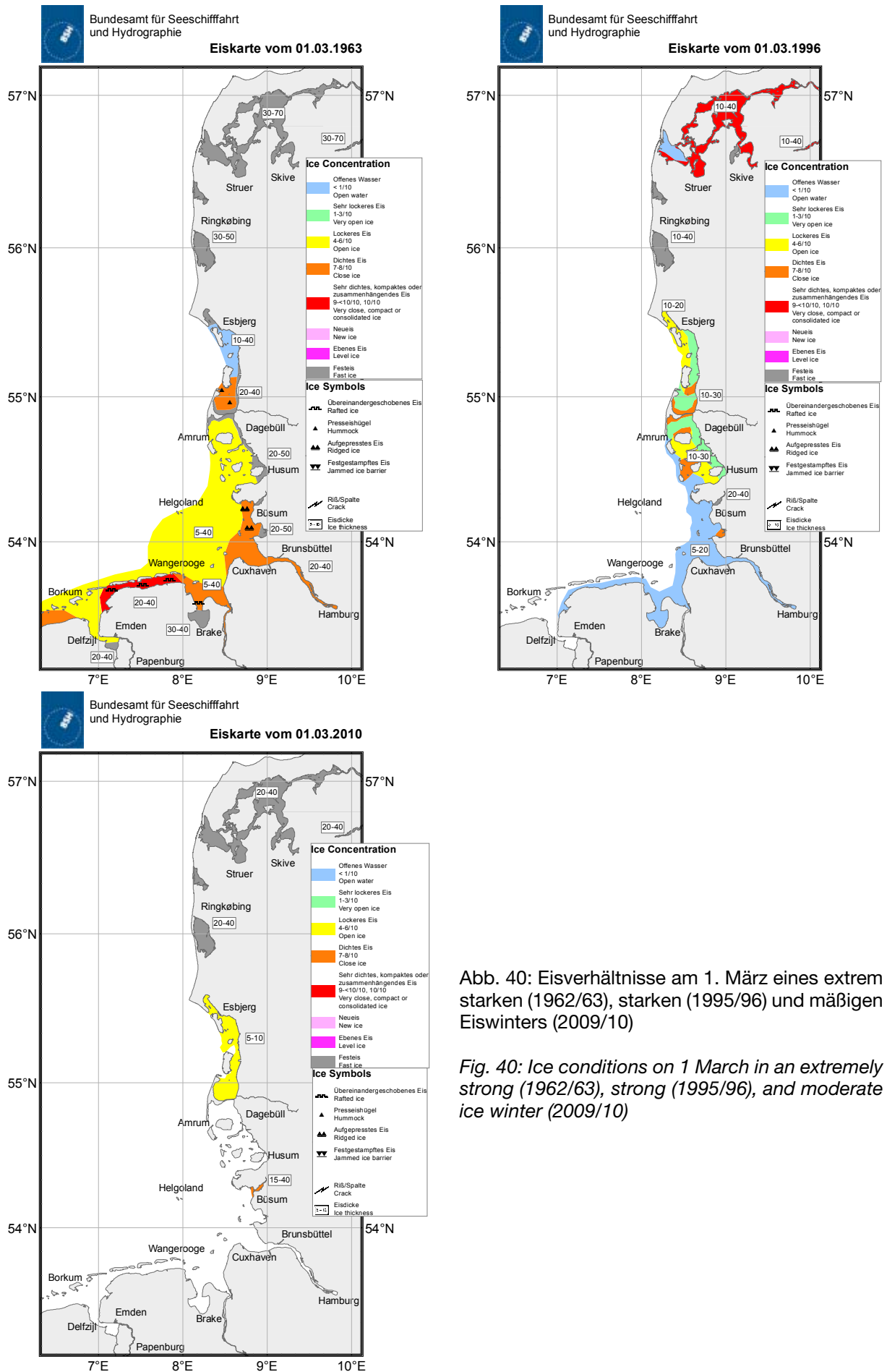


Abb. 40: Eisverhältnisse am 1. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 40: Ice conditions on 1 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

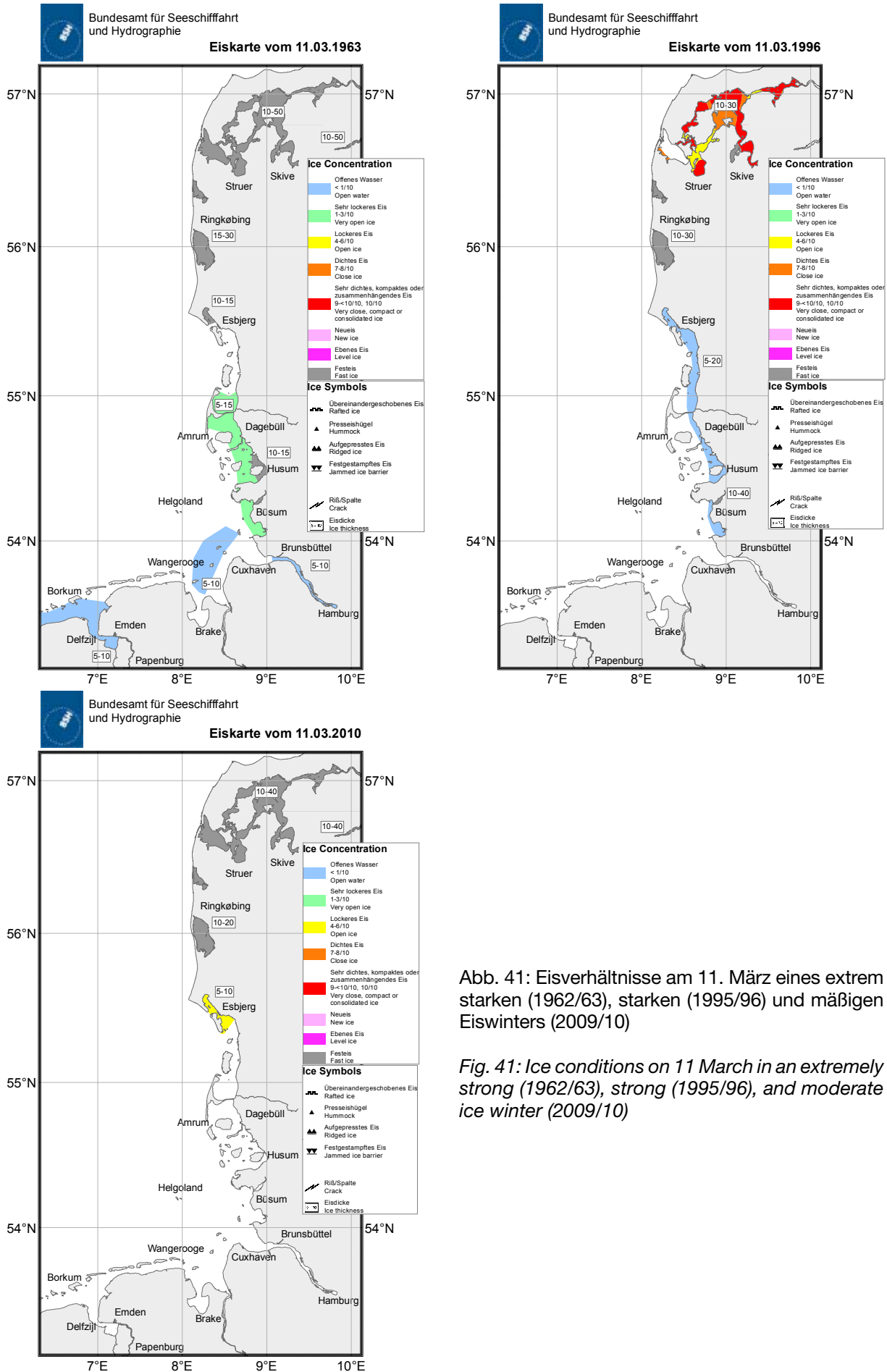


Abb. 41: Eisverhältnisse am 11. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 41: Ice conditions on 11 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

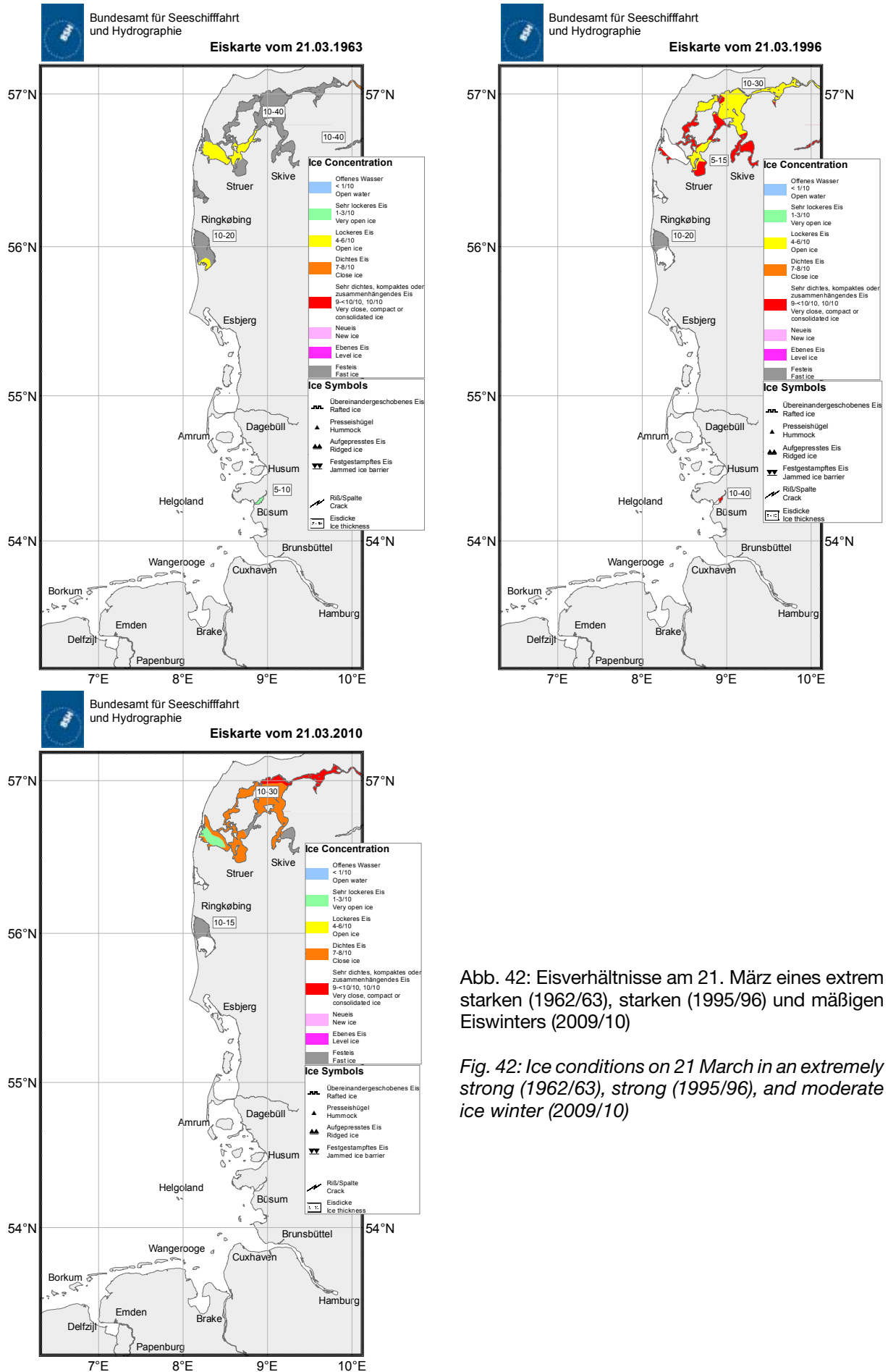


Abb. 42: Eisverhältnisse am 21. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 42: Ice conditions on 21 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

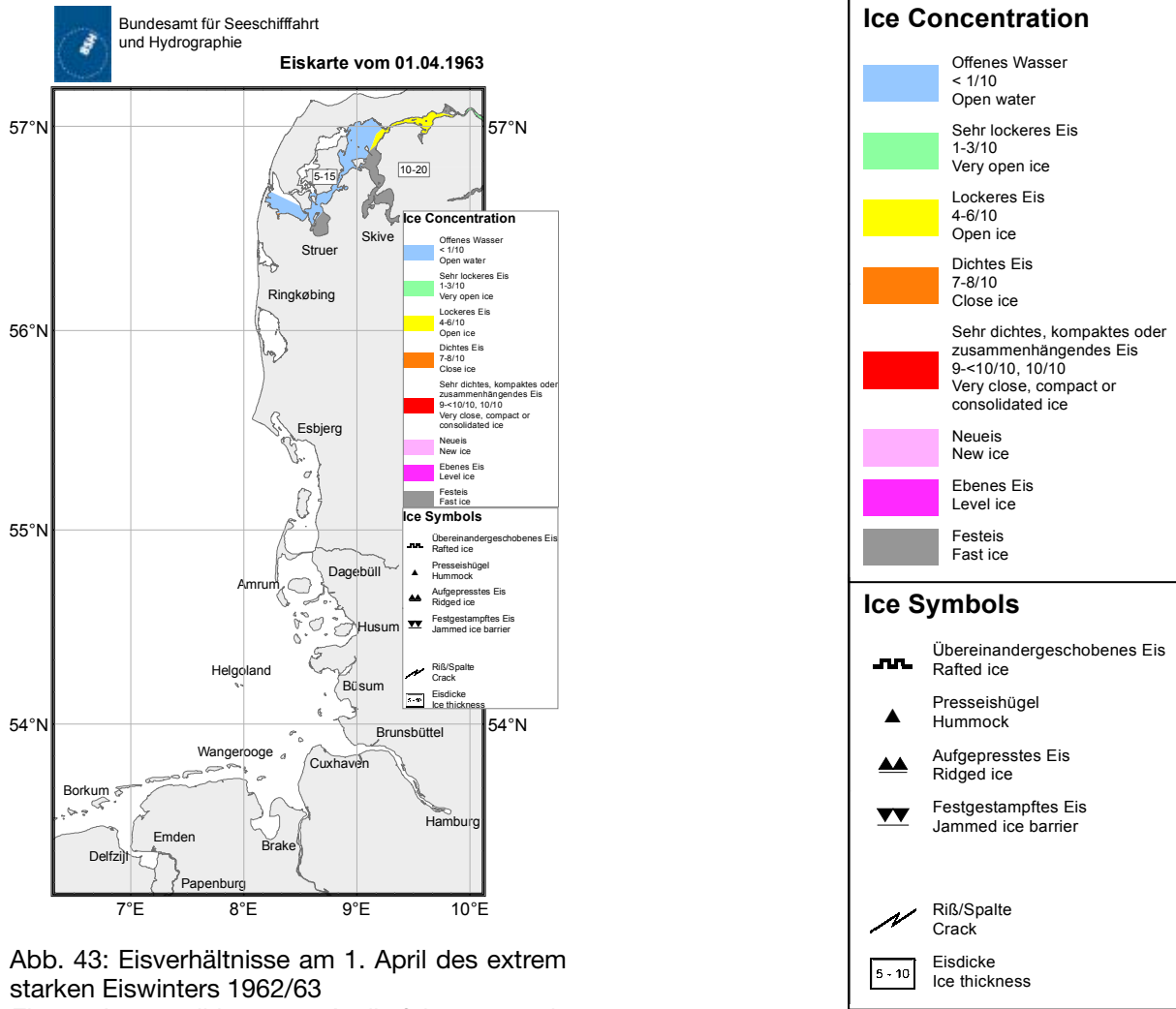


Abb. 43: Eisverhältnisse am 1. April des extrem starken Eiswinters 1962/63
 Fig. 43: Ice conditions on 1 April of the extremely strong ice winter 1962/63

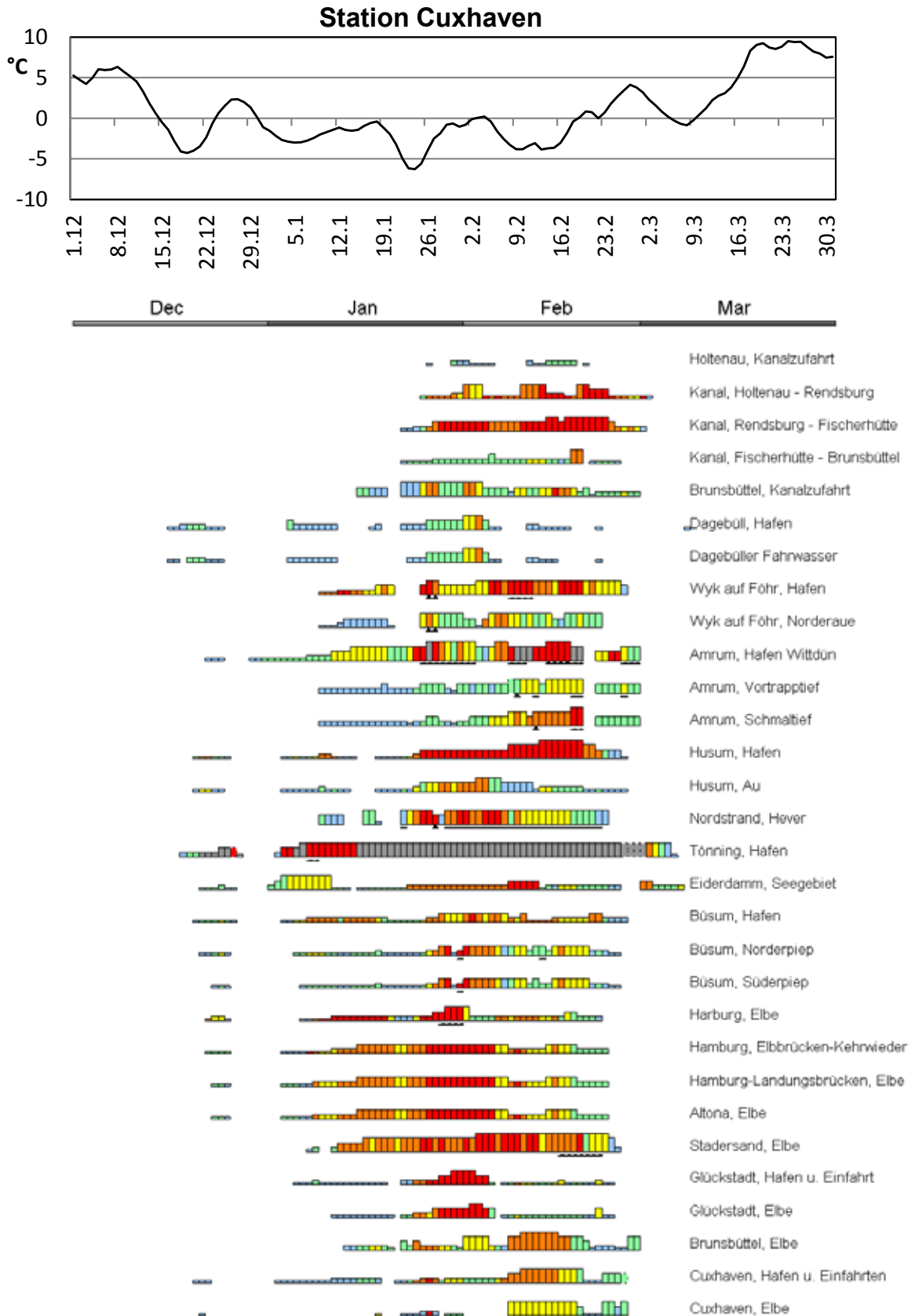


Abb. 44: Tägliches Eisauftreten an der deutschen Nordseeküste und gemessene Lufttemperatur (Cuxhaven) im Eiswinter 2009/10

Fig. 44: Daily ice occurrence on the German North Sea coast and measured air temperatures (Cuxhaven) in the ice winter of 2009/10

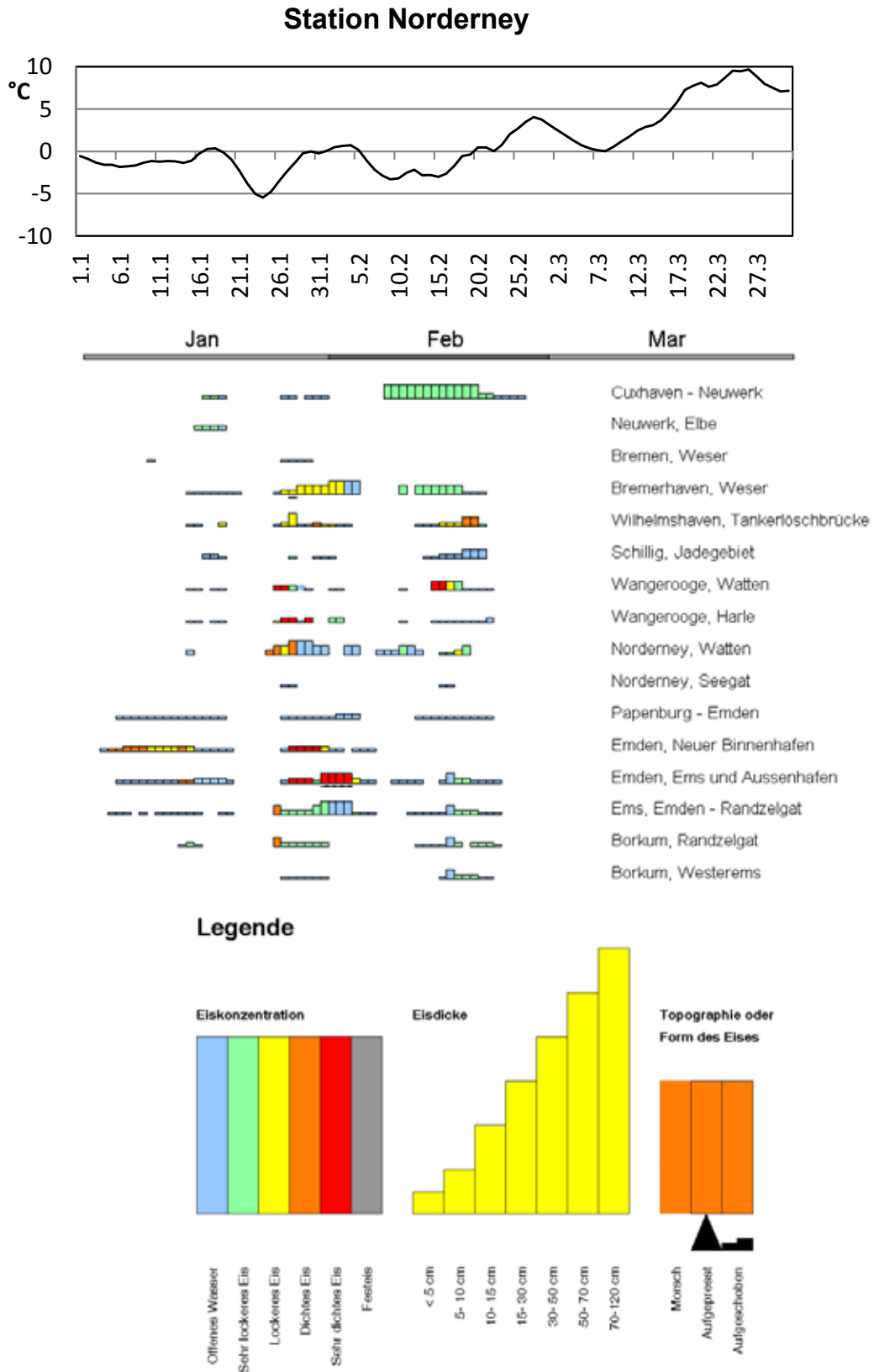


Abb. 45: Tägliches Eisauftreten an der deutschen Nordseeküste und gemessene Lufttemperatur (Norderney) im Eiswinter 2009/10
 Fig. 45: Daily ice occurrence on the German North Sea coast and measured air temperatures (Norderney) in the ice winter of 2009/10

Vergleich der Lufttemperaturen und Eisverhältnisse in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Verlauf der Lufttemperaturen in den Wintermonaten an der deutschen Nordseeküste

(November, Dezember, Januar, Februar und März sind als Wintermonate definiert)

Die langjährigen Änderungen der Lufttemperatur in den Wintermonaten im deutschen Küstenbereich werden anhand der Daten von drei Stationen Norderney, Cuxhaven und List/Sylt (Angaben des Deutschen Wetterdienstes) untersucht. Die Lage der Stationen spiegelt das Süd-Nord-Gefälle wider: an der ostfriesischen Küste ist es im Mittel um etwa 1 Grad wärmer als in Nordfriesland. Trotz der lokalen Unterschiede in den gemessenen Daten ist der Trend zu wärmeren Wintern in den betrachteten 50 Jahren für alle drei Stationen gleich. Der deutliche Anstieg der Lufttemperatur begann Ende der 80-er Jahre und setzte sich seit 1990 leicht aber kontinuierlich fort. Besonders warm waren die Winter 1988, 1989, 1990 und 2008, vgl. Abb. 46.

In der Abb. 47 werden die monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur im Zeitraum 1961–2010 betrachtet.

Im November und Dezember begann der Anstieg der Lufttemperatur erst seit Ende der 90-er Jahre, bis dahin war für November ein leichter negativer Trend und für Dezember keine Änderung der mittleren Temperatur zu verzeichnen. Der Höhepunkt des Anstiegs wurde 2008 erreicht. In den Wintern 2010 und 2011 war der Dezember im Vergleich mit dem Klimamittel 1961–1990 um einige Grad zu kalt.

Die Mitteltemperatur in den Monaten Januar und Februar, in denen die Wahrscheinlichkeit der Eisbildung in der Nordsee am höchsten ist, ist im Zeitraum zwischen 1988 und 1996 deutlich angestiegen und schwankt seitdem um die Werte von 2 bis 3 °C. Das klimatologische Mittel aus den Jahren 1961–1990 liegt um 1 bis 2 Grad niedriger. Diese Tatsache erklärt die Zunahme schwacher bis sehr schwacher Winter in der zweiten Hälfte des betrachteten Zeitraumes.

Der Trend zu höheren Mitteltemperaturen setzt sich auch im März fort, obwohl der Anstieg nicht so drastisch ausfällt, wie in den Vormonaten.

Comparison of air temperatures and ice conditions in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Changes in winter air temperatures on the German North Sea coast (with November, December, January, February and March considered winter months)

The long-term changes in air temperature in the German coastal zone during the winter months are analysed using data from the three stations Norderney, Cuxhaven and List/Sylt (courtesy of the German Weather Service) The location of the stations reflects the south-north divide: On average, it is 1 degree warmer on the East Frisian coast than in North Frisia. Despite local differences in the data measured, the trend towards warmer winters is the same for all three stations in the 50 years analysed. The clear increase in air temperature began in the late 1980s and has continued to increase slightly since 1990. The winters of 1988, 1989, 1990, and 2008 were especially warm; cf. Fig. 46.

Fig. 47 looks at the average monthly air temperature values for the period 1961 to 2010.

The air temperature increase in November and December began in the late 1990s; until then, a slightly negative trend was observed for November and no change in the average temperature for December. The culmination of the increase was reached in 2008. The Decembers of 2010 and 2011 were too cold by a number of degrees in comparison with the 1961 to 1990 climate average.

The average temperature in the months of January and February, during which the probability of ice formation in the North Sea is at its highest, increased significantly in the period between 1988 and 1996 and has since fluctuated between 2 °C and 3 °C. The 1961 to 1990 climatological average is therefore 1 to 2 degrees lower. This fact explains the increase in mild to very mild winters in the second half of the period under consideration.

The trend towards higher average temperatures also continues into March, although the increase does not appear as drastic as in the previous months.

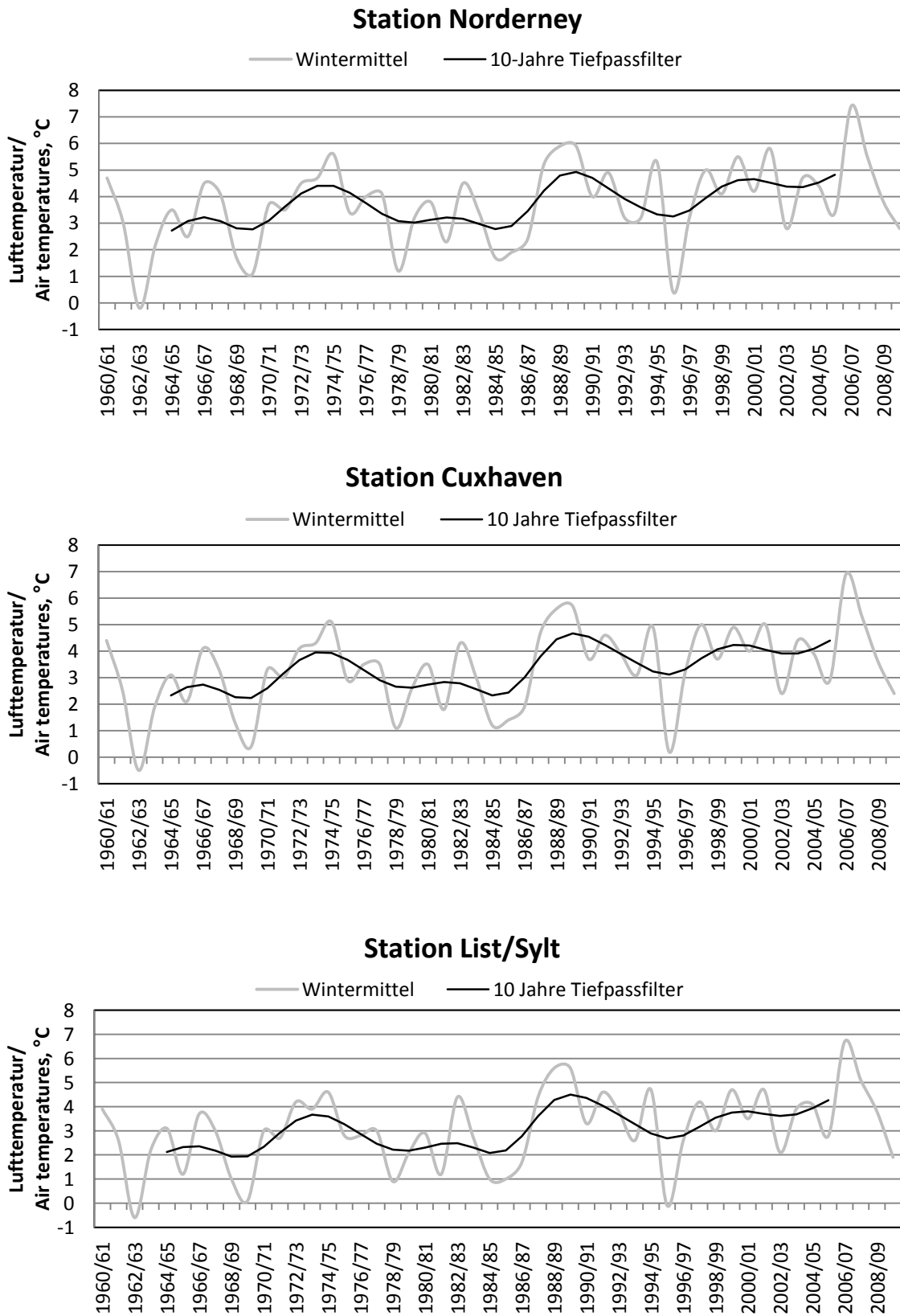


Abb. 46: Verlauf der über die Wintermonate gemittelten Lufttemperaturen im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010, geglättet durch 10-jährigen Tiefpassfilter (Angaben des Deutschen Wetterdienstes)
 Fig. 46: Development of average winter temperatures in the 50-year period of 1961 to 2010, smoothed by 10-year low-pass filter (information courtesy of German Weather Service)

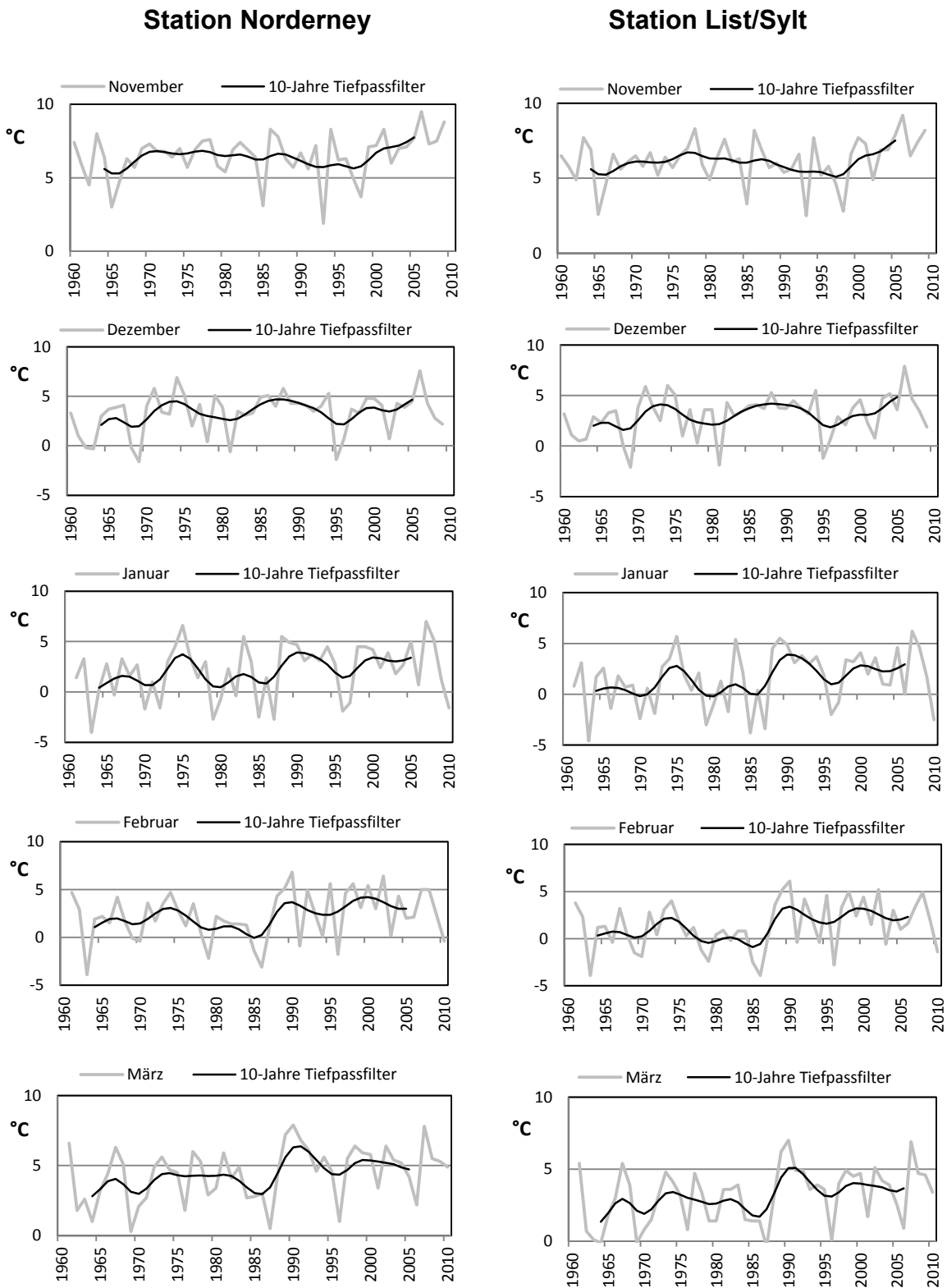


Abb. 47: Verlauf des Monatsmittels der Lufttemperatur im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010, geglättet durch 10-jährigen Tiefpassfilter, Stationen Norderney und List/Sylt (Angaben des DWD)

Fig. 47: Development of mean month temperatures in the 50-year period of 1961 to 2010, smoothed by 10-year low-pass filter; Norderney and List/Sylt stations (information courtesy of German Weather Service)

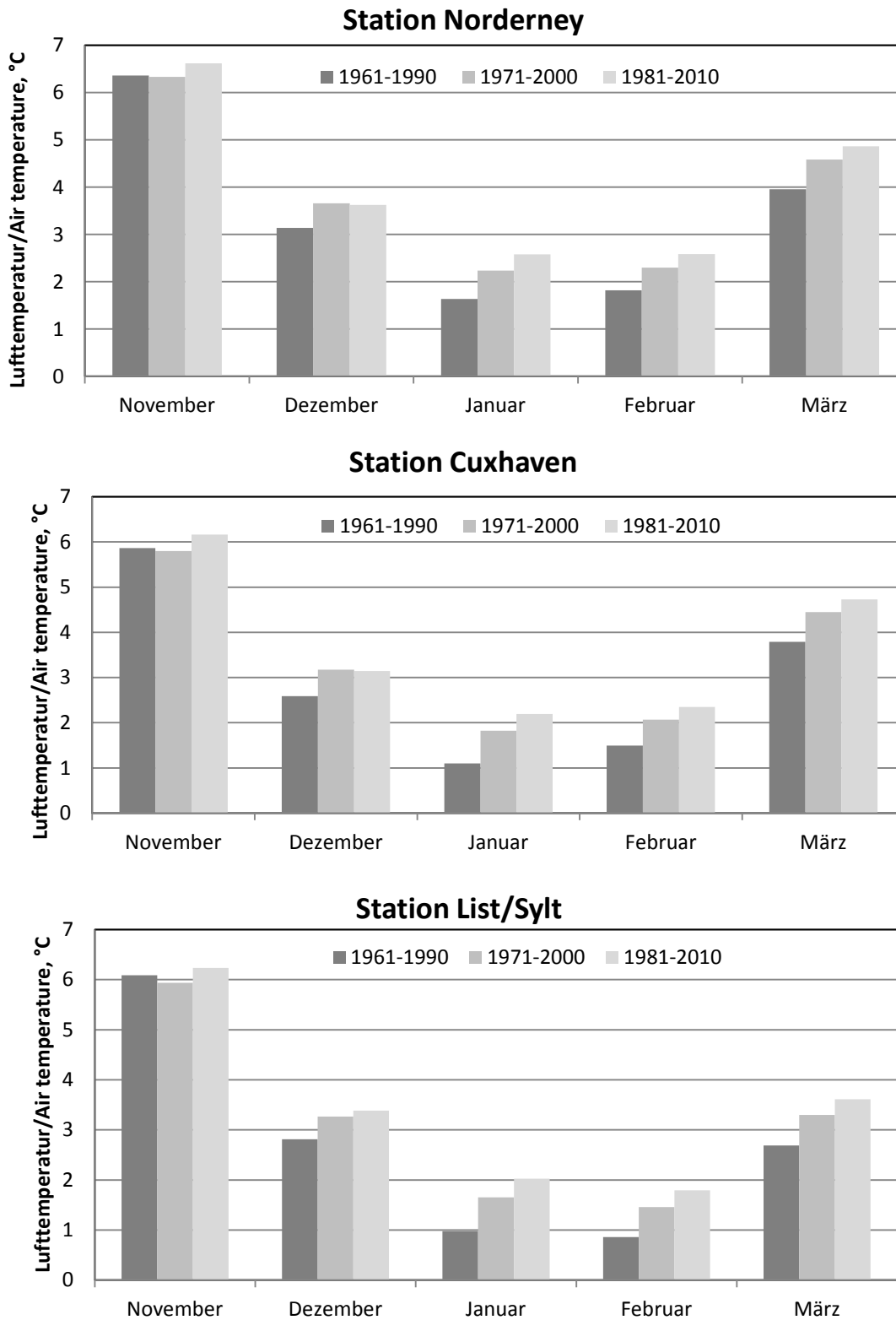


Abb. 48: Vergleich der Monatsmittel der Lufttemperatur in den Wintermonaten in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000, 1981–2010 für die Stationen Norderney, Cuxhaven und List/Sylt
 Fig. 48: Comparison of mean air temperatures in the winter months of the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010 at the Norderney, Cuxhaven and List/Sylt stations

Vergleicht man die Mitteltemperaturen der Wintermonate in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1970–2000 und 1981–2010, siehe Abb. 48, stellt man folgendes fest:

- Der kälteste Zeitraum war 1961–1990
- Der größte Anstieg der Lufttemperatur erfolgte im Zeitraum 1971–2000
- Der Anstieg der Lufttemperatur setzte sich im Zeitraum 1981–2010 fort, verlief aber langsamer.

Diese Schlussfolgerungen stimmen mit denen für den Bereich der westlichen und südlichen Ostsee überein (Schmelzer et al., 2012).

Vergleich der Eisverhältnisse

(vgl. Tabellen 18–20 und Abb. 49–61 im Text sowie Karten auf der DVD)

Die langjährigen Änderungen der Lufttemperatur spiegeln sich in Veränderungen der Eisverhältnisse wider.

Die Häufigkeit des Eisauftretens beträgt fast 90% in den Häfen und geschützt liegenden Bereichen an der nordfriesischen Küste und zwischen 70 und 80% im ostfriesischen Wattenmeer. Je weiter von der Küste entfernt die Beobachtungsstation sich befindet, desto seltener wird dort Eis beobachtet. Am häufigsten bildete sich das Eis in den betrachteten 50 Jahren am Anfang der Periode, und zwar im Zeitraum 1961–1990. Im Vergleich mit dem letzten Zeitabschnitt 1981–2010 beträgt die Differenz zwischen den Vereisungshäufigkeiten in beiden Zeiträumen 10 bis 30% im nordfriesischen Wattenbereich, 20 bis 40% auf der Elbe, etwa 30% auf der Weser und in den ostfriesischen Watten sowie 10 bis 20% in der inneren Deutschen Bucht.

Die Eisbildung im nordfriesischen Wattenmeer beginnt normalerweise zwischen dem 15. Dezember und dem 15. Januar, auf der Unterelbe, Unterweser und in den ostfriesischen Watten während der ersten Januarhälfte. In der inneren Deutschen Bucht bildet sich normalerweise kein Eis, mit dem Eisauftreten durch treibende Eisschollen oder Eisblöcke muss man hier erst in der zweiten Januarhälfte rechnen. In den meisten Abschnitten sind keine großen Änderungen im mittleren Beginn der Eisbildung in den verschiedenen Zeiträumen zu verzeichnen.

If the average temperatures during the winter months in the 30-year periods 1961 to 1990, 1970 to 2000, and 1981 to 2010 are compared – see Fig. 48 – the following can be observed:

- *The coldest period was 1961 to 1990*
- *The greatest increase in air temperature was seen in the period 1971 to 2000*
- *The air temperature increase continued in the period 1981 to 2010, but progressed more slowly.*

These conclusions match those for the area of the western and southern Baltic Sea (Schmelzer et al., 2012).

Comparison of ice conditions

(cf. Tables 18 to 20 and Fig's 49 to 61 in the text and charts on the DVD)

The long-term changes in air temperature are reflected in the changes in ice conditions.

The frequency of ice formation is almost 90% in the ports and sheltered areas on the North Frisian coast and between 70% and 80% in the East Frisian Wadden Sea. The further away from the coast the observation station is located, the less frequently ice is observed. The ice formed most frequently at the beginning of the period in the 50 years under observation, namely 1961 to 1990. In comparison with the last time period 1981 to 2010, the difference between the frequencies of ice occurrence in both periods is 10% to 30% in the North Frisian Wadden area, 20% to 40% on the Elbe, approximately 30% on the Weser and the East Frisian tidal flats and 10% to 20% in the inner German Bight.

The ice formation in the North Frisian Wadden Sea normally begins between 15 December and 15 January and during the first half of January on the Lower Elbe, Lower Weser and East Frisian tidal flats. There is usually no ice formation in the inner German Bight; ice in form of floating floes or floebits can be expected in the second half of January. In most of the coastal sections, no major changes to the average beginning of ice formation are registered during the different periods.

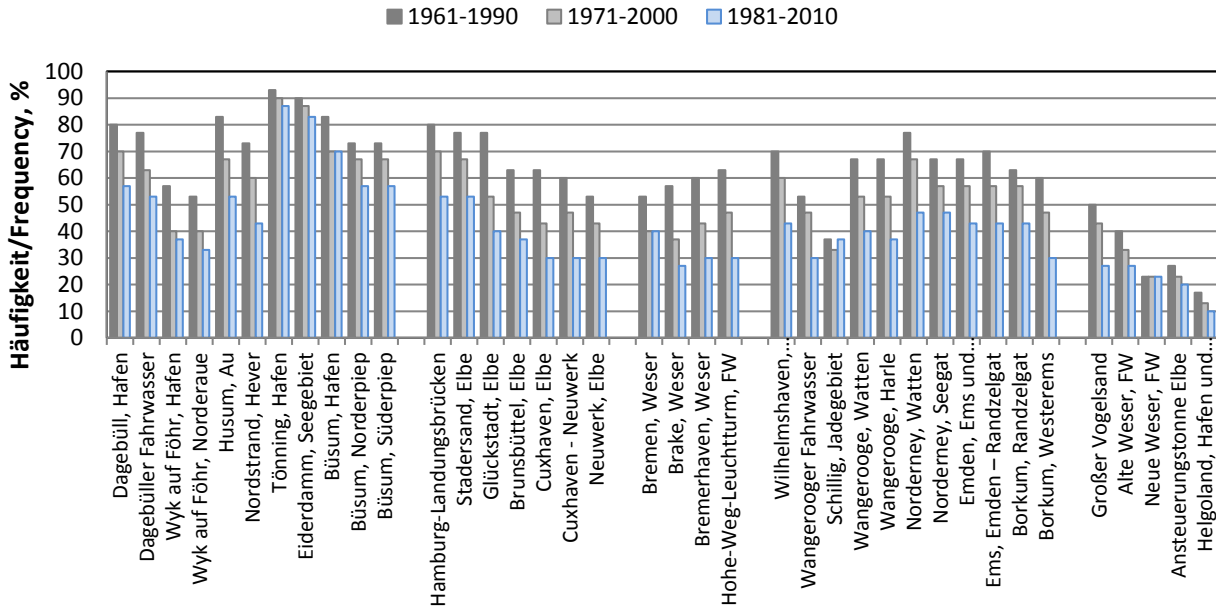


Abb. 49: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 49: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

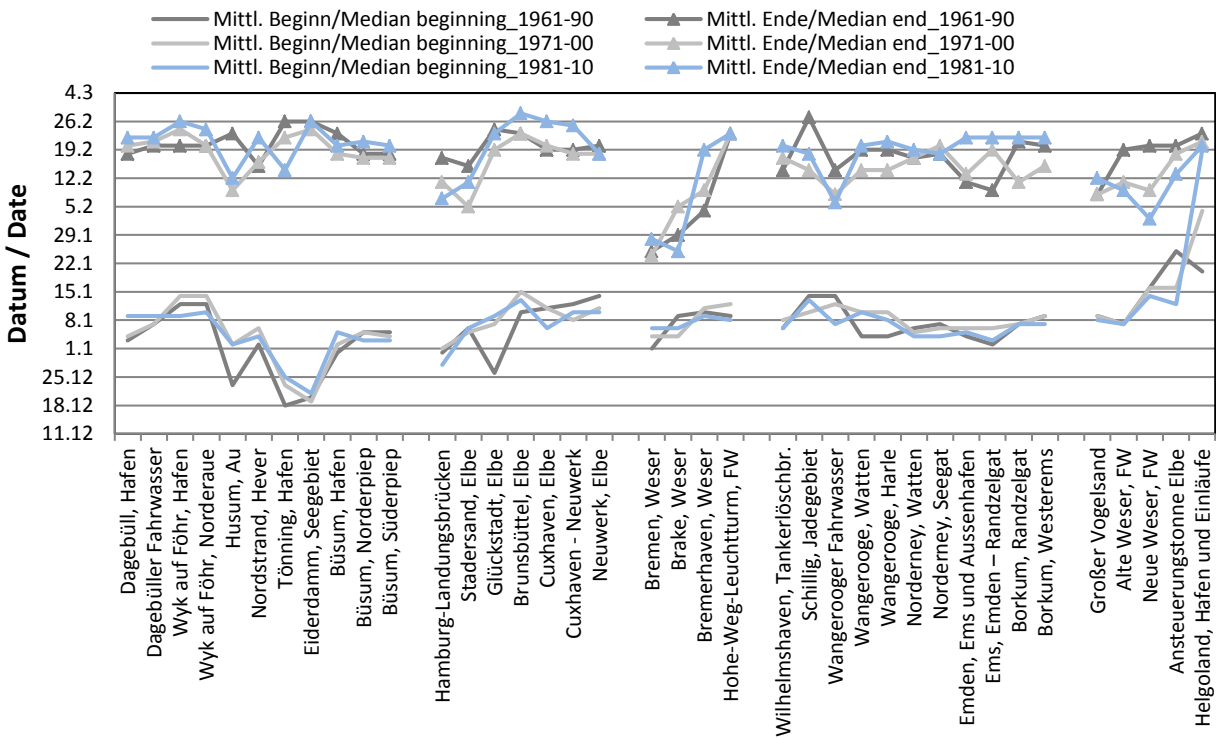


Abb. 50: Mittlerer Beginn und mittleres Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 50: Median beginning and median end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

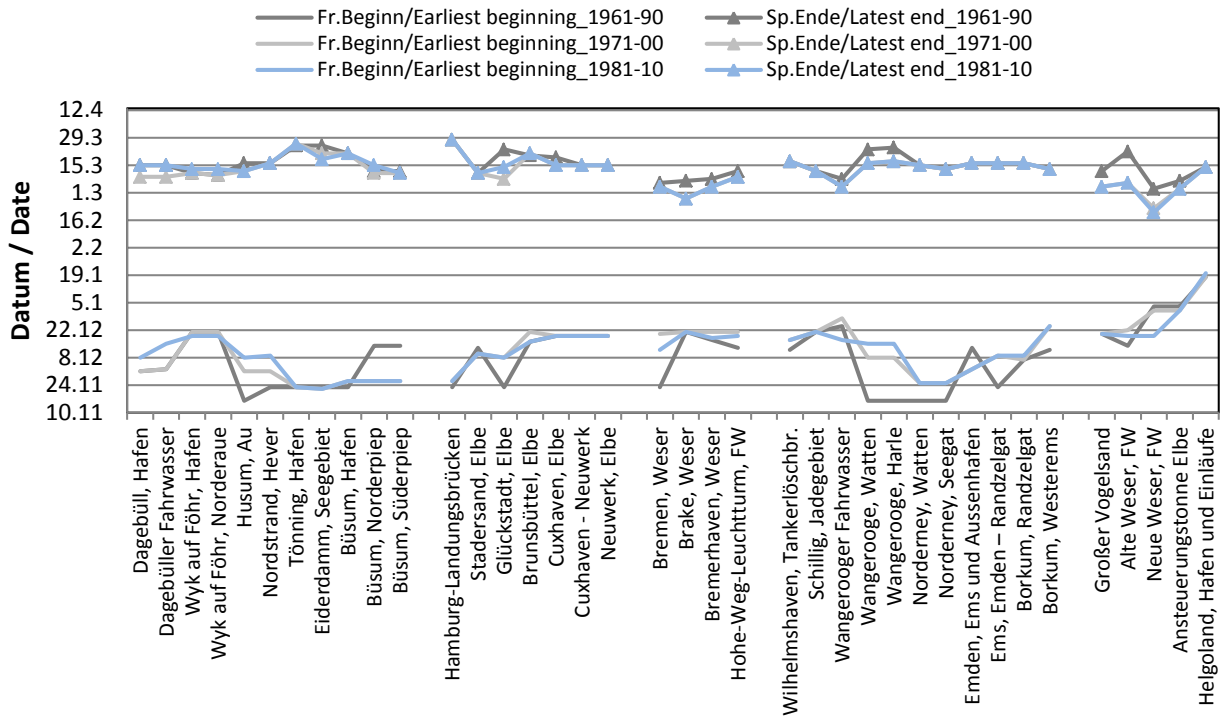


Abb. 51: Frühester Beginn und spätestes Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 51: Earliest beginning and latest end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30 year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

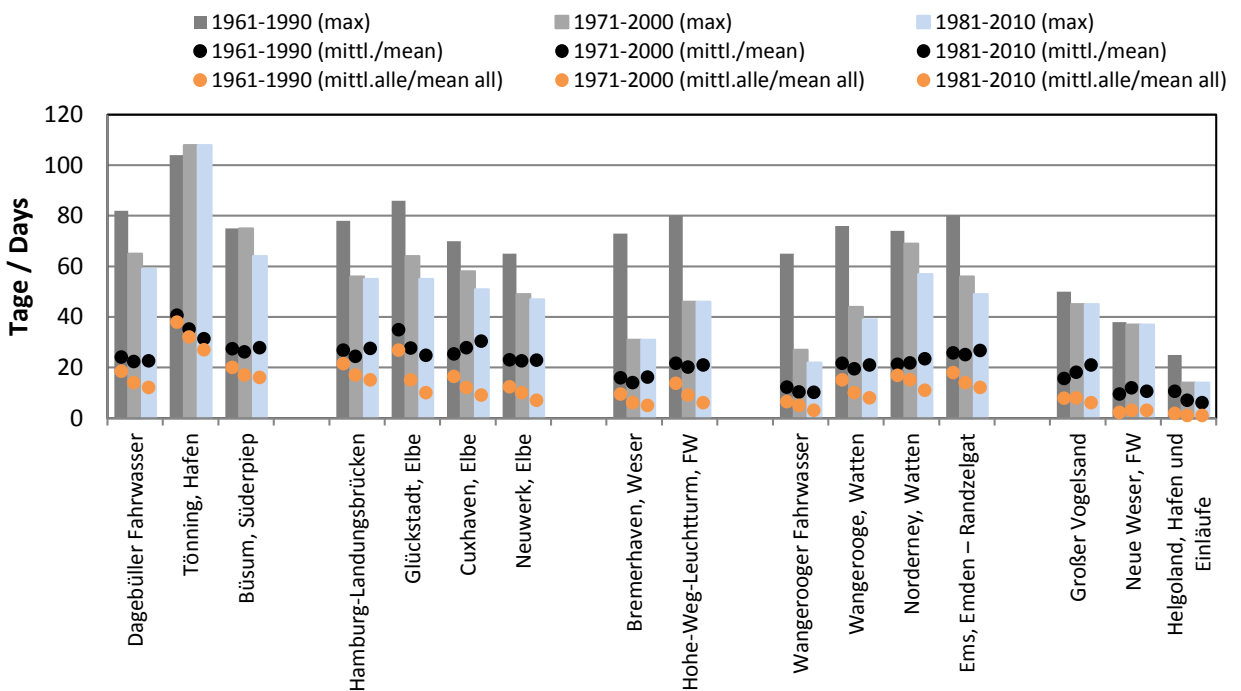


Abb. 52: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (für alle Winter), mittlere Anzahl der Tage mit Eis (nur für Winter mit Eis), maximale Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 52: Mean number of days with ice (all winters), mean number of days with ice (only winters with ice), maximum number of days with ice on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Im Mittel verschwand das letzte Eis an der deutschen Nordseeküste in allen untersuchten Zeiträumen im Verlauf des Februars. Es ist für diesen Parameter kein eindeutiger Trend in der Änderung zu vermerken, in einigen Bereichen ist sogar eine leichte Tendenz zu einem späteren Termin festzustellen.

Die Extremwerte zeigen einen leichten Trend zum früheren Beginn im Zeitraum 1961–1990, die Daten für das späteste Ende haben sich nicht viel verändert.

In den Bereichen mit einer Häufigkeit des Eisvorkommens von über 70% ist die Differenz zwischen der Anzahl der Tage mit Eis in allen Wintern und der Anzahl der Tage mit Eis nur in den Wintern mit Eisvorkommen minimal. Diese Abweichung wird größer je seltener das Eis auftritt. Die Anzahl der Tage mit Eis nimmt grundsätzlich von Nord nach Süd und von Wattenbereichen zum Seebereich ab. Betrachtet man alle 50 Winter im untersuchten Zeitraum, ist eine deutliche Tendenz zur Abnahme der Tage mit Eis zum Ende der Periode zu erkennen. Dieser Trend setzt sich nur für einige wenige Stationen fort, wenn man nur die Winter mit Eisvorkommen betrachtet. Für die meisten Stationen bleibt die Anzahl der Tage mit Eis unverändert oder steigt sogar an. Das Verhalten dieses Parameters ist in beiden Fällen durch Zunahme der eisfreien Winter in den letzten 30 Jahren zu erklären.

Die maximale Anzahl der Tage mit Eis wird in besonders kalten und langen Wintern erreicht. In jeder betrachteten 30-jährigen Periode ist mindestens ein eisreicher Winter zu finden, z. B. 1962/63, 1978/79, 1995/96. Eine signifikante Abnahme (etwa 40 Tage) wurde z. B. auf der Unterweser vom Zeitraum 1961–1990 zum Zeitraum 1971–2000 beobachtet: dies wurde nicht nur durch die ansteigenden Lufttemperaturen verursacht, sondern auch durch mehrere Maßnahmen der Fahrwasservertiefung.

Die Mittelwerte der Eisdicke verhalten sich in ähnlicher Weise wie der Parameter Anzahl der Tage mit Eis. Betrachtet man alle 50 Winter, nimmt die mittlere Eisdicke von der 1. Periode zur 2. und dann zur 3. Periode ab; der Wert der mittleren Eisdicke nur in den Wintern mit Eis ändert sich in der Regel nicht oder nimmt leicht zu. Die maximalen Eisdicken traten im extrem starken Eiswinter 1962/63, also im Zeitraum 1961–1990 auf, aber wurden in der Regel auch in anderen hier betrachteten Zeiträumen erreicht.

On average, the last ice on the German North Sea coast disappeared during February in all of the periods analysed. No clear trend can be noted for this parameter; in some areas it is even possible to determine a slight trend towards a later date.

The extreme values show a slight trend towards an earlier beginning in the period 1961 to 1990; the data for the latest end has not changed much.

The difference in the areas with an ice formation frequency of over 70% between the number of days with ice in all winters and the number of days with ice only in the winters with ice formation is minimal. This deviation increases the less frequently the ice occurs. The number of days with ice essentially decreases from north to south and from tidal flat areas to sea areas. Considering all 50 winters in the period analysed, there is a clear trend towards a decrease in the days with ice towards the end of the period. This trend only continues for a few stations if one only considers the winters with ice formation. For most stations, the number of days with ice remains unchanged or even increases. The properties of this parameter can be explained in both cases by the increase in ice-free winters in the last 30 years.

The maximum number of days with ice is reached in particularly cold, long winters. In each 30-year period considered, there is at least one icy winter to be found, for example 1962/63, 1978/79, 1995/96. A significant decrease (approximately 40 days) was observed on the Lower Weser from the period 1961 to 1990 to the period 1971 to 2000: This was not only caused by the increasing air temperatures, but also by several measures to deepen the fairways.

The average ice thickness values show similar characteristics to the parameter of number of days with ice. If all 50 winters are considered, the average ice thickness from the first period decreases towards the second period and then towards the third period; the average ice thickness value during winters with ice only does not usually change or increases slightly. The maximum ice thickness occurred in the extremely severe ice winter of 1962/63, therefore in the period 1961 to 1990, but was generally reached in other periods considered here, too.

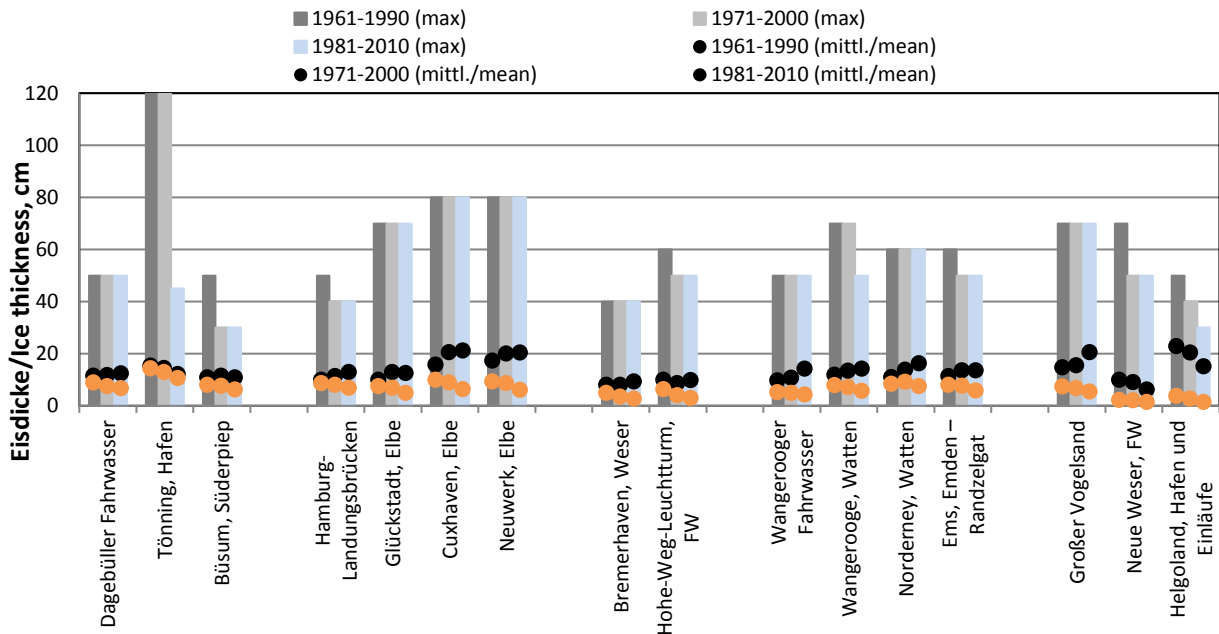


Abb. 53: Mittlere und extreme Daten der Eisdicken, die in einer Eissaison an der deutschen Nordsee in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 erreicht wurden

Fig. 53: Mean and extreme values of the ice thickness which have been reached in an ice season on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Zusammenfassend kann man folgendes feststellen:

- Die Eisverhältnisse in den 3 untersuchten Zeiträumen innerhalb der 50-jährigen Periode 1961–2010 veränderten sich hauptsächlich entsprechend den Änderungen der Lufttemperatur im gleichen Zeitraum. Dabei war 1961–1990 der kälteste Zeitabschnitt, der größte Anstieg der Lufttemperatur erfolgte in der Periode 1971–2000, der Anstieg der Lufttemperatur setzte sich langsam im Zeitraum 1981–2010 fort.
- Am häufigsten bildete sich das Eis in den betrachteten 50 Jahren am Anfang der Periode, und zwar im Zeitraum 1961–1990.
- In den meisten Abschnitten sind keine großen Änderungen im mittleren Beginn der Eisbildung in den verschiedenen Zeiträumen zu verzeichnen. In einigen Bereichen ist eine leichte Tendenz zu einem späteren Termin des Eisverschwindens festzustellen. Die Extremwerte des Beginns und des Endes des Eisauftretens zeigen einen leichten Trend zum früheren Beginn im Zeitraum 1961–1990, die Daten für das späteste Ende haben sich kaum verändert.

In summary, the following can be determined:

- The ice conditions in the three periods analysed within the 50-year period 1961 to 2010 mainly changed in accordance with the changes to air temperature in the same period. 1961 to 1990 was the coldest phase here; the greatest increase in air temperature occurred in the period 1971 to 2000; the increase in air temperature continued slowly during the period 1981 to 2010.
- The ice formed most frequently at the beginning of the period of the 50 years considered, namely in the period 1961 to 1990.
- In most of the coastal sections, no major changes to the average beginning of ice formation are registered during the different periods. In some areas, a slight trend towards a later disappearance of ice can be determined. The extreme values of the beginning and end of ice occurrence show a slight trend towards an earlier beginning in the period 1961 to 1990; the data for the latest end has hardly changed.

- Die Variationen des Parameters „Anzahl der Tage mit Eis“ sind durch Zunahme der eisfreien Winter in den letzten 30 Jahren und durch Maßnahmen der Fahrwasservertiefung in einigen Bereichen zu erklären.
- Die Watten und geschützt liegende Bereiche in der Deutschen Bucht wurden im Höchststand der Eisentwicklung eines starken Eiswinters in allen drei Zeiträumen vollständig mit Eis bedeckt. Außerhalb der nordfriesischen und ostfriesischen Insel trat in besonders eisreichen Wintern (1962/63, 1978/79, 1995/96) lockeres oder sehr lockeres Treibeis auf, vgl. Abb. 62. Westlich von Helgoland wurde Eis nur in der Periode 1961–1990 beobachtet, aber wo die Eisgrenze genau verlief, konnte man zu dieser Zeit nicht eindeutig bestimmen. Die Eisverteilung auf See wird durch zunehmende Nutzung der Satellitenaufnahmen erst seit Ende der 90-er Jahren in den Eiskarten korrekt wiedergegeben.
- Die maximalen Werte der Eisdicke werden in sehr starken Eiswintern erreicht und betragen zum größten Teil zwischen 30 und 60 cm. Das dickere Eis oder grobe Eisblöcke entstehen durch Aufschichtung und anschließendes Zusammenfrieren des Eises und können in allen starken Wintern und in allen Abschnitten vorkommen, vgl. Abb. 63.
- *In some areas, the variations in the parameter “Number of days with ice” can be explained by the increase in ice-free winters in the past 30 years and measures to deepen the fairways.*
- *The tidal flats and sheltered areas in the German Bight were completely covered with ice at the time of maximum ice development in one strong ice winter in all three periods. Open ice or very open ice occurred beyond the North Frisian and East Frisian islands during particularly icy winters (1962/63, 1978/79, 1995/96); cf. Fig. 62. Ice was only observed to the west of Helgoland in the period 1961 to 1990, but it was not possible to determine where exactly the ice limit lay. The ice distribution on the sea has only been rendered correctly in the ice charts since the late 1990s as a result of the increasing use of satellite imagery.*
- *The maximum ice thickness values are reached in very strong ice winters and are largely between 30 and 60 cm. The thicker ice or heavy floebits result from rafted ice and the ice subsequently freezing together and can occur during all severe winters and in all sections; cf. Fig. 63.*

Station	1961–1990		1961–1990		Häufigkeit %	1961–1990		1961–1990		1961–1990		1961–1990	
	Median Beginn	Früh. Beginn	Spät. Beginn	Median Ende		Früh. Ende	Spät. Ende	Mittel Tage alle Winter	Mittel Tage Winter mit Eis	Mean days all winters	Mean days winters with ice	Min. Tage mit Eis	Max. Tage mit Eis
Station	Median begin	Earliest begin	Latest begin	Median end	Earliest end	Latest end	Frequency %	Mean days winters with ice	Mean days all winters	Min. days with ice	Max. days with ice		
Dagebüll, Hafen	3.01	1.12	17.02	18.02	3.12	15.03	80	24	19.2	1	84		
Dagebüller Fahrwasser	7.01	2.12	17.02	20.02	3.12	15.03	77	24.1	18.5	2	82		
Wyk auf Föhr, Hafen	12.01	21.12	19.02	20.02	31.12	11.03	57	25.6	14	2	71		
Wyk auf Föhr, Norderaue	12.01	21.12	19.02	20.02	31.12	10.03	53	27.6	14.7	1	71		
Husum, Hafen	23.12	16.11	10.02	23.02	4.12	16.03	83	30	25	3	90		
Husum, Au	23.12	16.11	10.02	23.02	4.12	16.03	83	29.8	24.9	3	90		
Nordstrand, Hever	2.01	23.11	11.02	15.02	2.12	16.03	73	26.8	19.7	2	80		
Tönning, Hafen	18.12	23.11	12.02	26.02	12.12	25.03	93	40.6	37.9	3	104		
Eiderdamm, Seegebiet	20.12	23.11	11.02	26.02	11.12	25.03	90	38.7	34.8	1	94		
Büsum, Hafen	31.12	23.11	14.02	23.02	4.01	21.03	83	31.3	26.1	2	82		
Büsum, Norderpiep	5.01	14.12	14.02	18.02	30.12	12.03	73	27.3	20	1	75		
Büsum, Süderpiep	5.01	14.12	14.02	18.02	30.12	12.03	73	27.3	20	1	75		
Hamburg-Landungsbrücken	31.12	23.11	4.03	17.02	6.12	7.03	80	26.8	21.5	2	78		
Stadersand, Elbe	6.01	13.12	3.03	15.02	18.12	11.03	77	24.1	18.5	2	76		
Glückstadt, Hafen und Einfahrt	26.12	22.11	12.02	27.02	11.12	23.03	83	39.9	33.3	5	93		
Glückstadt, Elbe	26.12	23.11	10.02	24.02	4.01	23.03	77	34.9	26.8	3	86		
Brunsbüttel, Elbe	10.01	16.12	5.03	23.02	11.01	20.03	63	31.7	20.1	2	78		
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt	11.01	18.12	4.03	25.02	14.01	20.03	63	25.9	16.4	3	77		
Cuxhaven, Elbe	11.01	19.12	18.02	19.02	31.12	19.03	63	25.3	16	2	70		
Cuxhaven – Neuwerk	12.01	19.12	19.02	19.02	31.12	15.03	60	22.9	13.8	1	68		
Neuwerk, Elbe	14.01	19.12	19.02	20.02	30.12	15.03	53	23	12.3	1	65		
Großer Vogelsand	9.01	20.12	21.02	8.02	31.12	12.03	50	15.6	7.8	1	50		
Ansteuerungstonne Elbe	25.01	3.01	25.02	20.02	3.02	7.03	27	11.3	3	3	56		
Helgoland, Hafen und Einläufe	20.01	18.01	1.03	23.02	21.01	14.03	17	10.6	1.8	2	25		

Tabelle 18: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–1990

Table 18: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–1990

1961–1990		Häufigkeit %	Median			Früh.			Spät.		
Station	Beginn		Beginn	Ende	Ende	Beginn	Ende	Ende	Beginn	Ende	Ende
1961–1990		Frequency %	Median			Earliest			Latest		
Station	begin		begin	end	end	begin	end	end	begin	end	end
Bremen, Weser	1.01	53	25.01	2.01	6.03	13.9	7.4	2	73		
Brake, Weser	9.01	57	29.01	30.12	7.03	15.9	9	2	71		
Bremerhaven, Weser	10.01	60	4.02	30.12	8.03	15.9	9.5	3	73		
Hohe-Weg-Leuchtturm	9.01	63	23.02	14.01	12.03	21.6	13.7	1	80		
Alte Weser, Fahrwasser	7.01	40	19.02	4.01	22.03	18.5	7.4	2	56		
Neue Weser, Fahrwasser	16.01	23	20.02	17.01	3.03	9.4	2.2	1	38		
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt	12.01	57	20.02	31.12	17.03	22.1	12.5	3	76		
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	6.01	70	14.02	31.12	17.03	23.1	16.2	1	76		
Schillig, Jadegebiet	14.01	37	27.02	15.01	12.03	24.6	9	2	60		
Wangerooger Fahrwasser	14.01	53	14.02	10.01	8.03	12.2	6.5	1	65		
Wangerooge, Watten	4.01	67	19.02	30.12	23.03	22.7	15.1	1	76		
Wangerooge, Harle	4.01	67	19.02	30.12	24.03	22.9	15.2	1	76		
Norderney, Watten	6.01	77	17.02	30.12	15.03	22.1	16.9	1	74		
Norderney, Seegat	7.01	67	18.02	30.12	13.03	20.8	13.9	1	74		
Emden, Ems und Aussenhafen	4.01	67	11.02	1.01	16.03	25.7	17.1	2	71		
Ems, Emden – Randzelgat	2.01	70	9.02	19.12	16.03	25.7	18	2	80		
Borkum, Randzelgat	7.01	63	21.02	19.12	16.03	23.5	14.9	3	80		
Borkum, Westerems	9.01	60	20.02	31.12	13.03	20.3	12.2	1	78		

Tabelle 18: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–1990 (Fortsetzung)

Table 18: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–1990 (continued)

Station	1971–2000		Häufigkeit		Median		Früh.		Spät.		Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
	1971–2000		%		Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Winter mit Eis	alle Winter	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis
Station	Median begin	Earliest begin	Latest begin	Median end	Earliest end	Latest end	Frequency %	Median begin	Earliest begin	Latest begin	Median end	Earliest end	Latest end	Mean days all winters	Min. days with ice	Max. days with ice
Dagebüll, Hafen	4.01	1.12	18.02	20.02	3.12	9.03	70	20.02	3.12	9.03	20.4	14.3	1	20.4	1	65
Dagebüller Fahrwasser	7.01	2.12	18.02	21.02	3.12	9.03	63	21.02	3.12	9.03	22.3	14.1	2	22.3	2	65
Wyk auf Föhr, Hafen	14.01	21.12	17.02	24.02	16.01	11.03	40	24.02	16.01	11.03	28	11.2	7	28	7	61
Wyk auf Föhr, Norderaue	12.01	21.12	17.02	22.02	17.01	10.03	43	22.02	17.01	10.03	29	12.7	6	29	6	60
Husum, Hafen	1.01	1.12	15.02	9.02	4.12	12.03	67	9.02	4.12	12.03	24	16	3	24	3	66
Husum, Au	2.01	1.12	18.02	9.02	4.12	12.03	67	9.02	4.12	12.03	22.9	15.2	3	22.9	3	66
Nordstrand, Hever	6.01	1.12	15.02	16.02	2.12	16.03	62	16.02	2.12	16.03	25.9	16.1	2	25.9	2	69
Tönning, Hafen	23.12	23.11	12.02	22.02	12.12	26.03	90	22.02	12.12	26.03	35.1	31.6	3	35.1	3	108
Eiderdamm, Seegebiet	19.12	22.11	11.02	24.02	11.12	21.03	87	24.02	11.12	21.03	32.5	28.1	1	32.5	1	89
Büsum, Hafen	2.01	26.11	14.02	18.02	13.12	21.03	70	18.02	13.12	21.03	28.9	20.2	2	28.9	2	68
Büsum, Norderpiep	5.01	26.11	14.02	17.02	13.12	11.03	67	17.02	13.12	11.03	25.9	17.3	1	25.9	1	64
Büsum, Süderpiep	4.01	26.11	14.02	17.02	13.12	11.03	67	17.02	13.12	11.03	26.1	17.4	1	26.1	1	64
Hamburg-Landungsbrücken	1.01	26.11	19.02	11.02	6.12	9.03	70	11.02	6.12	9.03	24.3	17	5	24.3	5	56
Stadersand, Elbe	5.01	10.12	19.02	5.02	12.12	11.03	67	5.02	12.12	11.03	20.7	13.8	2	20.7	2	60
Glückstadt, Hafen und Einfahrt	5.01	30.11	12.02	25.02	11.12	16.03	60	25.02	11.12	16.03	32.2	19.3	4	32.2	4	80
Glückstadt, Elbe	7.01	8.12	10.02	19.02	4.01	8.03	53	19.02	4.01	8.03	27.6	14.7	3	27.6	3	64
Brunsbüttel, Elbe	15.01	21.12	22.02	23.02	22.01	21.03	47	23.02	22.01	21.03	29	13.5	7	29	7	62
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt	11.01	18.12	18.02	20.02	16.01	15.03	43	20.02	16.01	15.03	28	12.1	7	28	7	58
Cuxhaven, Elbe	11.01	19.12	18.02	20.02	16.01	15.03	43	20.02	16.01	15.03	27.8	12.1	6	27.8	6	58
Cuxhaven – Neuwerk	8.01	19.12	19.02	18.02	4.01	15.03	47	18.02	4.01	15.03	23.6	11	1	23.6	1	54
Neuwerk, Elbe	11.01	19.12	19.02	18.02	16.01	15.03	43	18.02	16.01	15.03	22.6	9.8	4	22.6	4	49
Großer Vogelsand	9.01	20.12	21.02	8.02	3.01	4.03	43	8.02	3.01	4.03	18.1	7.8	2	18.1	2	45
Ansteuerungstonne Elbe	16.01	1.01	25.02	18.02	22.01	3.03	23	18.02	22.01	3.03	9.9	2.3	3	9.9	3	34
Helgoland, Hafen und Einläufe	4.02	18.01	1.03	21.02	21.01	14.03	13	21.02	21.01	14.03	7	0.9	2	7	2	14

Tabelle 19: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1971–2000
 Table 19: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1971–2000

1971–2000		Häufigkeit %	Median			Früh.			Spät.		
Station	Beginn		Ende	Mittel	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Mittel
1971–2000		Frequency %	Median			Earliest			Latest		
Station	begin		end	begin	end	begin	end	begin	end	begin	end
Bremen, Weser	4.01	20.12	26.02	30.01	2.01	4.03	13.1	5.5	2	32	
Brake, Weser	4.01	21.12	23.02	5.02	4.01	27.02	16.1	5.9	3	30	
Bremerhaven, Weser	11.01	21.12	1.03	9.02	14.01	4.03	14	6.1	2	31	
Hohe-Weg-Leuchtturm	12.01	21.12	17.02	23.02	19.01	9.03	20.1	9.4	4	46	
Alte Weser, Fahrwasser	7.01	22.12	22.02	11.02	4.01	6.03	15.6	5.2	2	37	
Neue Weser, Fahrwasser	16.01	1.01	12.02	9.02	17.01	22.02	11.9	2.8	1	37	
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt	15.01	18.12	19.02	20.02	4.01	17.03	20.1	9.4	1	42	
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	8.01	17.12	17.02	17.02	2.01	17.03	19.1	11.5	1	42	
Schillig, Jadegebiet	10.01	21.12	17.02	18.02	13.01	12.03	23.5	7.8	2	51	
Wangerooger Fahrwasser	12.01	28.12	22.02	8.02	5.01	4.03	10.3	4.8	1	27	
Wangerooge, Watten	10.01	8.12	21.02	14.02	31.12	16.03	19.5	10.4	1	44	
Wangerooge, Harle	10.01	8.12	21.02	14.02	31.12	17.03	19.6	10.4	1	44	
Norderney, Watten	5.01	25.11	14.02	17.02	2.01	15.03	21.7	14.5	1	69	
Norderney, Seegat	6.01	25.11	14.02	20.02	8.01	13.03	20.3	11.5	1	51	
Emden, Ems und Aussenhafen	6.01	2.12	15.02	13.02	1.01	16.03	24.9	14.1	1	66	
Ems, Emden – Randzelgat	6.01	9.12	16.02	19.02	19.12	16.03	25.1	14.2	3	56	
Borkum, Randzelgat	7.01	7.12	18.02	11.02	19.12	16.03	21.9	12.4	2	54	
Borkum, Westerems	9.01	24.12	21.02	15.02	4.01	13.03	19	8.9	1	41	

Tabelle 19: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1971–2000 (Fortsetzung)
 Table 19: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1971–2000 (continued)

Station	1981–2010		Häufigkeit		Median		Früh.		Spät.		Mittel Tage		Min. Tage		Max. Tage	
	1981–2010		%		Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Winter mit Eis	alle Winter	mit Eis	mit Eis	mit Eis	mit Eis
Station	Frequency	%	Median begin	Median end	Earliest begin	Latest begin	Earliest end	Latest end	Mean days winters with ice	Mean days all winters	Min. days with ice	Max. days with ice				
Dagebüll, Hafen	57	57	9.01	22.02	8.12	18.02	7.01	15.03	22.2	12.6	1	59				
Dagebüller Fahrwasser	53	53	9.01	22.02	15.12	18.02	7.01	15.03	22.6	12.1	3	59				
Wyk auf Föhr, Hafen	37	37	9.01	26.02	19.12	17.02	12.01	13.03	29.1	10.7	7	61				
Wyk auf Föhr, Norderaue	37	37	9.01	26.02	19.12	17.02	12.01	13.03	29.5	10.8	2	60				
Husum, Hafen	53	53	2.01	24.02	8.12	4.03	18.12	15.03	25.6	13.7	3	58				
Husum, Au	53	53	2.01	12.02	8.12	5.03	18.12	12.03	23.1	12.3	3	56				
Nordstrand, Hever	45	45	4.01	22.02	9.12	15.02	12.12	16.03	29.3	13.1	2	69				
Tönning, Hafen	87	87	25.12	14.02	23.11	2.03	15.12	26.03	31.3	27.1	2	108				
Eiderdamm, Seegebiet	83	83	21.12	26.02	22.11	11.02	17.12	18.03	30.4	25.3	1	77				
Büsum, Hafen	70	70	5.01	20.02	26.11	28.02	13.12	21.03	26.1	18.3	2	67				
Büsum, Norderpiep	57	57	3.01	21.02	26.11	14.02	13.12	15.03	28.3	16	1	64				
Büsum, Süderpiep	57	57	3.01	20.02	26.11	14.02	13.12	11.03	27.8	15.8	1	64				
Hamburg-Landungsbrücken	53	53	28.12	7.02	26.11	4.02	15.12	9.03	27.5	14.7	6	55				
Stadersand, Elbe	53	53	6.01	11.02	10.12	17.02	12.12	11.03	21.7	11.6	2	48				
Glückstadt, Hafen und Einfahrt	43	43	6.01	28.02	6.12	12.02	8.01	14.03	29.7	12.9	2	70				
Glückstadt, Elbe	40	40	9.01	23.02	8.12	7.02	7.01	14.03	24.8	9.9	2	55				
Brunsbüttel, Elbe	37	37	13.01	28.02	16.12	22.02	22.12	21.03	27.9	10.2	1	55				
Cuxhaven, Hafen und Einfahrt	37	37	7.01	20.02	18.12	9.02	12.01	15.03	29.6	10.9	5	57				
Cuxhaven, Elbe	30	30	6.01	26.02	19.12	9.02	14.01	15.03	30.4	9.1	5	51				
Cuxhaven – Neuwerk	30	30	10.01	25.02	19.12	9.02	14.01	15.03	28.3	8.5	5	46				
Neuwerk, Elbe	30	30	10.01	18.02	19.12	13.02	14.01	15.03	22.8	6.8	4	47				
Großer Vogelsand	27	27	8.01	12.02	20.12	21.02	13.01	4.03	20.9	5.6	4	45				
Ansteuerungstonne Elbe	20	20	12.01	13.02	1.01	25.02	14.01	3.03	10.7	2.1	3	34				
Helgoland, Hafen und Einläufe	10	10	19.02	20.02	20.01	1.03	21.01	14.03	6	0.6	2	14				

Tabelle 20: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1981–2010

Table 20: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1981–2010

1981–2010		Häufigkeit %	Median			Früh.			Spät.		
Station	Beginn		Ende	Mittel	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Mittel
1981–2010		Frequency %	Median			Earliest			Latest		
Station	begin		end	begin	end	begin	end	begin	end	begin	end
Bremen, Weser	6.01	40	6.01	12.12	26.02	28.01	6.01	4.03	12.4	5	32
Brake, Weser	6.01	27	6.01	21.12	23.02	25.01	12.01	27.02	15.5	4.1	30
Bremerhaven, Weser	9.01	30	9.01	18.12	1.03	19.02	13.01	4.03	16.1	4.8	31
Hohe-Weg-Leuchtturm	8.01	30	8.01	19.12	17.02	23.02	13.01	9.03	21	6.3	46
Alte Weser, Fahrwasser	7.01	27	7.01	19.12	22.02	9.02	19.12	6.03	16.1	4.3	37
Neue Weser, Fahrwasser	14.01	23	14.01	19.12	9.02	2.02	19.12	20.02	10.6	2.5	37
Wilhelmshaven, Hafeneinfahrt	5.01	33	5.01	17.12	17.02	20.02	25.12	17.03	22.8	7.6	42
Wilhelmshaven, Tankerlöschbr.	6.01	43	6.01	17.12	17.02	20.02	7.01	17.03	20.2	8.8	42
Schillig, Jadegebiet	13.01	37	13.01	21.12	17.02	18.02	13.01	12.03	17.7	6.5	33
Wangerooger Fahrwasser	7.01	30	7.01	17.12	10.02	6.02	5.01	4.03	10.2	3.1	22
Wangerooge, Watten	10.01	40	10.01	15.12	17.02	20.02	6.01	16.03	21	8.4	39
Wangerooge, Harle	8.01	37	8.01	15.12	17.02	21.02	5.01	17.03	22.8	8.4	39
Norderney, Watten	4.01	47	4.01	25.11	14.02	19.02	8.01	15.03	23.4	10.9	57
Norderney, Seegat	4.01	47	4.01	25.11	14.02	18.02	8.01	13.03	19.6	9.1	51
Emden, Ems und Aussenhafen	5.01	43	5.01	2.12	6.02	22.02	8.01	16.03	26.5	11.5	52
Ems, Emden – Randzelgat	3.01	43	3.01	9.12	16.02	22.02	19.12	16.03	26.7	11.6	49
Borkum, Randzelgat	7.01	43	7.01	9.12	16.02	22.02	19.12	16.03	22.8	9.9	49
Borkum, Westerems	7.01	30	7.01	24.12	11.02	22.02	4.01	13.03	23.3	7	41

Tabelle 20: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1981–2010 (Fortsetzung)
 Table 20: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1981–2010 (continued)

Eiskarten der Winterstatistik

Ice charts of Winter Statistic

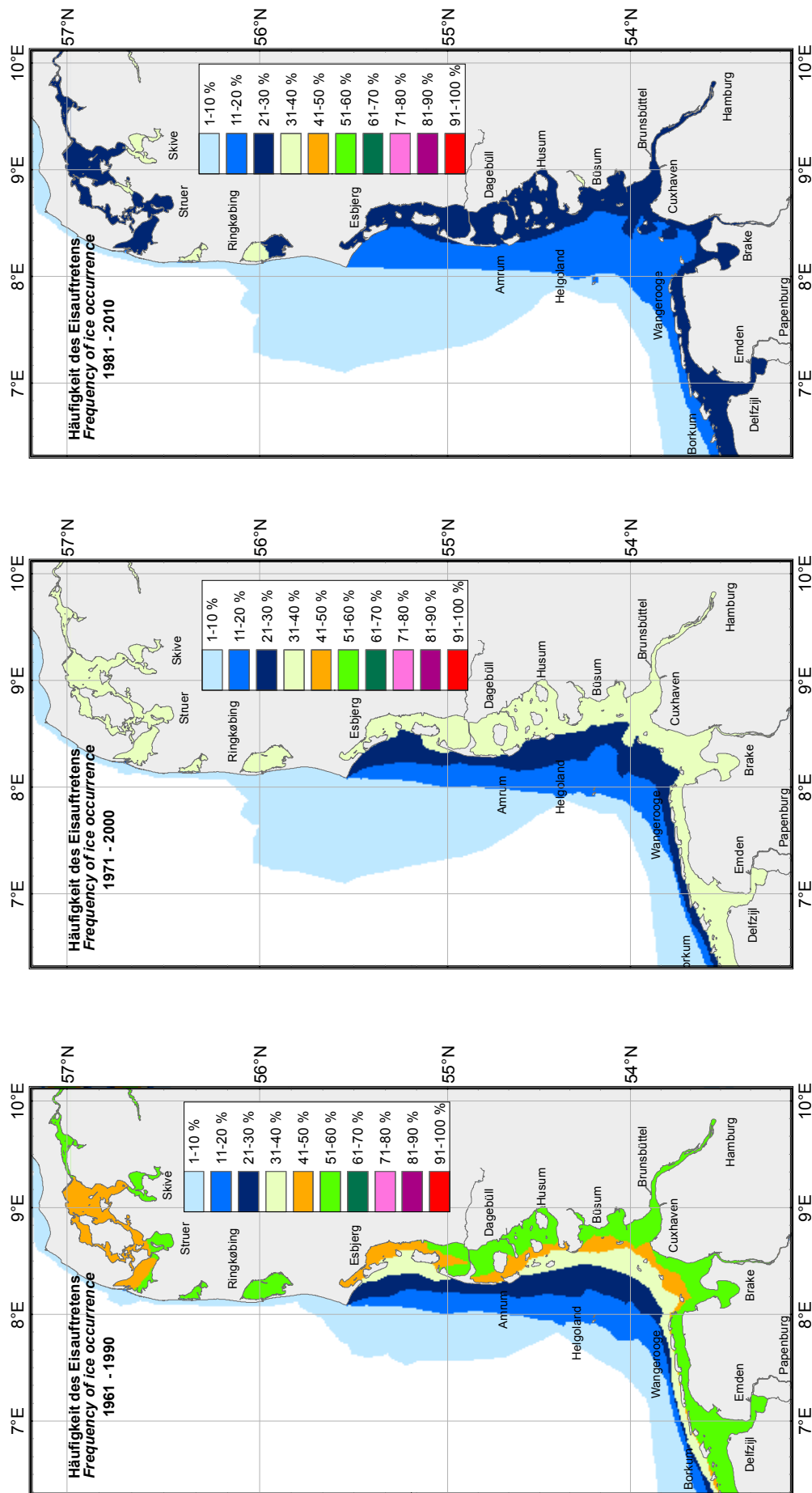


Abb. 54: Häufigkeit des Eisauftritts in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
Fig. 54: Frequency of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

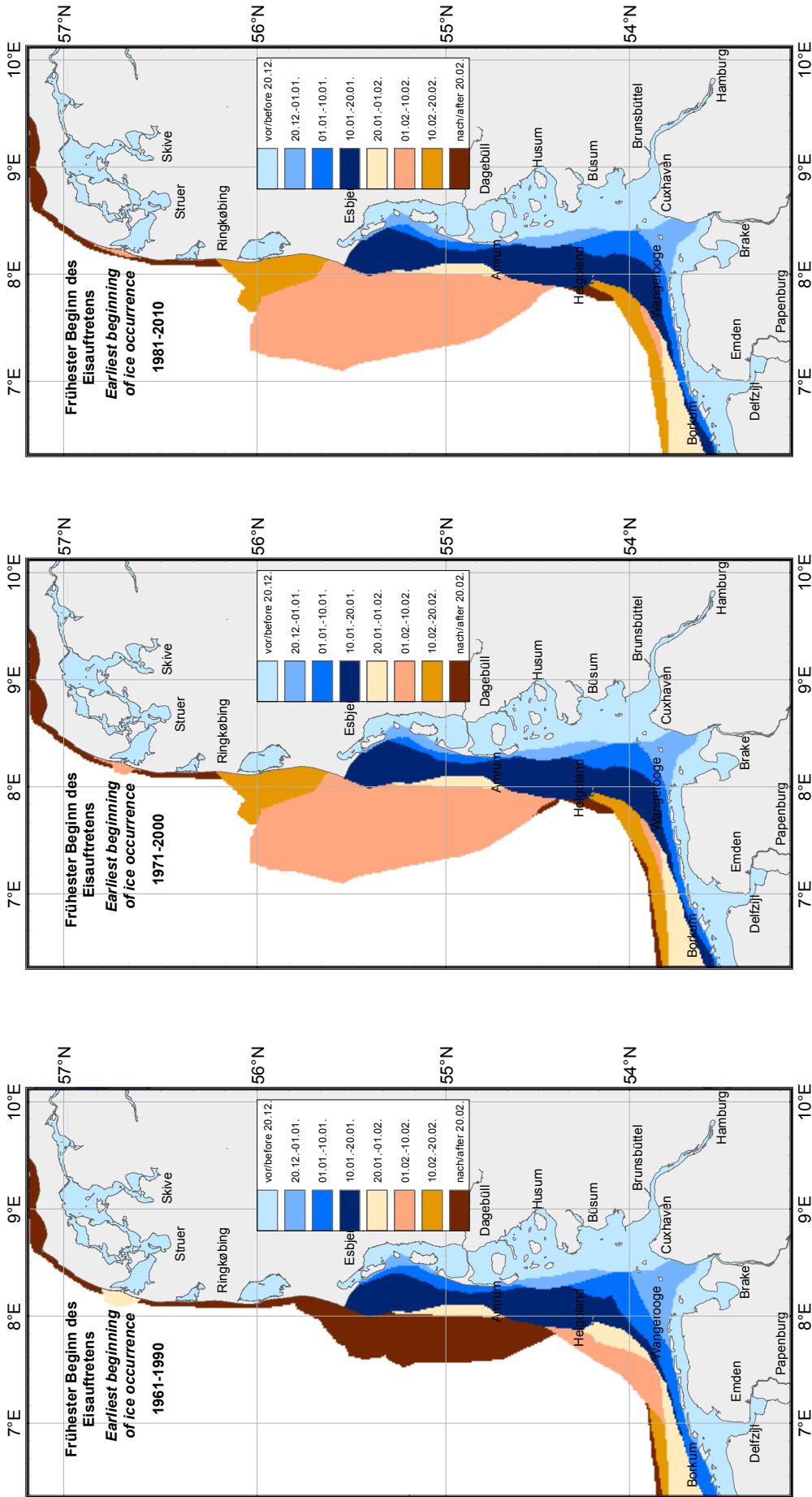


Abb. 55: Frühester Beginn des Eisauftritts in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 55: Earliest beginning of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

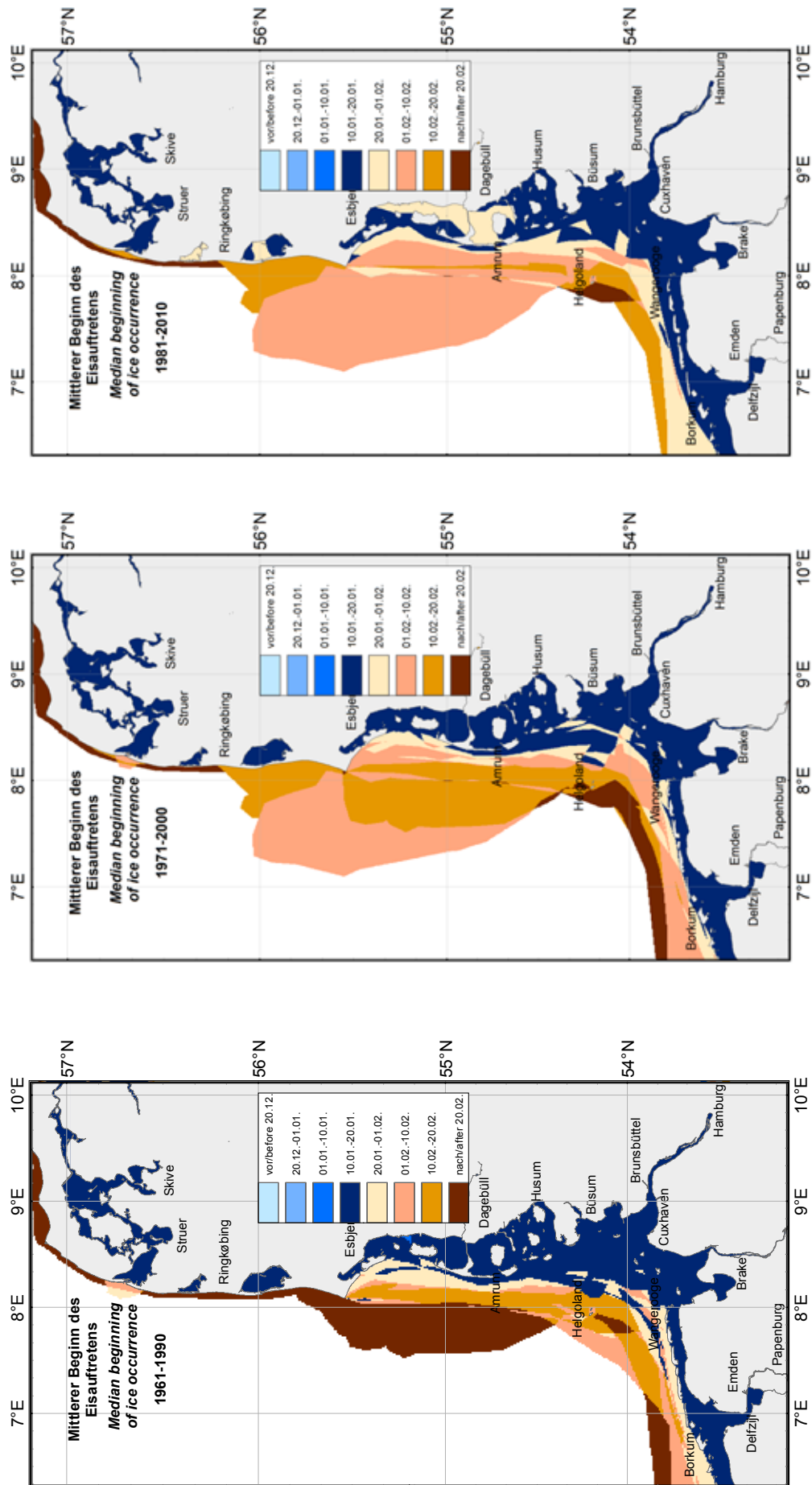


Abb. 56: Mittlerer Beginn des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 56: Median beginning of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

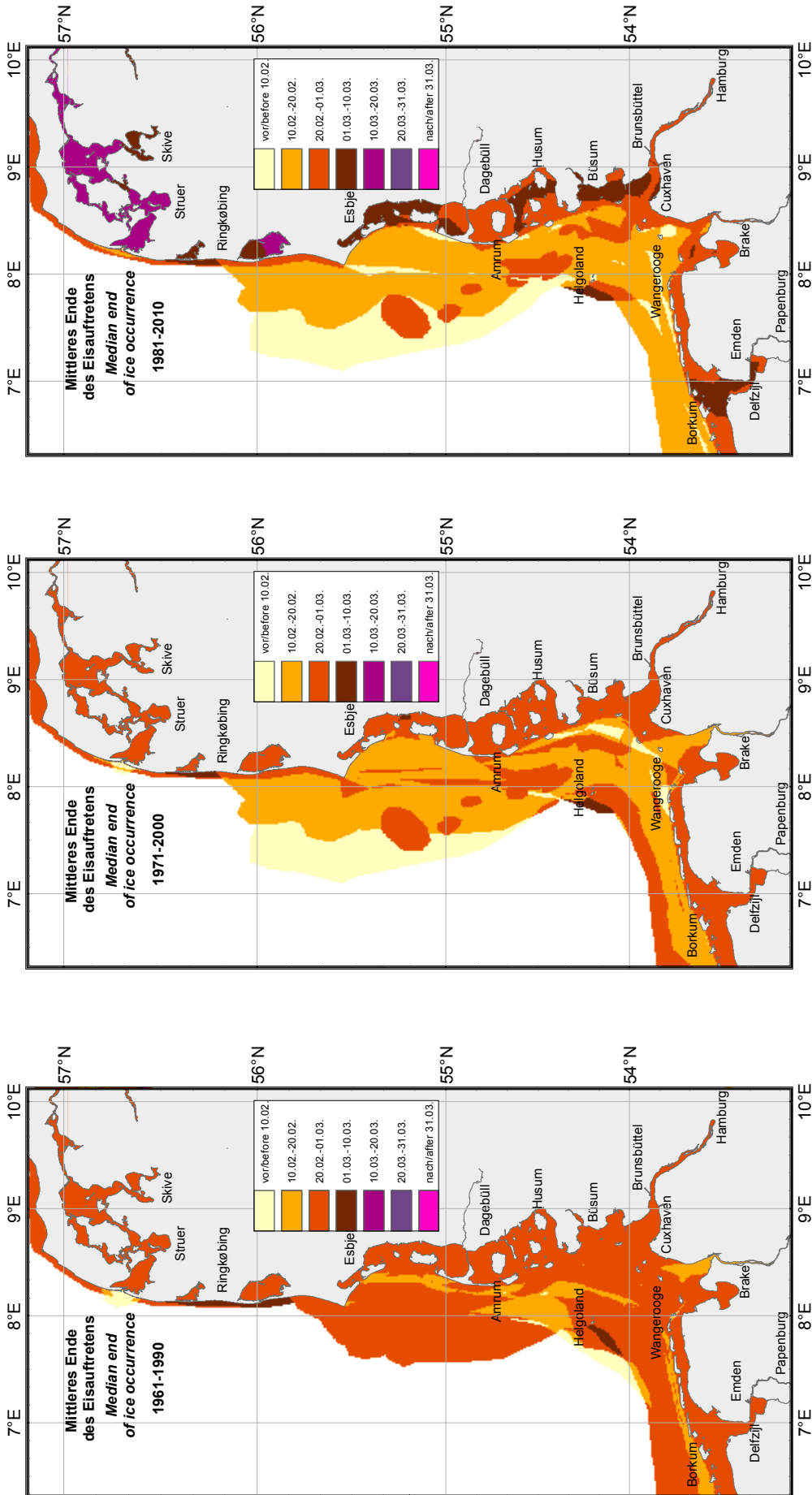


Abb. 57: Mittleres Ende des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 57: Median end of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

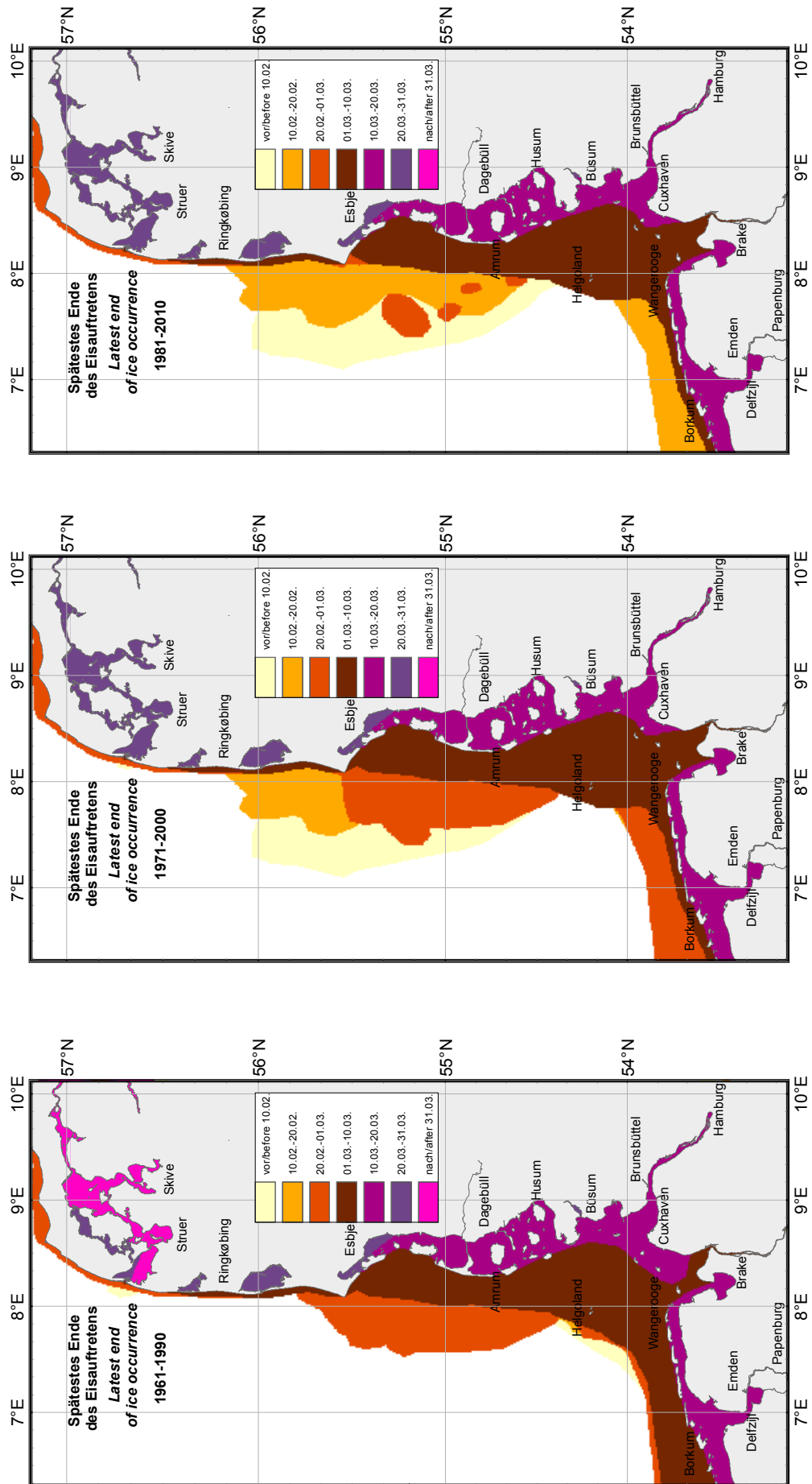


Abb. 58: Das späteste Ende des Eisauftritts in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 58: Latest end of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

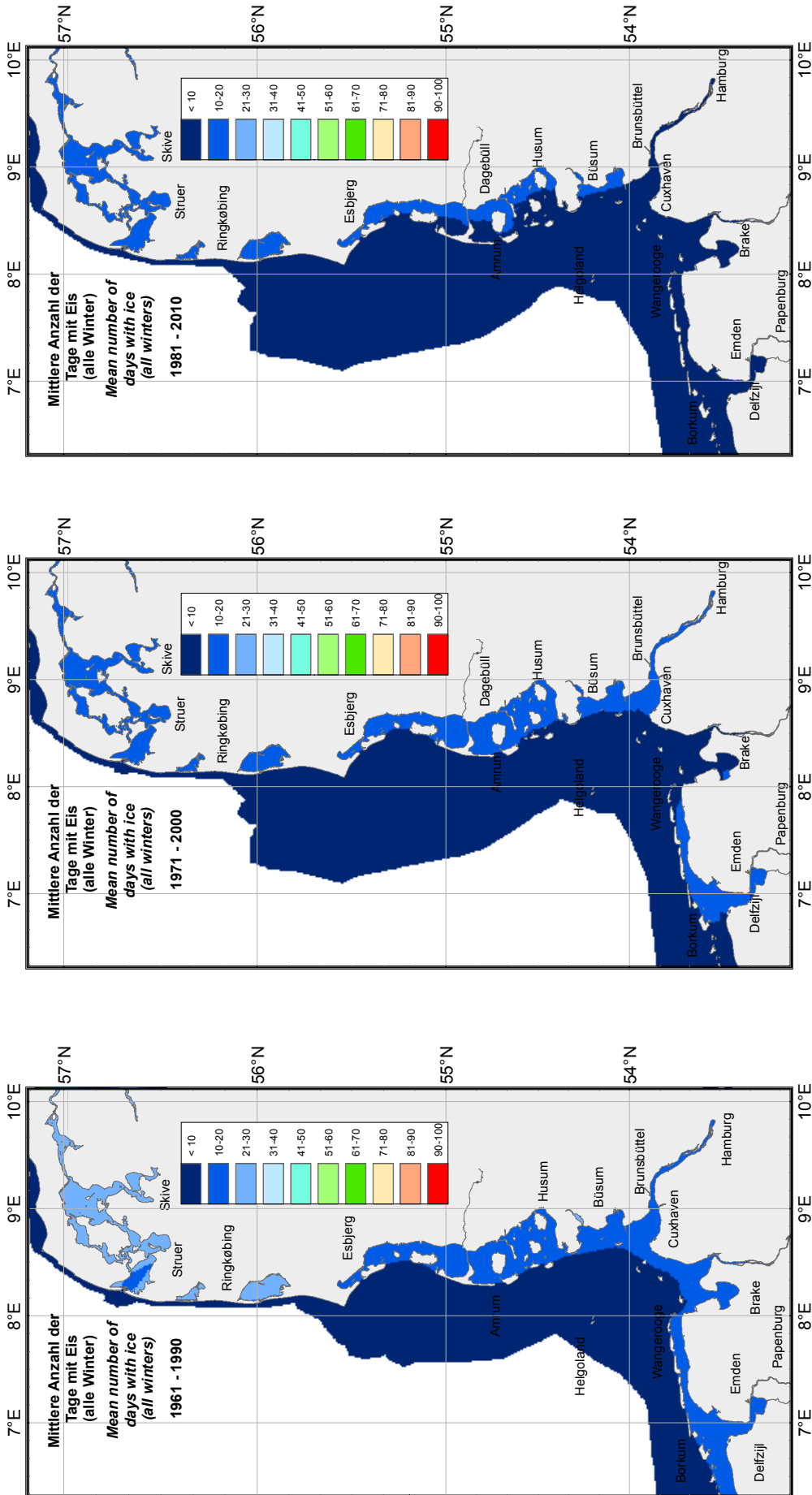


Abb. 59: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (alle Winter) in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 59: Mean number of the days with ice (all winters) in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

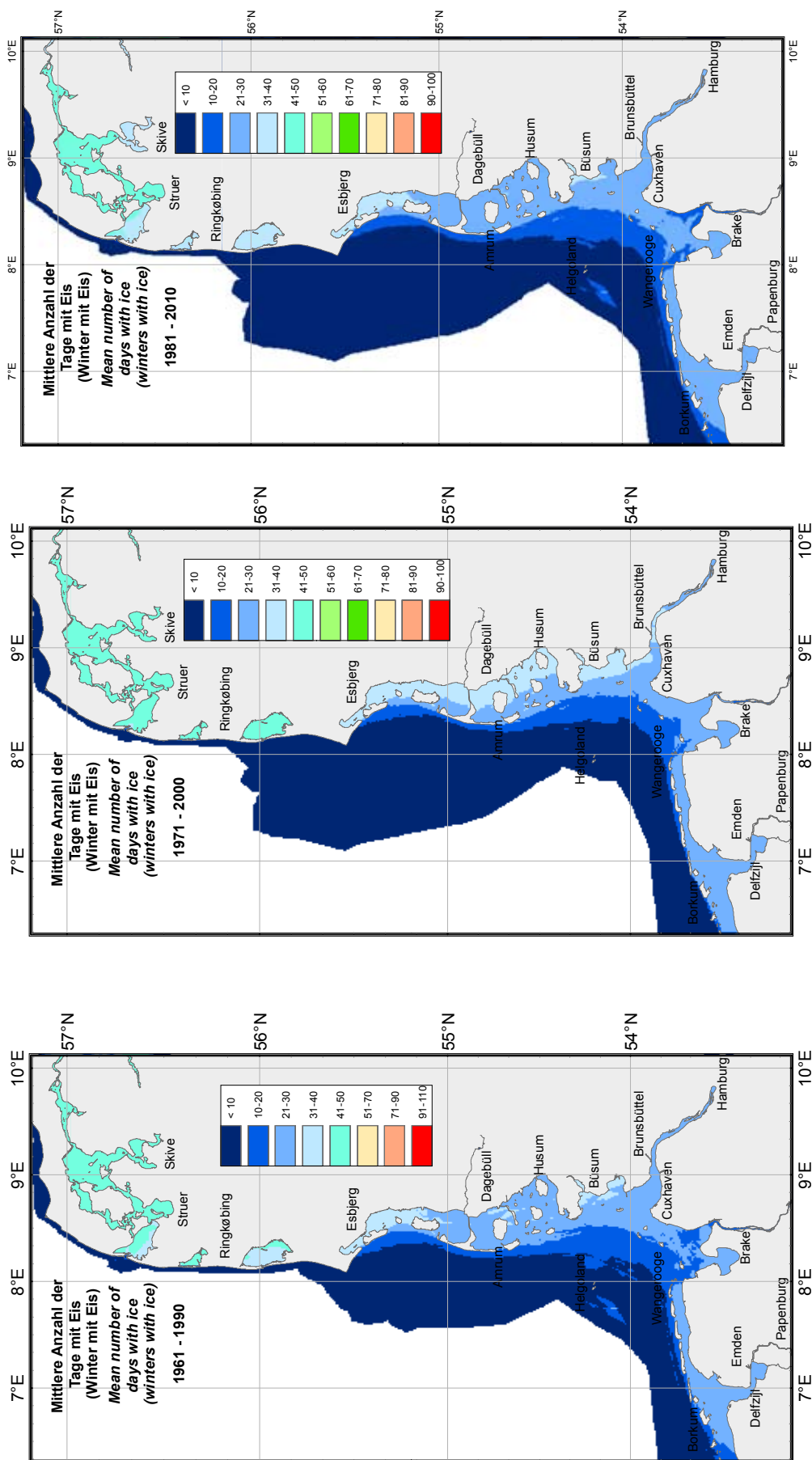


Abb. 60: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (Winter mit Eis) in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 60: Mean number of the days with ice (winters with ice occurrence) in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

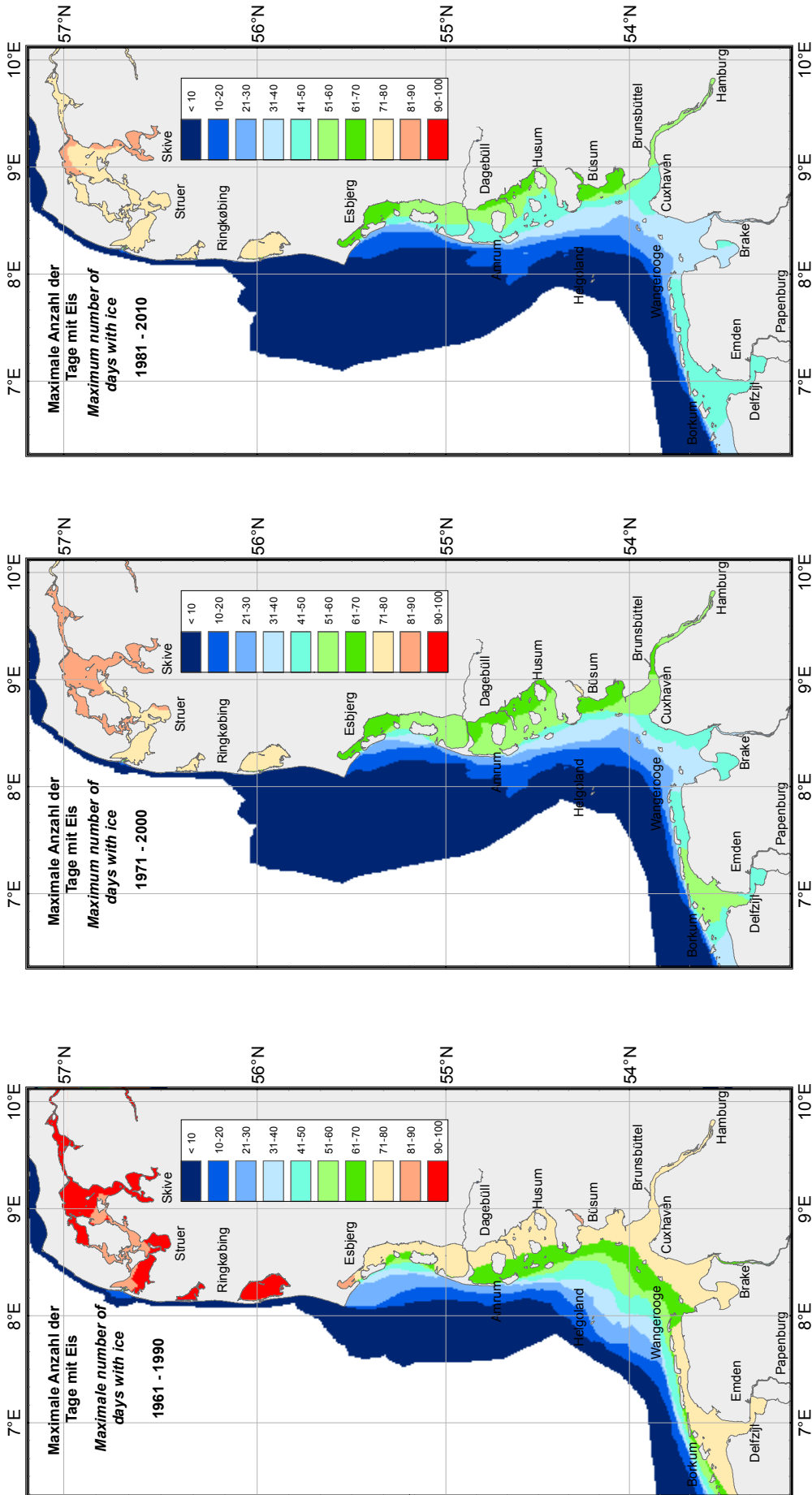


Abb. 61: Maximale Anzahl der Tage mit Eis in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 61: Maximum number of the days with ice in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

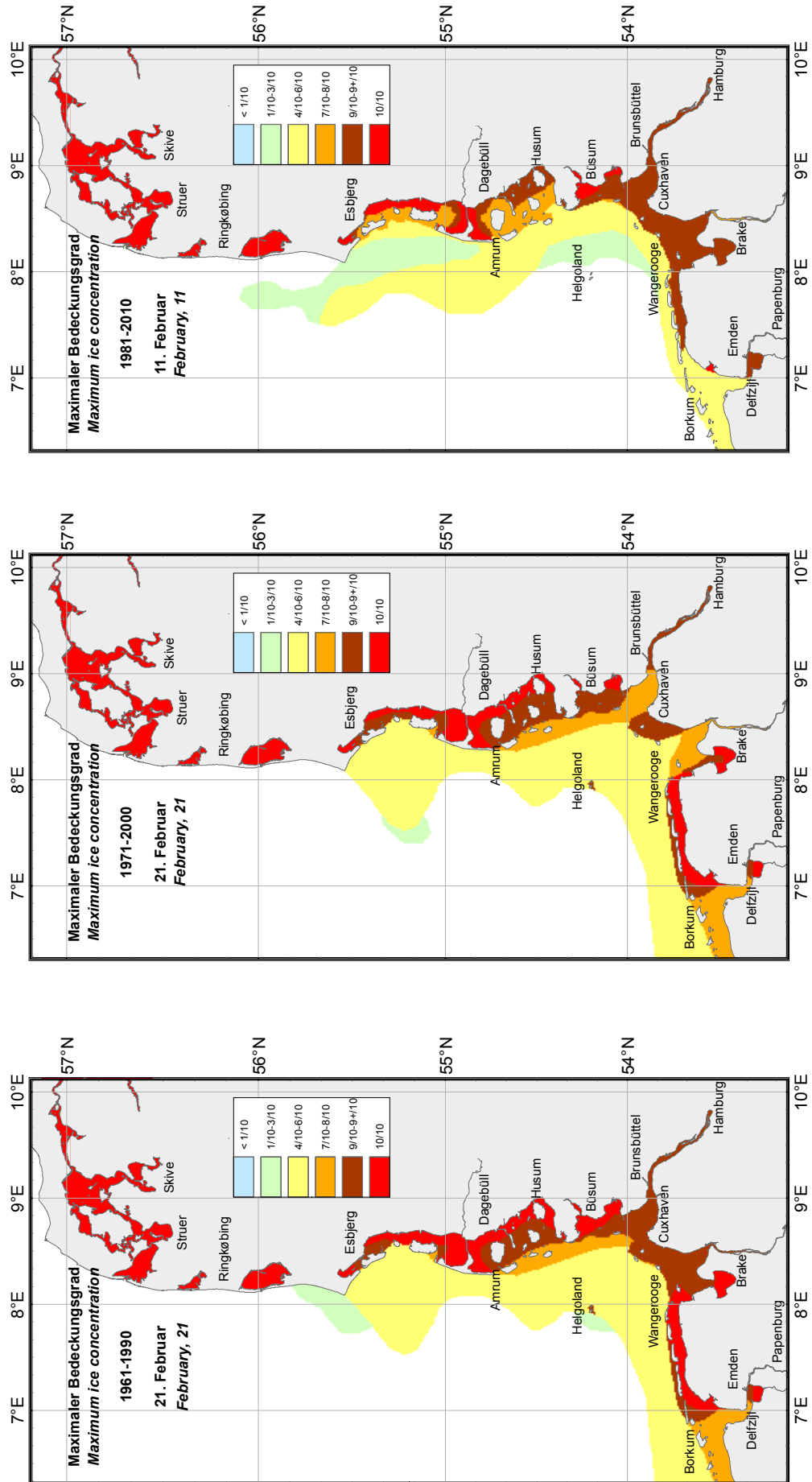


Abb. 62: Eisbedeckungsgrad zurzeit der maximalen Eisausdehnung in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 62: Ice concentration at the time of maximum ice extent in the 30-year periods 196–1990, 1971–2000, and 1981–2010

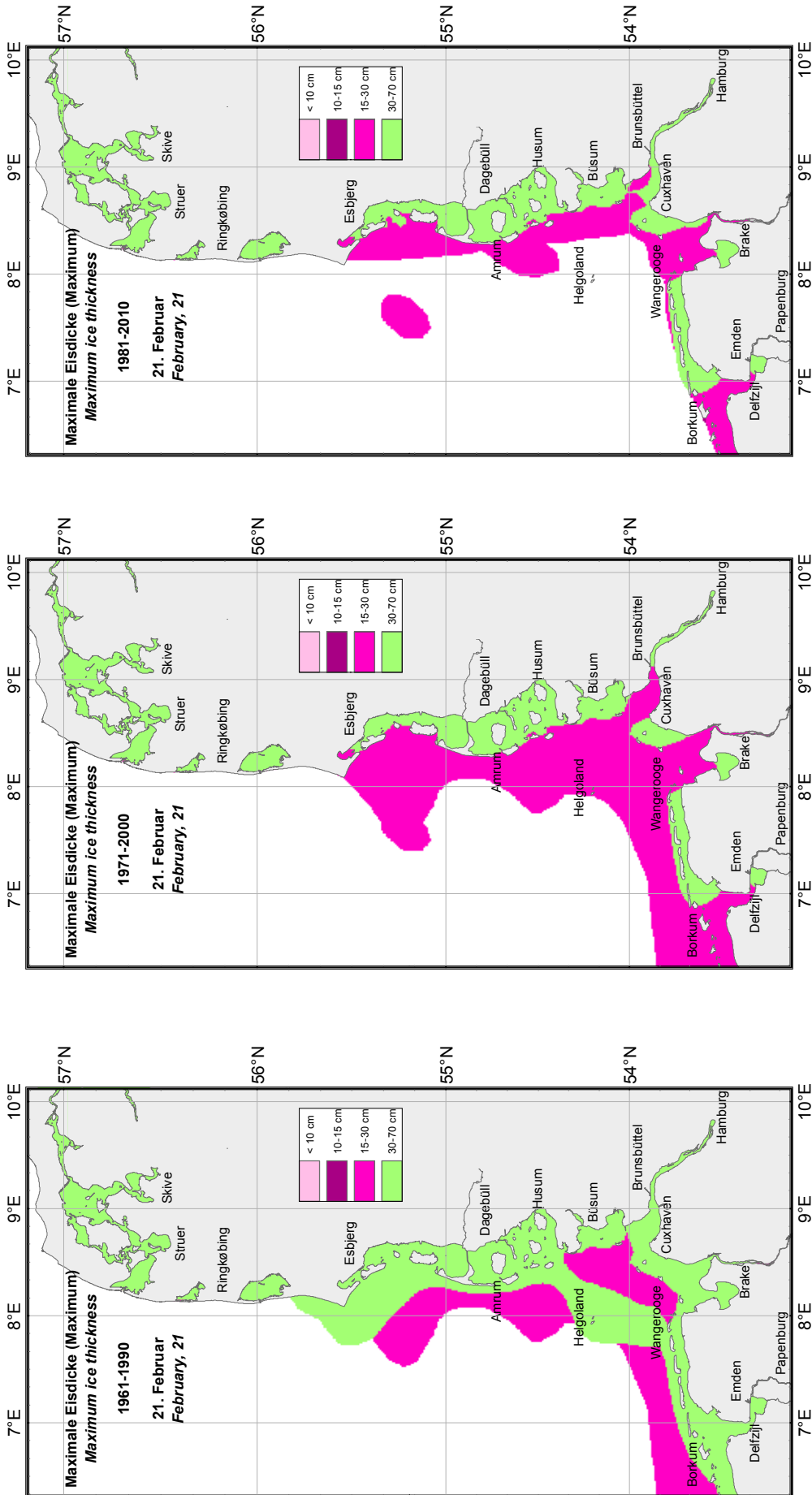


Abb. 63: Maximale Eisdicke am 21. Februar in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
 Fig. 63: Maximum ice thickness on 21 February in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Meerwassertemperaturen in der Deutschen Bucht (1968–2015)***Seawater temperatures in the German Bight (1968–2015)***

Vorbemerkungen

Als Integrator des meteorologischen Antriebs stellt die Meerestemperatur der Deutschen Bucht ein wichtiges Element der regionalen klimatischen Bedingungen dar. Diese Funktion resultiert aus der Wärmespeicherfähigkeit des Wassers, das sich noch Wochen und Monate später über seinen Wärmeinhalt an zu kalte oder zu warme Sommer bzw. Winter erinnert. Im September beginnt das Meerwasser die den Sommer über gespeicherte Wärme an die inzwischen kühlere Luft abzugeben. Diese Spenderrolle nimmt das Wasser nicht nur bis Ende Februar und ggf. bis zum Gefrierpunkt wahr, sondern spielt sie nötigenfalls durch Verwandlung in Meereis mittels der beim Phasenübergang freiwerdenden Gefrierwärme weiter.

Die bei einer mittleren Tiefe von vielleicht 25 m flache Deutsche Bucht unterliegt mit Hubvariationen von 10 bis 20 K zwischen August und Februar dem stärksten saisonalen Temperaturzyklus im Seegebiet Nordsee. In der hohen Variabilität spiegelt sich nicht nur das flache Tiefenrelief, sondern vor allem die besondere geographische Lage, durch welche die Deutsche Bucht im Rahmen der chaotischen atmosphärischen Zirkulation kontinental oder maritim ausgeprägten intrasaisonalen Episoden, Jahreszeiten und langjährigen Regimes ausgesetzt ist (Loewe et al., 2005; Loewe, 2009).

Aufgrund der geringen Wassertiefen überlappen sich die durch Wind und Gezeitenreibung induzierten Turbulenzregimes in weiten Teilen der Deutschen Bucht, sodass sich thermische Schichtungen nicht ausbilden können. Zumal sich dieser Beitrag fast ausschließlich mit den Temperaturbedingungen zwischen Oktober und März befasst, sind begriffliche Unterscheidungen zwischen Oberflächenwasser- und Bodenwassertemperaturen verzichtbar und Wortungetüme wie Meeresoberflächenkomposittemperaturverteilungsmuster entbehrlich. Aufgrund der vertikalen Durchmischung sind Oberflächentemperatur und Volumentemperatur identisch und proportional zum Wärmeinhalt der Wassersäule.

Die wichtigste Datenbasis für hier präsentierte Ergebnisse bilden die seit September 1968 vom BSH wöchentlich herausgegebenen Analysen der Oberflächentemperaturverteilung in der Nordsee (BSH, 2015). Das digitale Archiv umfasst inzwischen um 2500 Temperaturfelder, die auf einem flächentreuen 20 sm Gitter vorliegen. Obwohl seit 1994 in datenarmen Seegebieten Satellitendaten in die Bearbeitung einbezogen werden, stehen über das GTS der WMO gesammelte und ver-

Introductory remarks

As an integrator of meteorological forcing seawater temperature in the German Bight is an important element of regional climatic conditions. This function results from water's capacity to store heat. Consequently, too warm or cold summers or winters may be remembered in terms of anomalous heat contents weeks and months later. From September, the heat gained and stored through spring and summer is being released to the overlying, by then cooler air. Not only does seawater play the donor through February, and, as conditions require, up to the point of freezing, it continues doing so by transforming into sea ice, giving away the heat released in the process of changing phase.

At a mean depth of perhaps 25 m, the German Bight is rather shallow. Ranging from 10 to 20 K, the seasonal swing in temperature is nowhere higher in the entire North Sea. The high variability not only reflects the flatness of the sea area, but also its peculiar geographic location, which makes it accessible and subject to vastly different air masses of continental and maritime character, and, hence, by way of the chaotic atmospheric circulation, to intraseasonal episodes, seasons, and multiannual regimes of one kind or another (Loewe et al., 2005; Loewe, 2009).

Wind- and tide-induced regimes of turbulence overlap in large parts of the shallow German Bight, preventing thermal stratification at all times. Especially, since this contribution is almost exclusively concerned with temperature conditions between October and March, no need is seen to conceptually differentiate sea surface temperatures from temperatures at other vertical levels. In fact, as the water column is thoroughly mixed, sea surface temperature and volume temperature are equal and proportional to its heat content.

Most relevant to the results presented here are operational sea surface temperature analyses of the North Sea, which have been published weekly by BSH since September 1968 (BSH, 2015). The digital archive currently holds about 2500 temperature fields given on an equal-area grid at a resolution of 20 nm. Though satellite data have been used routinely in data-scarce sea areas since 1994, ship and buoy observations, collected and disseminated through WMO's GTS, still form the

teilte Schiffs- und Bojenmessungen weiterhin an der Basis der gleichzeitig eingeführten objektiven Analysetechnik (Loewe et al., 2003).

Alle Darstellungen und Angaben zu den Meerestemperaturen der Deutschen Bucht wurden aus einer Untermenge des Nordseedatensatzes abgeleitet, wobei die Positionen der verwendeten 21 Gitterpunkte in allen Temperaturkarten kenntlich gemacht sind. Aufgrund der hohen Verkehrsdichte in der Deutschen Bucht beruht dieser Teildatensatz fast vollständig auf Insitu-Beobachtungen.

Der Beitrag gliedert sich in 3 Abschnitte, die in direkter Beziehung zu den 3 vorausgehenden Kapiteln stehen und in gleicher Reihenfolge abgehandelt werden.

base of an objective analysis implemented at that time (Loewe et al., 2003).

All illustrations and numerical data as to seawater temperatures of the German Bight have been deduced from a subset of the North Sea dataset. This subset consists of data at 21 grid points, the locations of which are evident from any geographical temperature chart. As shipping traffic is heavy in the German Bight, the subset is almost exclusively based on in-situ observations.

The chapter is divided into 3 parts that directly relate to the 3 preceding chapters and keep the same order.

Temperatur und Eiswintertyp

Auf Basis der flächenbezogenen Eisvolumensumme lassen sich die Eiswinter an der deutschen Nordseeküste auf 5 Stärkeklassen verteilen (Seite 20 ff., Abb. 5). Wie beim Vergleich der Eisverhältnisse mit den Lufttemperaturen (Seite 153 ff.) werden auch hier die starken, sehr starken und extrem starken Eiswinter aufgrund ihres seltenen Auftretens zusammengenommen und schlicht als „stark“ bezeichnet. Für den im Weiteren betrachteten Zeitraum 1968/69–2014/15 ergeben sich so 7 starke, 13 mäßige und 27 schwache Eiswinter und damit exponentiell verteilte Häufigkeiten (7×2^k , $k=0,1,2$). Diese Verteilung erweist sich jedoch keineswegs als stationär, denn in der 2. Hälfte des Zeitraums nahmen schwache Eiswinter um knapp 60 % zu. Gleichzeitig ereignete sich nur ein starker Eiswinter, der zudem nunmehr 20 Jahre zurückliegt. Die Anzahl mäßiger Eiswinter blieb hingegen mit 6 vs. 7 praktisch unverändert. Dass es zu einer Verschiebung der Wahrscheinlichkeitsverteilung hin zu schwächeren Eiswintern gekommen ist, liegt nicht nur diese Umstände nahe, sondern auch die Tatsache, dass der mittlere Gang der monatlichen Meerestemperatur der Deutschen Bucht im Winterhalbjahr (Oktober bis März) im 2. Zeitabschnitt (1991/92–2014/15) um 0.8 ± 0.1 K über dem des 1. (1968/69–1991/92) verläuft.

Die jahreszeitliche Entwicklung der geographischen Verteilung der Meerestemperaturen in der Deutschen Bucht ist für die Monate Oktober bis März im Rahmen der Abbn. 65 bis 70 dokumentiert. Jede dieser Darstellungen ermöglicht wechselseitige Vergleiche zwischen den mittleren Verhältnissen im Gesamtzeitraum 1968/69–2014/15 und den 3 nach Eiswintertyp stratifizierten Kompositverteilungen. Während sich die Mitgliedschaft zum jeweiligen Kompositensemble für die Wintermonate unmittelbar aus der Klassifizierung des Eiswinters ergibt, richtet sich jene für die Herbstmonate nach der Einstufung des nachfolgenden Eiswinters. Ein eingehendes Studium von Übereinstimmungen, Ähnlichkeiten und Unterschieden bleibt dem interessierten Leser überlassen. (Grundsätzliche Aspekte der geographischen Temperaturverteilung und ihrer jahreszeitlichen Entwicklung werden anhand der Klimatologien für die Perioden 1971–2000 und 1981–2010 diskutiert (s. S. 248 ff.))

Die nachstehende Diskussion beschränkt sich auf den jahreszeitlichen Gang der räumlichen Mittel o. g. geographischer Monatsverteilungen (Abb. 64) sowie die langzeitliche Entwicklung räumlich gemittelter Monatstemperaturen und saisonaler Ab-

Temperature and ice-winter type

The severity of ice winters on the German coast of the North Sea as given by accumulated areal ice volume falls under 5 classes (p. 20 sqs, Fig. 5). As was appropriate when comparing ice conditions and air temperatures (p. 153 sqs.), strong, very strong, and extremely strong ice winters are aggregated here into one super class “strong” on account of their rare occurrence. Thus are obtained 7 strong, 13 moderate, 27 weak ice winters, and exponentially distributed frequencies (7×2^k , $k=0,1,2$) across the period of investigation, viz. 1968/69–2014/15. Yet, this distribution turns out non-stationary as the frequency of weak ice winters during the latter half of this period was nearly 60% higher than during the former. Moreover, only 1 strong ice winter fell into the 2nd interval as long as 20 years ago, while, at 6 vs. 7, the frequency of moderate ice winters remained virtually unchanged. Corroborating evidence for the apparent shift of the frequency distribution towards weaker ice winters comes from spatially averaged seawater temperatures in the German Bight. Long-term monthly means in the fall/winter season (Oct. through Mar.) of 1991/92–2014/15 evolve along a cycle uniformly elevated 0.8 ± 0.1 K above the one of 1968/69–1991/92.

The seasonal evolution of the geographical distribution of seawater temperature in the German Bight is presented in Figs. 65 to 71 for October through March. Each of these illustrations affords mutual comparisons among overall mean conditions for the entire period (1968/69–2014/15) and 3 composite distributions stratified according to ice-winter type. Assignment of winter temperatures to a composite ensemble derives directly from the concurrent ice-winter type, while fall temperatures belong to the type of the succeeding winter. An in-depth study as to agreements, similarities and differences is left to the interested reader. (Fundamental aspects of the geographical distribution and its temporal evolution are explained in the section on 30-year climatologies (cf. p. 248 sqs.))

The discussion here is limited to the spatially averaged seasonal cycle of above mentioned distributions (Fig. 64) and the long-term evolution of spatio-temporal mean temperatures and cooling rates (Figs. 71 to 74). Among other issues the fol-

kühlungsraten (Abbn. 71 bis 74). Dabei werden u. a. folgende Fragestellungen erörtert:

- Bilden sich die Eiswinterklassen auf unterscheidbare Temperaturbereiche ab?
- Kündigt sich der Eiswintertyp frühzeitig an?
- Warum sind starke Eiswinter seit 20 Jahren ausgeblieben?

Der Langzeitzyklus der Meerestemperatur erreicht seine Extrema im August (17.8 ± 1.1 °C) und Februar (3.5 ± 1.6 °C) und zeichnet sich somit durch einen beträchtlichen saisonalen Hub von 14.3 ± 1.6 K aus (Abb. 64). Die zwischenjährliche Variabilität wird in den Wintermonaten extrem, was der besonderen geographischen Lage der Deutschen Bucht im Grenzgebiet zwischen Nordatlantischem Ozean und der größten Landmasse der Erde geschuldet ist, deren maritim bzw. kontinental geprägte Luftmassen hier um Einfluss konkurrieren (Loewe et al., 2005, S. 71 ff.). Die mit den Eiswintertypen assoziierten Kompositzyklen ordnen sich in plausibler Weise um den Langzeitzyklus an. Eine Auftrennung dieser Zyklen deutet sich erst im Dezember an, wird im Januar deutlich erkennbar und dauert bis in den Mai fort (Abb. 64). Diese nachhaltige Wirkung insbesondere sehr kalter Winter bis weit in das Frühjahr hinein ergibt sich aus dem Umstand, dass die zum Abbau oder gar zur Invertierung solcher Kaltanomalien erforderlichen Wärmeüberschüsse gewöhnlich erst durch blockierende Hochdrucklagen bei gleichzeitig ausreichend hohem Sonnenstand zustandekommen können. Der Effekt zeigt sich indirekt in hohen Korrelationen zwischen den Temperaturfeldern der Frühjahrsmonate und dem Zustand der Nordatlantischen Oszillation im vorherigen Winter (Loewe, 1996), denn sie kommen durch die hohe Autokorrelation der Temperaturfelder zustande.

Die im September relativ hohe Differenz W–S von 1.2 K zwischen den Komposittemperaturen für schwache (W) und starke (S) Eiswinter schrumpft im Zeitfenster 1968–1991 (Z1) auf 0.5 K, schwillt aber für die Periode 1991–2014 (Z2) auf 1.6 K an, wenn in beiden Fällen alle 7 S-Temperaturen berücksichtigt werden. Die Spreizung von W–S resultiert somit schlicht aus dem Anstieg der W-Temperatur in Z2 (16.8 °C) gegenüber Z1 (15.7 °C). Aufgrund der invarianten Temperaturbedingungen für starke Eiswinter muss sich deren Eintrittswahrscheinlichkeit dabei prinzipiell verringern. Die Septembertemperatur lag vor dem letzten starken Eiswinter, der sich 1995/96 ereignete, mit 16.4 °C unter dem W-Niveau von Z2 (16.8 °C). Vor dem mäßigen Eiswinter 2009/10 wurde dieses Niveau mit 17.1 °C hingegen überschritten.

lowing questions are addressed:

- *do ice-winter types map onto distinguishable temperature ranges?*
- *do ice-winter types become apparent early on?*
- *why did strong ice winters fail to occur since 20 years?*

The long-term cycle of seawater temperature peaks in August (17.8 ± 1.1 °C) and hits its low point in February (3.5 ± 1.6 °C), which makes for a considerable seasonal range of 14.3 ± 1.6 K (Fig. 64). Interannual variability is extreme in winter due to a geographical peculiarity. Situated on the border of the vast North Atlantic ocean and earth's greatest land mass, the German Bight is subject to maritime and continental air masses competing for influence (Loewe et al., 2005, p. 195 sqs.). The composite cycles arrange themselves around the long-term means in a plausible fashion. Separate pathways become apparent in December, are clearly noticeable in January, and observable into May (Fig. 64). The lasting impact of very cold winters, in particular, derives from the fact that a sufficient surplus of heat to attenuate or even invert such cold anomalies usually requires not only atmospheric blocking, but also an adequate amount of solar radiation. The effect is indirectly evident from high correlations between monthly temperature fields in spring and the state of the North Atlantic Oscillation in the preceding winter (Loewe, 1996), as they arise from autocorrelations among the temperature fields.

At 1.2 K, the difference W–S between composite temperatures for weak (W) and strong (S) ice winters is rather large in September. This departure shrinks to 0.5 K for the time window 1968–1991 (Z1), but expands to 1.6 K for the period 1991–2014 (Z2), if all 7 S-temperatures are accounted for in each case. Thus, the increase in spread of W–S simply corresponds to a rise in W-temperatures in Z2 (16.8 °C) compared to Z1 (15.7 °C). Consequently, since temperature conditions for strong ice winters are time invariant, the probability of occurrence of such winters must fall. The last strong ice winter eventuated in 1995/96. At 16.4 °C, the temperature in the preceding September undercut the W-level of Z2 (16.8 °C). By contrast, the September temperature preceding the moderate ice winter of 2009/10 surpassed

Fraglich bleibt allerdings, wie sich ein kommender Winter „an seine im September gefassten Absichten erinnern soll“, wenn sich im Oktober und November kaum unterscheidbare mittlere Komposittemperaturen einstellen (Abb. 64). Hinzu kommt, dass die Spannweiten der Kompositverteilungen zwar in jedem Monat geringer ausfallen als diejenige für die Gesamtverteilung, aber dennoch so hoch sind, dass es zu Überlappungen der Verteilungen kommt, die einer eindeutigen Identifizierung irgendeiner Monatstemperatur (außerhalb der Wintersaison und ohne Kenntnis der Eiswinterstärke), als zu einer bestimmten Eiswinterstärke gehörig, entgegenstehen.

Derartige Überlappungen treten sogar im Februar auf, nämlich zwischen den mit schwachen und mäßigen Eiswintern assoziierten Temperaturverteilungen (Abb. 71). Im zickzackförmigen Verlauf der Temperaturzeitreihe zeichnet sich ein hoher Anteil quasi-biennialer Schwankungen ab, während der kurze Tiefpassfilter quasiperiodische Schwingungen zwischen 6 und 9 Jahren hervorhebt. Beide Merkmale kennzeichnen viele geophysikalische Zeitreihen der Region, aber auch die großräumige Nordatlantische Oszillation (Loewe und Koslowski, 1998). Weit realistischer als durch einen linearen Trend, der sich bei einem Anstieg von 0.4 ± 0.3 K/Dekade (95% Konfidenzintervall) von 2.7 °C (1969) bis 4.4 °C (2015) erstrecken würde, wird das Trendverhalten durch den langen Tiefpassfilter wiedergegeben. Die Zeitreihe gliedert sich faktisch in einen kalten Abschnitt, der sich rückwärts bis tief in die 1960er Jahre fortsetzen muss, und einen warmen Abschnitt der 1988 abrupt einsetzte und andauert. In der sehr kalten Phase 1976–1987, in der 5 der 7 starken Eiswinter eintraten, betrug die Mitteltemperatur 2.1 °C. In scharfem Kontrast hierzu ergibt sich für das anschließende, gleichfalls trendfreie Warmregime ein mittleres Niveau von 4.1 °C. Die Differenz entspricht der Spannweite der Temperaturverteilung für starke Eiswinter (Abb. 71), sodass deren Eintreten im andauernden Warmregime statistisch nahezu unmöglich erscheint.

Die Ausprägung der Winter ist in hohem Maße von der Stärke der atmosphärischen Zonalzirkulation abhängig (Loewe und Koslowski, 1998), die wiederum mit dem Aufkommen von Nordseestürmen korreliert (Loewe, 2009). Der Zusammenhang wird anhand der Häufigkeit von Winterstürmen im Nordseeraum deutlich (Abb. 72), die aus täglichen Luftdruckfeldern im mittleren Meeresniveau der NCEP/NCAR Reanalyse (Kalnay et al., 1996) abgeleitet wurde (Loewe, 2013). Das quasiperiodische Verhalten weist besonders im Bereich von

that level at 17.1 K. It remains questionable, however, how a coming winter “should remember intentions taken in September”, if mean composite temperatures in October and November converge beyond distinction (Fig 64). Add to this that though the monthly ranges of variation of each composite ensemble are smaller compared to those of the full temperature set, they are broad enough as to cause large overlaps among one another. Hence, an unequivocal identification of arbitrary monthly means as to pertaining to a particular ice-winter type is next to impossible outside the winter season.

Such overlaps even exist in February, viz. among temperature distributions associated with weak and moderate ice winters (Fig. 71). The zig-zag course of the temperature time series hints to a large amount of quasi-biennial variation, while the short low-pass filter underscores quasi-periodic oscillations between 6 and 9 years. Both features are characteristic of many geophysical time series of the region, but also of the large-scale North Atlantic Oscillation (Loewe and Koslowski, 1998). At a marginally significant slope of 0.4 ± 0.3 K/decade (95% confidence interval), a linear trend would extend from 2.7 °C (1969) to 4.4 °C (2015). A more sensible presentation of the long-term evolution is due to the long low-pass filter. The factual structure of the time series consists of a cold section, which must extend backwards way into the 1960s, and a persisting warm section that sprang up abruptly in 1988. At a mean temperature of 2.1 °C, the very cold regime of 1976–1987 accommodated 5 of 7 strong ice winters. Not exhibiting a trend either, temperatures of the current warm regime fluctuate about a starkly elevated mean level of 4.1 °C. Since the difference corresponds to the range of variation of the temperature distribution associated with strong ice winters (Fig. 71), the occurrence of such winters would appear highly unlikely in the persisting warm regime.

A winter's character largely depends on the strength of the zonal atmospheric circulation (Loewe and Koslowski, 1998), which in turn correlates to the frequency of North Sea gales (Loewe, 2009). The relationship to ice-winter type becomes obvious from Fig. 72 showing gale-day frequencies as derived by Loewe (2013) from daily mean sea level pressure fields of the NCEP/NCAR Reanalysis I (Kalnay et al., 1996). Particularly noticeable are quite coherent co-variations between wintry gale frequency and February temperature

6 bis 9 Jahren eine hohe Kohärenz mit demjenigen der Februartemperaturen auf (Abb. 71), wie sich den simultanen Eintrittszeiten der relativen Maxima visuell entnehmen lässt. Im Langzeitmittel bzw. -median treten Stürme im Winter an 19.7 bzw. 17 Tagen auf, wobei die nicht besetzte Mittelwertsumgebung den oszillatorischen Charakter der Zeitreihe unterstreicht. Ein Sturmaufkommen auf diesem oder höherem Niveau ging zu 80% mit schwachen Eiswintern einher. Für geringere Sturmhäufigkeiten ergibt sich hingegen eine Gleichverteilung der Eiswinterstärken (W: 9, M: 9, S: 7). Für die Zeitabschnitte vor und nach dem Temperatursprung von 1987/88 entartet diese zu einer quasidichotomen MS- respektive WM-Verteilung. Die Sturmfrequenzen in den mäßigen Eiswintern 2009/10 und 2010/11 unterschritten das 10%-Quantil (10.6 Tage) der Sturmverteilung. Unter solchen Bedingungen kam es auch im Kaltregime nur in 2 von 3 Fällen zu starken Eiswintern (Abb. 72).

Bis 1998 fluktuierte die Temperatur im November um ein mittleres Niveau von 9.2 °C, danach um eine Mitteltemperatur von 10.5 °C (Abb. 73). Die mittlere mit starken Eiswintern assoziierte Abkühlung ΔT von November auf Februar liegt bei 8.7 K. In den 1990er Jahren fielen die winterlichen Abkühlungsraten meist kaum halb so groß aus. Erst mit dem Jahrtausendwechsel setzte eine langfristige Entwicklung hin zu kräftigeren Abkühlungsraten ein, die zuletzt etwa 7 K/Quartal erreichten. Die Winter 2005/06 (W), 2009/10 (M), und 2014/15 (W) fielen mit Abkühlungen jenseits von 7.5 K in den bis dahin ausschließlich von starken Eiswintern besetzten Bereich. Deren Ausbleiben wurde offensichtlich durch die teils extrem hohen Temperaturen im November (11.9, 10.4, 12.4 °C) mindestens begünstigt. Ohne eine ebenso extrem starke wie seltene winterliche Abkühlung, wie sie 1978/79 (10.8 K) und 1995/96 (10.4 K) eintrat (Abb. 73), ist die mit starken Eiswintern assoziierte Mindesttemperatur von 2 °C im Februar (Abb. 71) kaum noch zu erreichen, geschweige denn zu unterschreiten.

Die hohen Novembertemperaturen der letzten 20 Jahre mögen gelegentlich aus verminderten Abkühlungsraten in den vorausgehenden Monaten wie im November selbst hervorgegangen sein. Das hohe mittlere Niveau korrespondiert jedoch mit seit Mitte der 1990er Jahre stark erhöhten Temperaturen im August, wenn der saisonale Zyklus im Zenit steht (Abb. 74). Der Übergang vom Kaltregime 1977–1989 mit einer Mitteltemperatur von 16.8 °C zum Warmregime 1994–2015 (18.5 °C) vollzog sich weniger abrupt, entspricht jedoch im

(Fig. 71) in the 6–9 yrs band that show best in simultaneously eventuating peak values. Long-term mean and median of winter gales are found at 19.7 and 17 days, respectively. The lack or scarcity of samples at and around the mean is typical of oscillatory time series. Gale frequencies at and exceeding this level went along with weak ice winters 80% of the time. By contrast, ice-winter types are uniformly distributed across gale frequencies falling short of that level (W:9, M: 9, S: 7). For time sections prior to and after the temperature jump of 1987/88 the uniform distribution degenerates to a quasidichotomous MS or WM distribution, respectively. Gale frequencies in the moderate ice winters of 2009/10 and 2010/11 undercut the 10% quantile (10.6 days) of the gale distribution. Even in the cold regime, only 2 out of 3 ice winters turned out strong under such conditions (Fig. 72).

November temperature fluctuated about a mean level of 9.2 °C until 1998, and about 10.5 °C thereafter (Fig. 73). The mean cooling from November to February results in 8.7 K for the composite associated with strong ice winters. The (overall) wintry cooling rates were scarcely half as large in the 1990s. The turn of the millennium fell together with the onset of a long-term evolution towards stronger cooling rates, lately arriving at a quarterly rate of 7 K. At a wintry cooling beyond 7.5 K, the winters 2005/06 (W), 2009/10 (M), and 2014/15 (W) fell into a range previously occupied by strong ice winters, only. Obviously, high and extremely high temperatures in November (11.9, 10.4, 12.4 °C) at least helped to prevent strong ice winters from materializing in these cases. The upper bound of the temperature range associated with strong ice winters lies at 2 °C in February (Fig. 71). Without sizeable cooling rates as occurred 1978/79 (10.8 K) and 1995/96 (10.4 K) this limit cannot currently be reached, much less transgressed. Such rates, however, are equally rare as they are extreme (Fig. 73).

High November temperatures of the past 20 years may at times have resulted from reduced cooling in the preceding months as in November itself. The high mean level, however, corresponds to starkly increased temperatures since the mid-1990s in August, when the seasonal cycle reaches its peak (Fig. 74). The transition from cold conditions during 1977–1989, when temperatures averaged at 16.8 °C, to the warm regime of 1994–2015 (18.5 °C) came about less abrupt, but led all the same to a temperature rise almost matching the

Ergebnis dem Regimesprung von 2 K im Februar (s. o. und Abb. 71). Die Trendfreiheit des saisonalen Hubs (Abb. 74) belegt nicht nur dies, sondern auch die Tatsache, dass der saisonale Zyklus der Meerestemperatur der Deutschen Bucht seit etwa 20 Jahren mit unverändertem Hub um ein um 1–2 K höheres Niveau schwingt als im mit 5 von 7 starken Eiswintern besetzten Kaltregime.

Interessant ist schließlich, dass das absolute Minimum der Augustzeitserie dem Regimesprung zu hohen Wintertemperaturen 1987/88 unmittelbar vorausging. Die starke Stauchung des saisonalen Jahresgangs dauerte bis 1989/90 an und spiegelt sich im Triplett extrem flacher Temperaturhübe (Abb. 74). Diese außergewöhnliche Abfolge macht nochmals sehr deutlich, dass kühle Temperaturen im Sommer oder Herbst keine hinreichende Bedingung für einen starken Eiswinter darstellen. Sie bieten lediglich eine günstigere Voraussetzung dafür, dass sich die bei geeigneter atmosphärischer Zirkulation hohen winterlichen Abkühlungsraten nicht in der Herunterkühlung des Meerwassers erschöpfen, sondern schließlich zur Eisproduktion führen.

2 K jump due the regime shift of February (v.s. and Fig. 71). The lack of a trend in the seasonal range (Fig. 74) confirms not only this. Since around 20 years, the seawater temperature of the German Bight swings at unchanged amplitude about a 1–2 K higher level than in the cold regime that accommodated 5 of 7 strong ice winters.

It is interesting to note that the absolute minimum of the August series immediately preceded the regime shift of 1987/88 towards high winter temperatures. The strong contraction of the seasonal cycle persisted until 1989/90 and is reflected in the triplet of extremely flat seasonal excursions (Fig. 74). This unusual sequence makes very clear once again that cool temperatures in summer or autumn by no means constitute sufficient a condition for a strong ice winter to follow. They just provide a favorable precondition such that high wintry cooling rates, realized in a suitable atmospheric winter circulation, rather than exhausting themselves in the depletion of excessive heat contents may eventually cause ice formation.

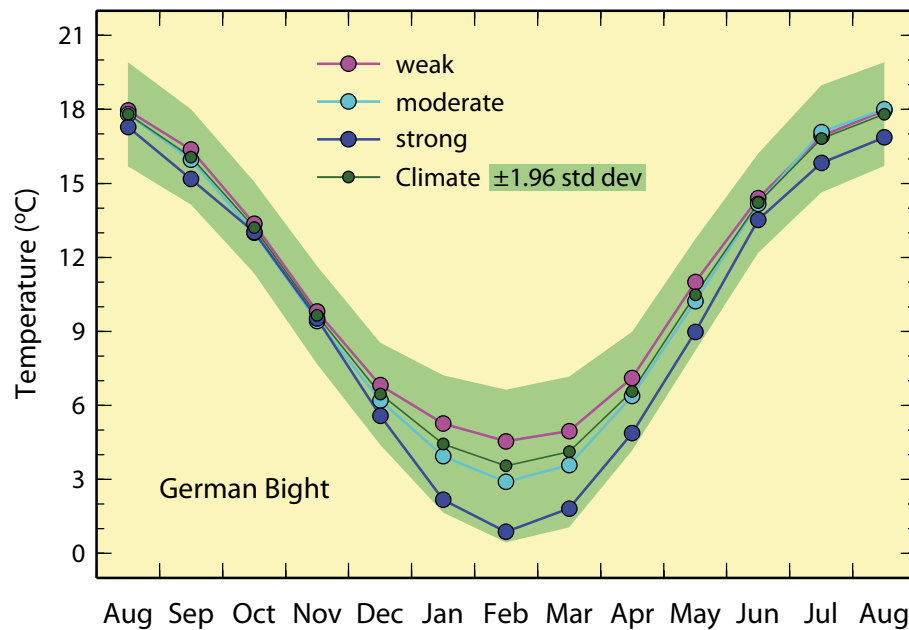


Abb. 64: Nach Eiswinterstärke stratifizierte mittlere Jahresgänge der Oberflächentemperatur der Deutschen Bucht im Zeitraum 1968/69–2014/15 mit Klimatologie und 95%-Band (Klima ± 1.96 Standardabweichungen). Die Kompositzyklen setzen sich aus 27 (schwach), 13 (mäßig) und 7 (stark) Jahresgängen zusammen.

Fig. 64: Mean seasonal SST cycles of the German Bight composited according to ice winter strength in the period 1968/69–2014/15 together with climatology and 95%-band (climatology ± 1.95 standard deviations). The composite cycles consist of 27 (weak), 13 (moderate) and 7 (strong) members.

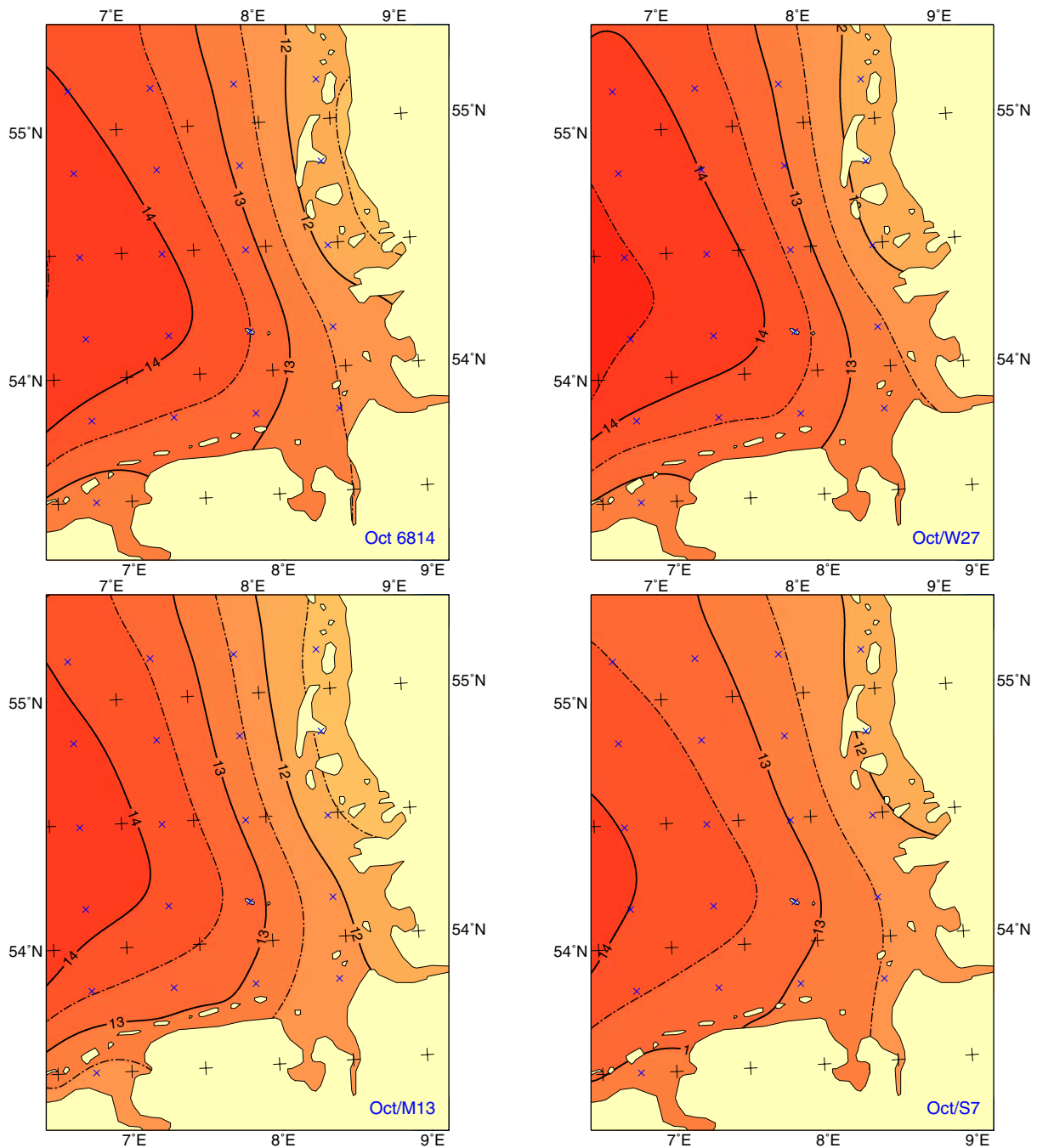


Abb. 65: Mittlere Temperaturverteilungen für alle Oktober des Zeitraums 1968–2014 (o.l.) und solche, die schwachen (W27, o.r.), mäßigen (M13, u.l.) und starken (S7, u.r.) Eiswintern vorausgingen; x (blau): Gitterpositionen des Datensatzes, Auflösung 20 sm.

Fig. 65: Mean temperature distributions for all Octobers within the period 1968–2014 (t.l.) and those preceding weak (W27, t.r.), moderate (M13, b.l.) and strong (S7, b.r.) ice winters; x (blue): grid points of observational data set, resolution 20 nm.

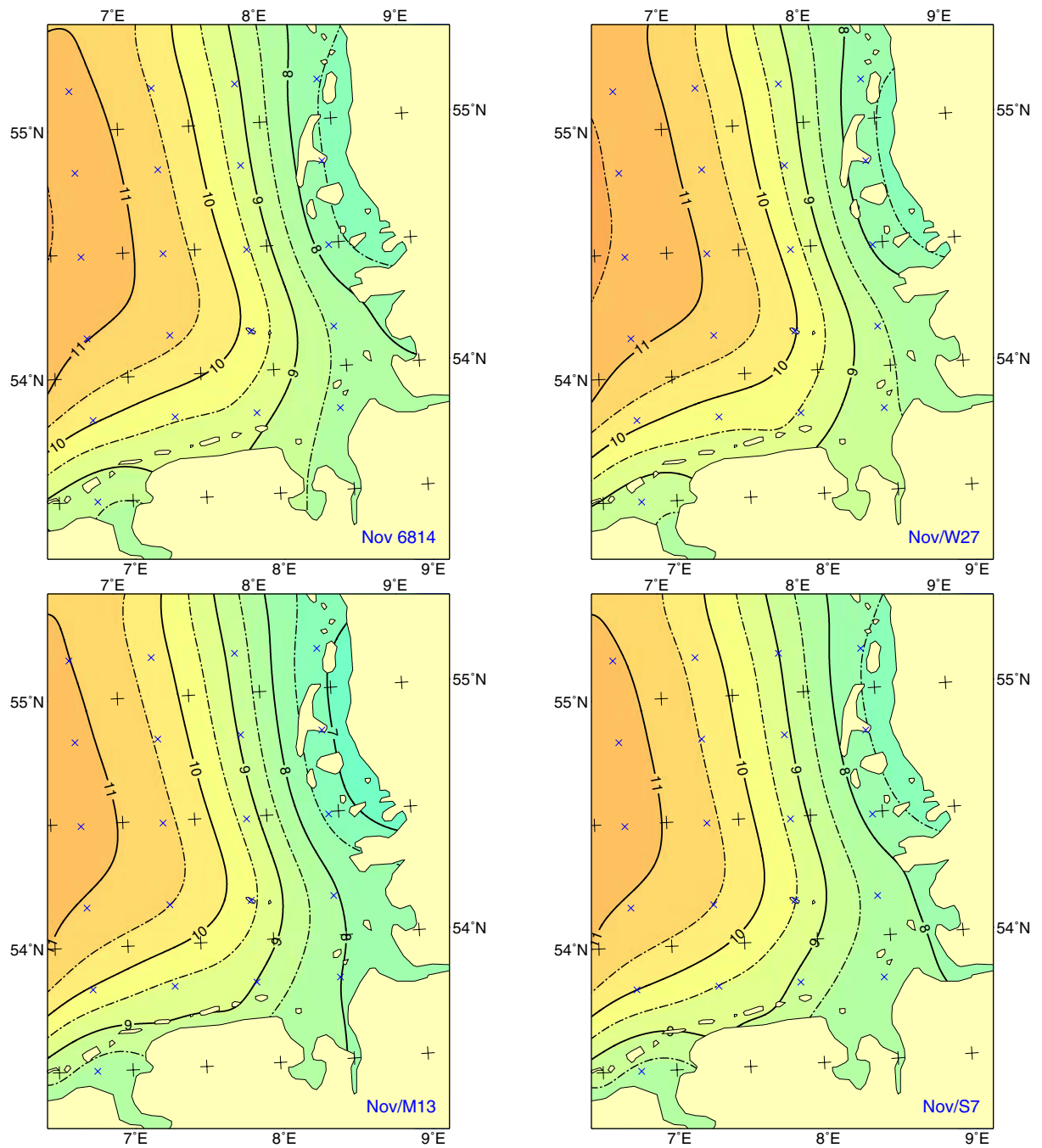


Abb. 66: Wie Abb. 65, jedoch für November.
Fig. 66: As Fig. 65, except for November.

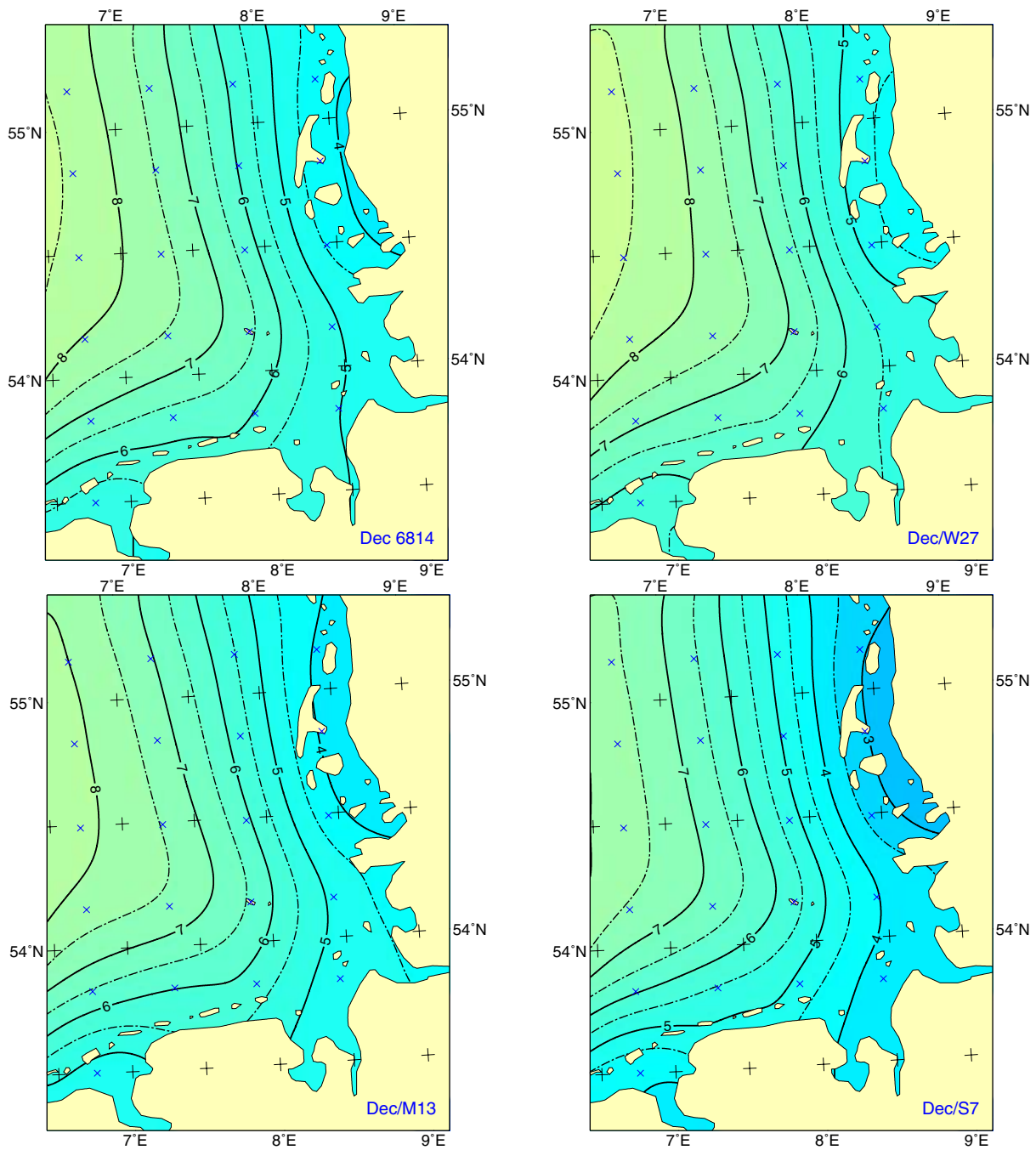


Abb. 67: Wie Abb. 65, jedoch für Dezember.
Fig. 67: As Fig. 65, except for December.

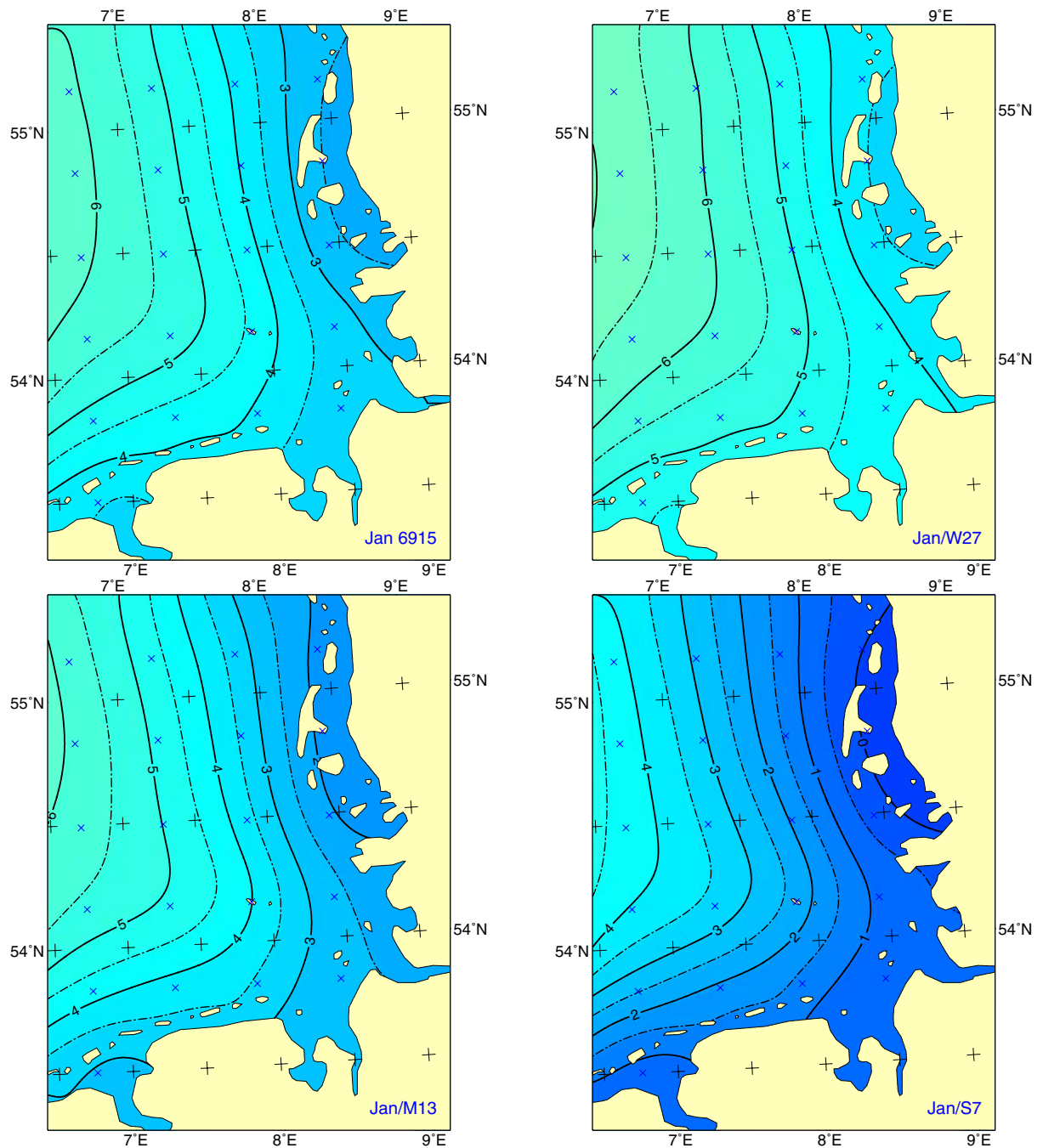


Abb. 68: Mittlere Temperaturverteilungen für alle Januare des Zeitraums 1969–2015 (o.l.) und solche, die mit schwachen (W27, o.r.), mäßigen (M13, u.l.) und starken (S7, u.r.) Eiswintern einhergehen; x (blau): Gitterpositionen des Datensatzes, Auflösung 20 sm.

Fig. 68: Mean temperature distributions for all Januaries within the period 1969–2015 (t.l.), and those going along with weak (W27, t.r.), moderate (M13, b.l.) and strong (S7, b.r.) ice winters; x (blue): grid points of observational data set, resolution 20 nm.

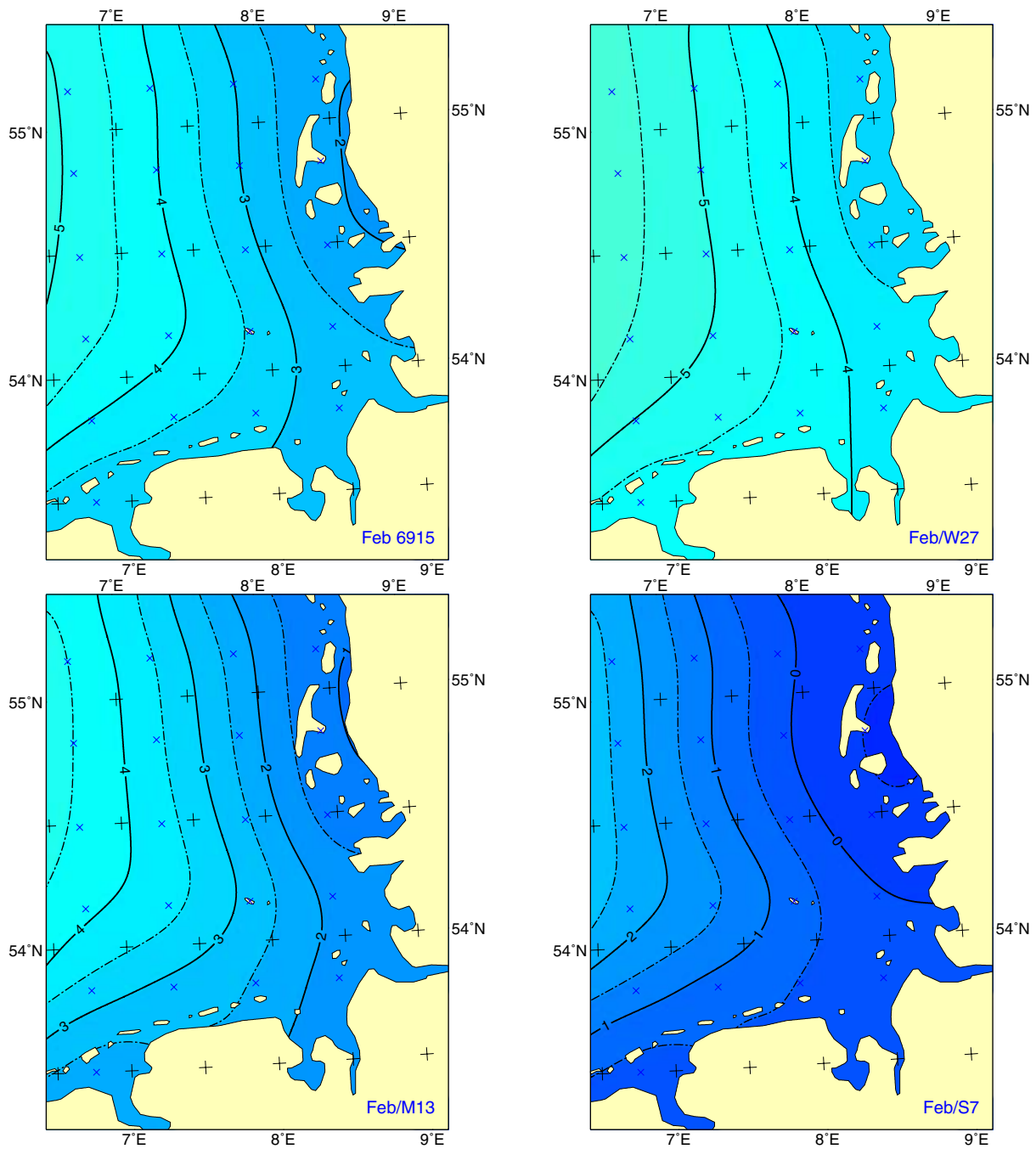


Abb. 69: Wie Abb. 68, jedoch für Februar.
Fig. 69: As Fig. 68, except for February.

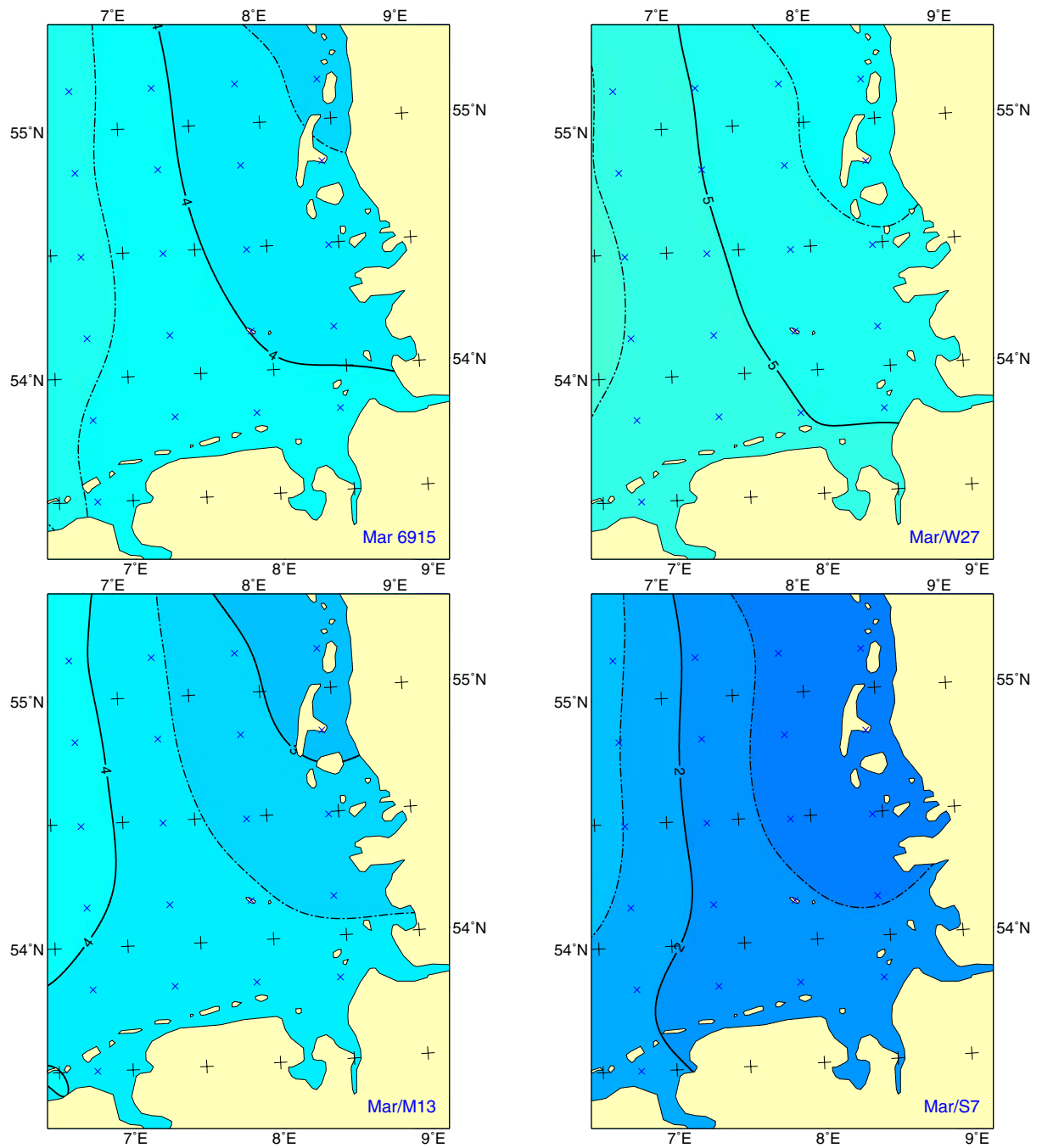


Abb. 70: Wie Abb. 68, jedoch für März.
Fig. 70: As Fig. 68, except for March.

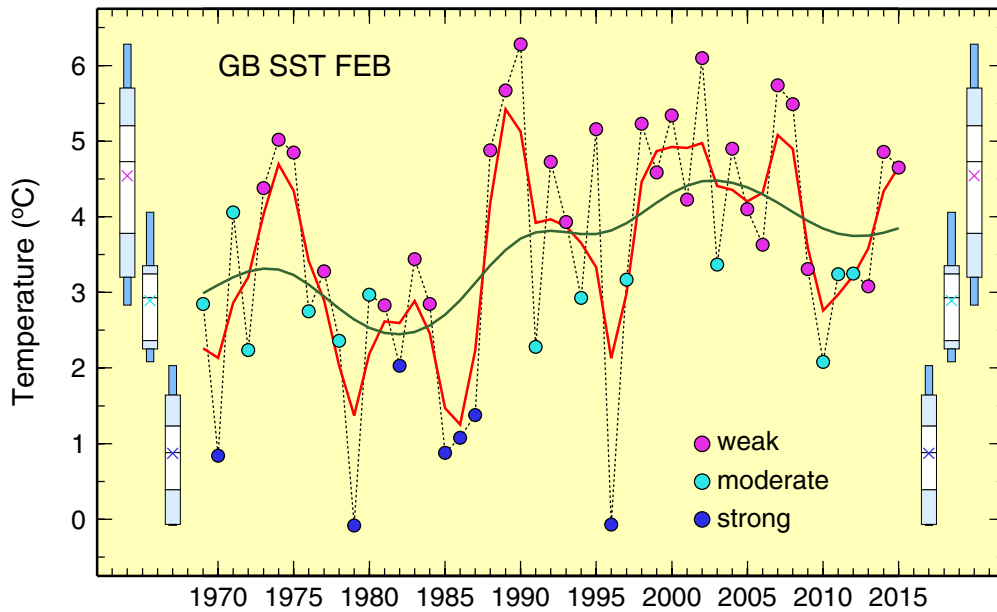


Abb. 71: Zeitserie der Temperatur im Februar in der Deutschen Bucht.

Gestrichelt: Rohzeitserie; rot und grün: Gaußsche Tiefpassfilter der Länge 5 und 21 Jahre; x (magenta, türkis, blau): Mittelwerte der empirischen Temperaturverteilungen für schwache, mäßige und starke Eiswinter im Zeitraum 1969–2015; Perzentilbereich (Stapelsäulen): Min. bis Max. (Spannweite) mit internen Intervallgrenzen bei 10, 25, 50, 75 und 90%.

Fig. 71: Time series of temperature in February for the German Bight.

Stippled: raw time series; red and green: low-pass filtered for filter lengths of 5 and 21 yrs; x (magenta, cyan, blue): means of empirical SST distribution associated with weak, moderate, and strong ice winters during 1969–2015; Percentile range (stacked columns): Min. to Max., internal interval limits at 10, 25, 50, 75, and 90%.

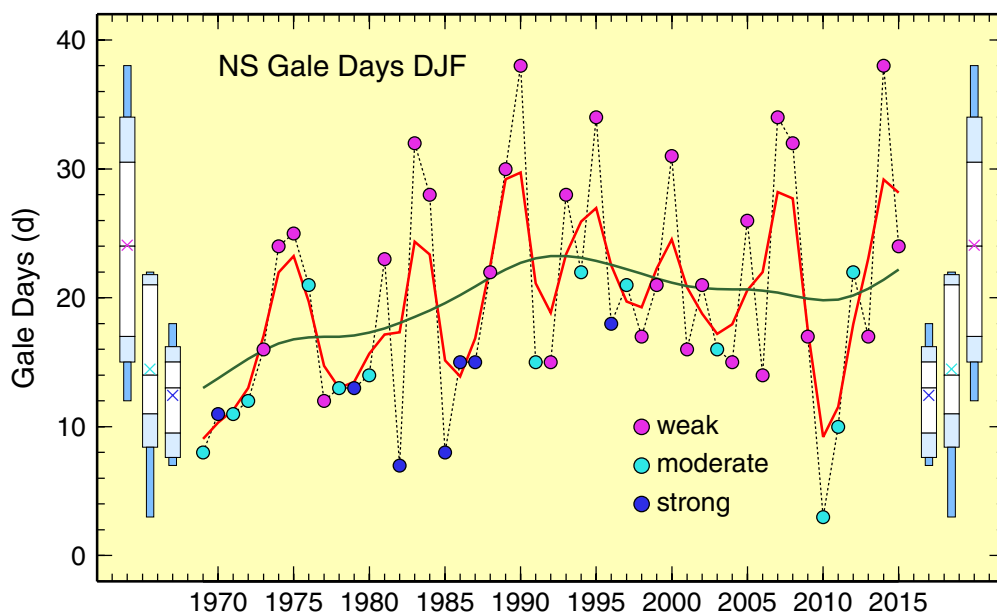


Abb. 72: Wie Abb. 71, jedoch für Anzahl Sturmtage im Nordseegebiet im Winter (DJF).

Fig. 72: As Fig. 71, except for North Sea gale-day frequency in winter (DJF).

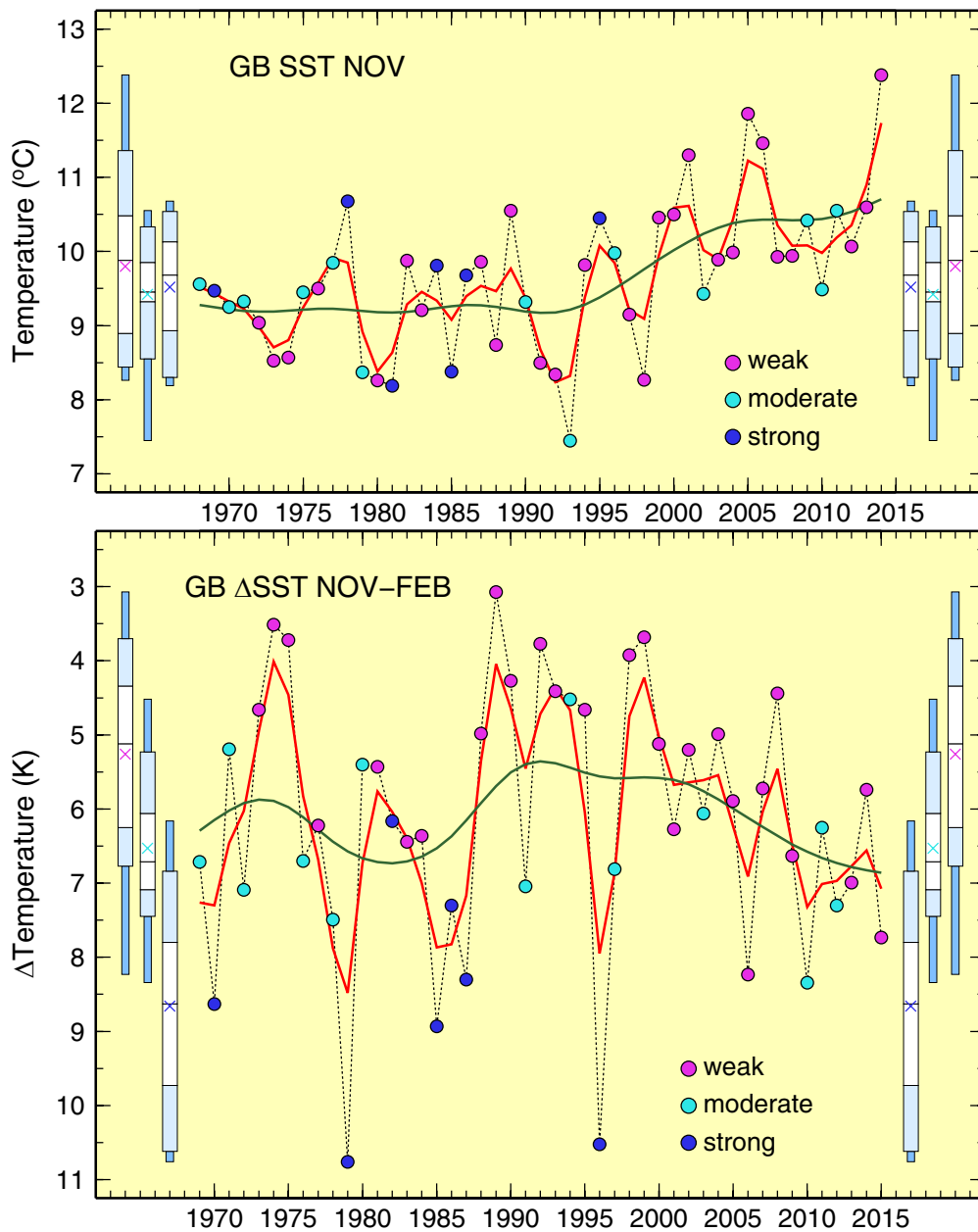


Abb. 73: Wie Abb. 71, jedoch für November 1968–2014 (oben) sowie winterliche Abkühlung (Nov. (yr-1) minus Feb. (yr), unten). ΔT ist dem zum Februar gehörigen Jahr zugeordnet, die Zeitachse um 1 Jahr links verschoben, sodass die Differenzen genau senkrecht unter den zugehörigen Minuenden der oberen Abbildung zu liegen kommen.

Fig. 73: As Fig. 71, except for November 1968–2014 (top) and wintry cooling (Nov. (yr-1) minus Feb. (yr), bottom). ΔT is plotted against the year associated with February, time axis shifted to the left by 1 year, such that ΔT appears straight below the minuend of the upper frame.

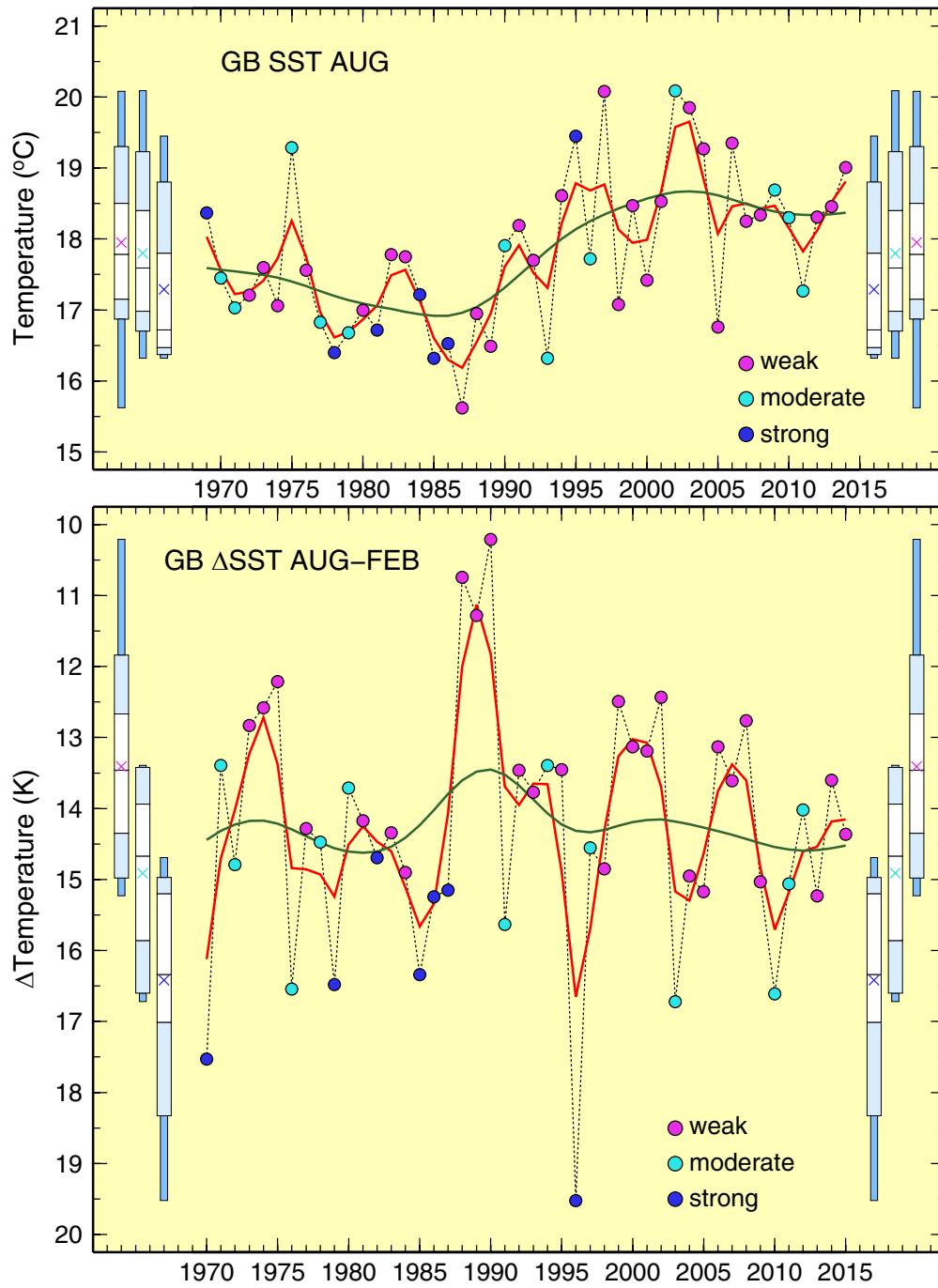


Abb. 74: Wie Abb. 73, jedoch für August 1969–2014 (oben) sowie saisonale Abkühlung (Aug. (yr-1) minus Feb. (yr), unten).

Fig. 74: As Fig. 73, except for August 1969–2014 (top) and seasonal cooling (Aug. (yr-1) minus Feb. (yr), bottom).

Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10

Die Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10 wurden hinsichtlich der Eisverhältnisse als extrem stark, stark und mäßig klassifiziert (vgl. S.177 ff.).

Ergänzend wird hier einerseits die Entwicklung der Meerestemperatur der Deutschen Bucht anhand geographischer Verteilungen für die Monate November bis Februar (Abbn. 76 und 77) sowie durch Zeitserien der regionalen Monatsmittel (Abb. 75) dokumentiert. (Diese Dokumentation beschränkt sich auf die Winter 1995/96 und 2009/10, da die operationellen Temperaturanalysen des BSH nur bis September 1968 zurückreichen.)

Andererseits werden für alle 3 Winter relevante Hintergrundinformationen zur atmosphärischen Zirkulation im Nordseeraum bereitgestellt. Diese beruhen auf Auswertungen täglicher Luftdruckfelder im mittleren Meeresniveau der NCEP/NCAR Reanalyse I (Kalnay et al., 1996), die zur Standarddiagnostik im Rahmen der Zustandsanalysen der Nordsee gehören (e.g. Loewe, 2013). Von zentraler Bedeutung hierbei ist ein Wetterlagenklassifizierungsverfahren (Jenkinson und Collinson, 1977; Jones et al., 2013; Loewe, 2013), das auf täglichen (Tab. 21), aber auch auf monatlichen und saisonalen Zeitskalen zur Charakterisierung von Witterungslagen eingesetzt wird (Abb. 78). In der vereinfachten Form des Verfahrens werden die Luftdruckfelder einem von 6 Zirkulationsmustern zugeordnet, nämlich einer von 4 Hauptanströmrichtungen (NE, SE, SW und NW) oder einer der komplementären Rotationsformen antizyklonal (A) und zyklonal (C). Über die Bestimmung repräsentativer Nordseewinde (Abb. 79) und die Identifizierung von Sturmereignissen (Tab. 21) wird darüber hinaus die Zirkulationsstärke quantifiziert.

Trotz abweichender Vorgeschichten lagen die Mitteltemperaturen der Deutschen Bucht im November der Jahre 1995 (10.5 °C) und 2009 (10.4 °C) praktisch gleichauf und gut 1 K über dem klimatologischen Mittel (9.3 °C) des Zeitraums 1971–2010 (Abb. 75). Die Deutsche Bucht kühlte sich bis Februar 1996 auf das bereits im Februar 1979 erreichte Rekordminimum von -0.1 °C ab (Abb. 71) und erlebte dabei den zweitstärksten Temperaturabfall nach 1978/79 (Abb. 73). Die saisonale Abkühlung im Winter 2009/10 verlief demgegenüber weniger steil und gleichzeitig unetlicher (Abb. 75). Der Temperaturrückgang von November bis Februar lag dabei mit 8.3 K im Interquartilbereich der für starke Eiswinter typischen Verteilung

Winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10

The ice winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10 have been classified as extremely strong, strong, and moderate, respectively (cf. p. 177 sqs.).

Here, complementary information is provided on the concurrent evolution from November through February of seawater temperatures in the German Bight in terms of geographical distributions (Figs. 76 and 77) and time series of regional monthly means (Fig. 75). (This documentation is limited to winters 1995/96 and 2009/10 as operational temperature analyses at BSH go back as far as September 1968, only.)

Nonetheless, all 3 winters are further illuminated against the background of the atmospheric circulation in the greater North Sea region. Findings produced in this context are based on evaluations of daily mean sea level pressure fields of the NCEP/NCAR Reanalysis I (Kalnay et al., 1996) that pertain to the standard diagnostic procedures in assessments of the state of North Sea (e.g. Loewe, 2013). Of key importance in this is a weather-typing scheme (Jenkinson and Collinson, 1977; Jones et al., 2013; Loewe, 2013), which has been employed not only on daily (Tab. 21), but also on monthly and seasonal time scales to characterize atmospheric flow (Fig. 78). In the simplified version used here pressure fields are classified according to 6 main circulation patterns, viz. 4 cardinal flow directions (NE, SE, SW, and NW) and 2 complementary rotational types, anticyclonic (A) and cyclonic (C). Via estimating geostrophic winds representative of the entire North Sea region (Fig. 79) and detecting gale events (Tab. 21) circulation strength is quantified as well.

In spite of deviant evolutionary pathways up to then, mean temperatures of the German Bight arrived at virtually identical levels in Novembers 1995 (10.5 °C) and 2009 (10.4 °C) exceeding the climatological mean (9.3 °C) of the reference period 1971–2000 by a good 1 K (Fig. 75). Until February 1996 the German Bight cooled down to the record low of -0.1 °C set in February 1979 (Fig. 71), hence experiencing the 2nd largest drop in temperature after 1978/79 (Fig. 73). In comparison, the seasonal cooling in the winter of 2009/10 was less steep and less steady at the same time (Fig. 75). At 8.3 K, the decline in temperature between November and February fell into the interquartile range of the distribution typical of strong

(Abb. 73), sodass das hohe Temperaturniveau im vorausgegangenen November das Ausbleiben eines derartigen Winters durchaus miterklärt. Hinzu kommt aber einerseits, dass die Deutsche Bucht bei durchschnittlichen Abkühlungsraten auch im Dezember anomal warm blieb, und andererseits, dass der immense Temperatursturz, der sich im Januar ereignete und zu einer starken Annäherung der Temperaturverteilung an die Verhältnisse im Januar 1996 führte (Abbn. 76 und 77), sich im Februar nicht fortsetzte, sondern in ein erheblich flacheres Gefälle übergang (Abb. 75).

Es ist weithin bekannt, dass der negative Mode der Nordatlantischen Oszillation mit überdurchschnittlich kalten Wintern in Westeuropa einhergeht (e.g. Loewe und Koslowski, 1998). Die auf einer Hauptkomponentenanalyse basierten NAO-Indizes für das DJF-Quartal der Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10 werden von Hurrell et al. (2013) mit -1.55 , -1.31 und -2.93 angegeben, wobei der letzte Wert das Rekordminimum im bis 1880 zurückreichenden Datensatz darstellt. Im Einklang damit steht die geringe Anzahl von Sturmtagen in der Nordseeregion, für die sich im gleichen Zeitraum 12, 18 und 3 ergibt (Tab. 21). Alle 3 Winter quartale, aber auch die meisten der zugehörigen Monate, zeichnen sich durch Luftdruckanomaliefelder mit starkem Nord-Süd-Gefälle aus (Abb. 78, farbig), die eine anomal östliche Komponente im geostrophischen Windfeld bedingen und deshalb als E-Muster klassifiziert wurden. Das dominante Charakteristikum der winterlichen Luftdruckverteilungen selbst ist ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Hochdruckgebiet mit Kern über Skandinavien, welches Kaltlufttransporte aus Osteuropa und über der Nordsee zumeist eine SE-Anströmung hervorrief.

Neben diesen Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten gibt es eine Reihe bemerkenswerter Unterschiede, die selbst bei oberflächlicher Betrachtung der für die 3 Winter quartale aufbereiteten Wetterlagenkalender ins Auge stechen (Tab. 21). So bestätigt ein Blick in Tab. 22 sofort den Eindruck, dass der Winter 1962/63 von Hochdrucklagen ($A=41$) dominiert war, während der Winter 1995/96 von SE-Lagen (38) beherrscht wurde. Auch im mäßigen Winter 2009/10 trat die SE-Lage am häufigsten auf (24), stand aber in scharfer Konkurrenz zur zyklonalen Wetterlage (C), die praktisch ebenso häufig vorkam (23). Das bereits angesprochene gewöhnliche Temperaturgefälle im Dezember und Februar (Abb. 75) resultierte fraglos aus der Häufung von C- und SW-Lagen in

ice winters (Fig. 73). That such winter failed to occur is due, in part, to the high temperature level in the preceding November. Together with this it has to be acknowledged that the German Bight remained anomalously warm through December on account of regular cooling rates. Finally, the enormous temperature drop of January, which pushed temperatures towards the distribution of January 1996 (Figs. 76 and 77), discontinued and gave way to a much flatter decline in February. (Fig. 75).

It is commonly known that winters in Western Europe when coming along with the negative mode of the North Atlantic Oscillation tend to be colder than normal (e.g. Loewe and Koslowski, 1998). PC-based NAO indices for the DJF quarter of winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10 as determined by Hurrell et al. (2013) are -1.55 , -1.31 , and -2.93 , respectively, with the last value marking the record low of the data set reaching back to 1880. In line with this, gale days over the North Sea amounted to 12, 18, and 3, only (Tab. 21). In each of the 3 winter seasons, and most of the appendant months, anomalies of the sea level pressure field (SLPA) feature a strong north-south down-grade (Fig. 78, colored). This gradient causes an anomalous easterly component in the geostrophic wind field, which is why these SLPA patterns are classified E. The dominant characteristic of the very sea level pressure fields (SLP) consists in a more or a less pronounced high pressure area centered over Scandinavia. This setup generally brought about cold air transports from Eastern Europe together with SE-ly flow patterns over the North Sea.

Apart from these commonalities and similarities there are some remarkable disparities, which reveal themselves even from perfunctory observation of the weather-type calendars presented for the 3 seasons in Tab. 21. Another glance at Tab. 22 immediately confirms the impression that the winter 1962/63 was dominated by high-pressure weather ($A=41$), while southeasterly circulation types ($SE=38$) governed the winter 1995/96. The SE pattern (24) indeed turned out the most frequent weather type in the moderate winter 2009/10 as well, but was in stiff competition with the almost as common low-pressure type ($C=23$). There is no doubt that ordinary cooling rates in December and February (v.s.) were brought about by the large number of C and SW weather types,

diesen Monaten (zusammen 17 resp. 14), die sich auch in den zugehörigen Luftdruckverteilungen ausprägte (Abb. 78).

Es bedarf keiner weitschweifigen Erklärung, dass antizyklonale Wetterlagen (A) und östliche Anströmbedingungen E (=NE+SE) kalte Winter begünstigen, während die komplementären Wetterlagen C und W (=NW+SW) solchen entgegenwirken. Anhand von Tab. 22 ist leicht nachvollziehbar, dass im starken Eiswinter 1995/96 A- (29) und E-Lagen (44) jeweils und zusammengekommen 4-mal so häufig auftraten wie ihre Komplemente C (7) und W (11). Demgegenüber herrschten im mäßigen Eiswinter 2009/10 weit ungünstigere (A:C \approx 4/7, E:W \approx 7/4), nämlich insgesamt ausgewogene Verhältnisse (47:43 \approx 1).

Im Winter 1962/63 standen kältегünstige Wetterlagen zu den übrigen im Verhältnis 65:25=2.6. Die in Relation zum starken Eiswinter 1995/96 geringe Quote ist dem schwachen Winterbeginn im Dezember 1962 (14:17=0.8) geschuldet, als eine – wenn auch abgeschwächte – W-Zirkulation vorherrschte (Abbn. 78 und 79). Das im Kernwinter (Januar + Februar) überlegene Verhältnis von 51:8 (1963) gegenüber 44:16 (1996) steht in besserer Übereinstimmung mit der Einstufung des Eiswinters 1962/63 als extrem stark. Darüber hinaus deuten die in Tab. 15 und 16 angegebenen küstennahen Lufttemperaturen darauf hin, dass die im Winter 1962/63 dominanten antizyklonalen Wetterlagen eine effektivere Auskühlung bewirkten als die im Winter 1995/96 vorherrschenden advektiven SE-Lagen.

Letztere waren im Januar 1996 nicht nur extrem häufig (19), sondern erreichten an 6 Tagen sogar Sturmstärke (Tab. 21). Der südöstliche Nordseewind erzielte bei hoher Richtungsstabilität (87 %) die beachtliche Stärke von 11.6 m/s (Abb. 79). In dieser Phase dürften beträchtliche Mengen an Meereis in die offene See zerstreut und durch intensive Neueisbildung im Küstenbereich ersetzt worden sein. Die Eisproduktion im Januar 1996 könnte höher ausgefallen sein als unter den vergleichsweise statischen, aber kälteren Bedingungen im Januar 1963, denn das Eiswachstum verlangsamt sich, wenn Dicke und Bedeckungsgrad zunehmen. An der Klassifizierung beider Winter würde dies nichts ändern, denn diese basiert allein auf dem Zustand des Eises, der durch Eisdicke und Bedeckungsgrad an ortsfesten Klimastationen definiert ist (vgl. S. 20 ff.).

which taken together amounted to 17 and 14, respectively, in these months. Unsurprisingly, these types show through in the associated monthly SLP fields (Fig. 78).

There is no need for an elaborate explanation that anticyclonic weather types (A) and easterly flow conditions E (=NE+SE) foster cold winters, while the converse types C and W (=NW+SW) do quite the opposite. As is easily comprehensible from Tab. 22, A (29) and E types (44), each and together, were 4 times more frequent than their complements C (7) and W (11) in the strong ice winter of 1995/96. By contrast, far less favorable (A:C \approx 4/7, E:W \approx 7/4), all in all balanced ratios (47:43 \approx 1) existed in the 2009/10 ice winter of moderate strength.

In winter 1962/63, the ratio of weather types associated with cold conditions to others was at 65:25=2.6, which is quite low a value in comparison to the quota obtained for the strong ice winter 1995/96. This is attributable to the winter's slow start in December 1962 (14:17=0.8), when a westerly, however attenuated, circulation was prevalent (Figs. 78 and 79). The superior ratio of 51:8 (1963) versus 44:16 (1996) found for the core winter season (January + February) is in much better accord with the "extremely strong" rating of the ice winter 1962/63. Beyond that, as would imply air temperatures at coastal stations (Tabs. 15 and 16), cooling appears to be brought about more efficiently in anticyclonic conditions (1962/63) than due to advection by SE-ly flow (1995/96).

Not only was the SE pattern extremely frequent in January 1996 (19), it was also very intense exceeding gale strength on 6 days (Tab. 21). At a directional stability as high as 87%, the SE-ly North Sea wind assumed the considerable strength of 11.6 m/s (Fig. 79). During this phase, significant quantities of sea ice would appear to have been dispersed into the open sea with intense new ice formation in coastal waters replacing the loss. Consequently, as ice accretion slows with increasing thickness and compactness, total ice production in January 1996 could have been higher than in the more static even though colder conditions of January 1963. This would not affect the rating of these winters, however, since this is based on the state of ice in terms of thickness and compactness at fixed climatological stations (cf. p. 20 sqs.).

Im Rahmen einer Analyse täglicher atmosphärischer Anströmungsfelder, die denen im Winter 2009/10 ähnlich sind, aber aus früheren Wintern stammen, gelangen Cattiaux et al. (2010) zu dem Ergebnis, dass die zu diesen „flow-analoques“ gehörigen Lufttemperaturen im Europa nördlich der Alpen kälter waren als im Winter 2009/10. Dies erscheint vernünftig, insofern als hohe Wintertemperaturen seit den 1990er Jahren bei weitem nicht nur in der Deutschen Bucht beobachtet wurden (vgl. Abb. 71). Ihre Behauptung, dass die Winterzirkulation von 2009/10 (ohne Klimaerwärmung) ebenso starke Temperaturanomalien produziert hätte wie die Zirkulation im Winter 1962/63, erscheint jedoch vor dem Hintergrund der hier vorgelegten Ergebnisse äußerst fragwürdig.

According to Chattiaux et al. (2010), daily flow-analoques of the winter circulation of 2009/10 were associated with colder air temperatures in all of Europe north of the Alps. This would appear sensible, since elevated winter temperatures since the 1990s are by far not limited to the German Bight (cf. Fig. 71). That the wintry atmospheric circulation of 2009/10 (if temperatures had not risen) could have brought about temperature anomalies as strong as those of 1962/63, however, is regarded a claim as bold as contestable in light of the results presented here.

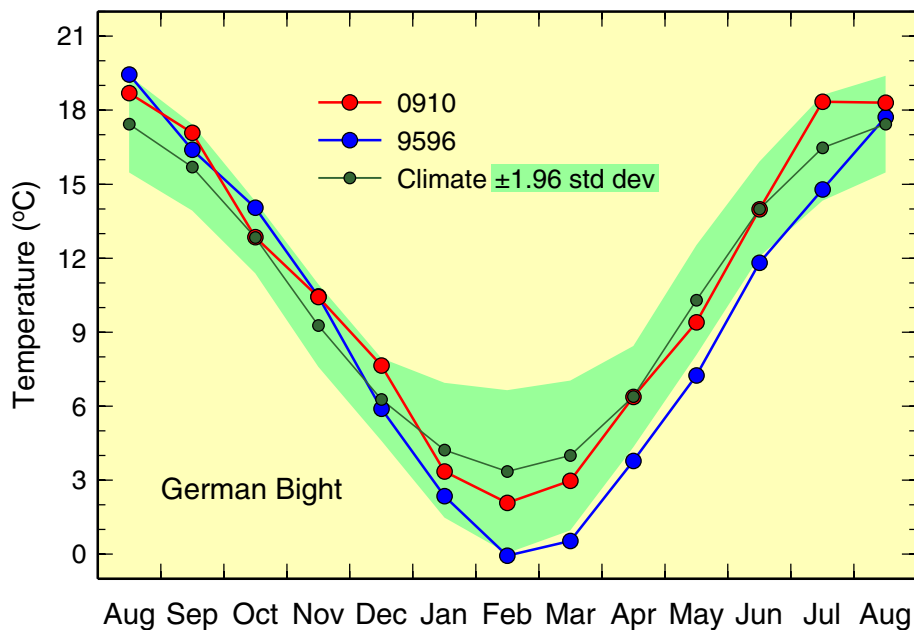


Abb. 75: Saisonale Entwicklung der Oberflächentemperatur der Deutschen Bucht in den Jahren 1995/96 und 2009/10 mit Klimatologie (1971–2000) und 95%-Band (Klima ± 1.96 Standardabweichungen).
 Fig. 75: Seasonal cycle of German Bight SST in 1995/96 and 2009/10 together with 1971–2000 base period monthly means and 95%-band (climatology ± 1.96 standard deviations).

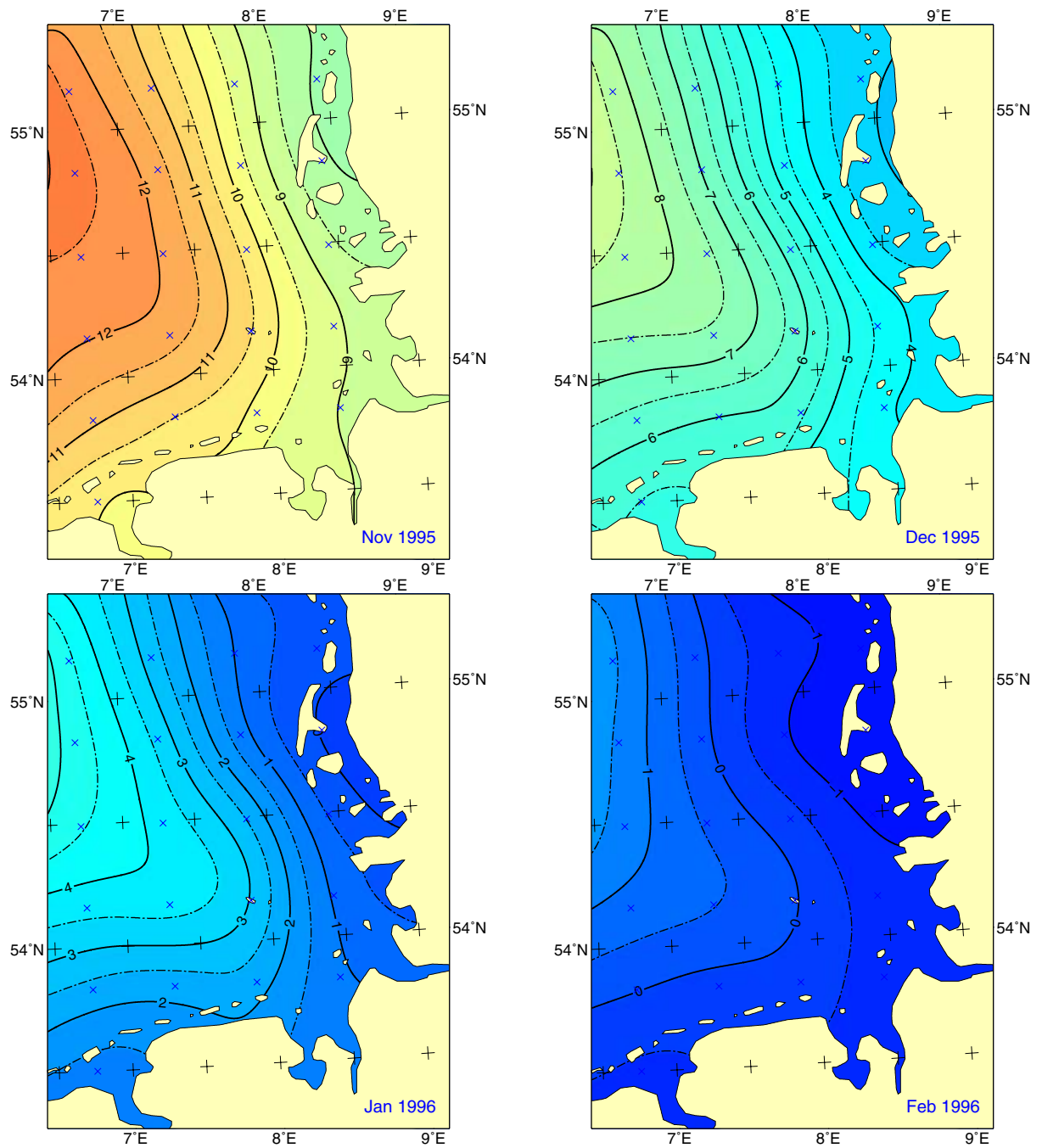


Abb. 76: Temperaturentwicklung in der Deutschen Bucht im Winter 1995/96.
Fig. 76: Temperature evolution in the winter 1995/96 in the German Bight.

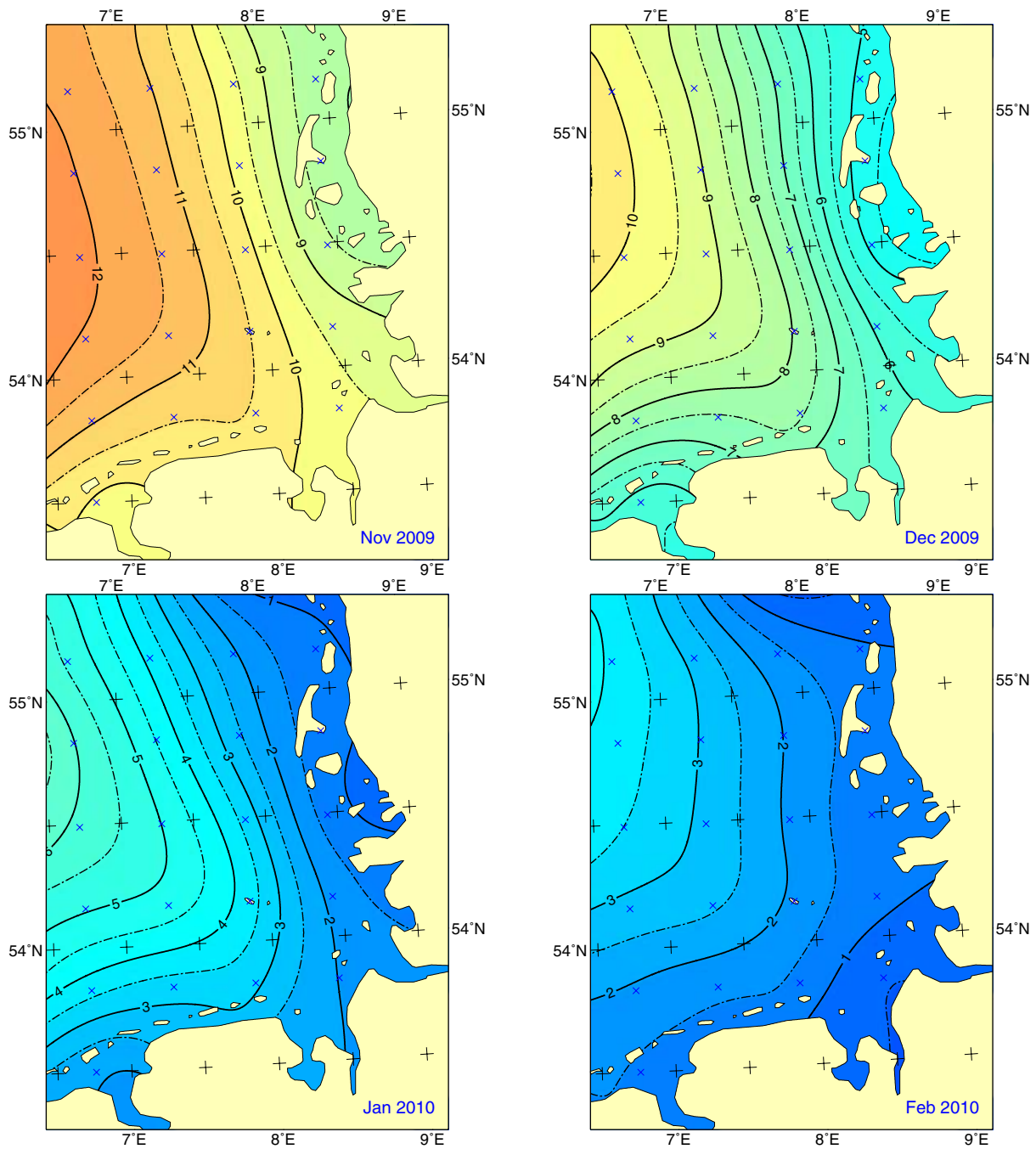


Abb. 77: Temperaturentwicklung in der Deutschen Bucht im Winter 2009/10.
Fig. 77: Temperature evolution in the winter 2009/10 in the German Bight.

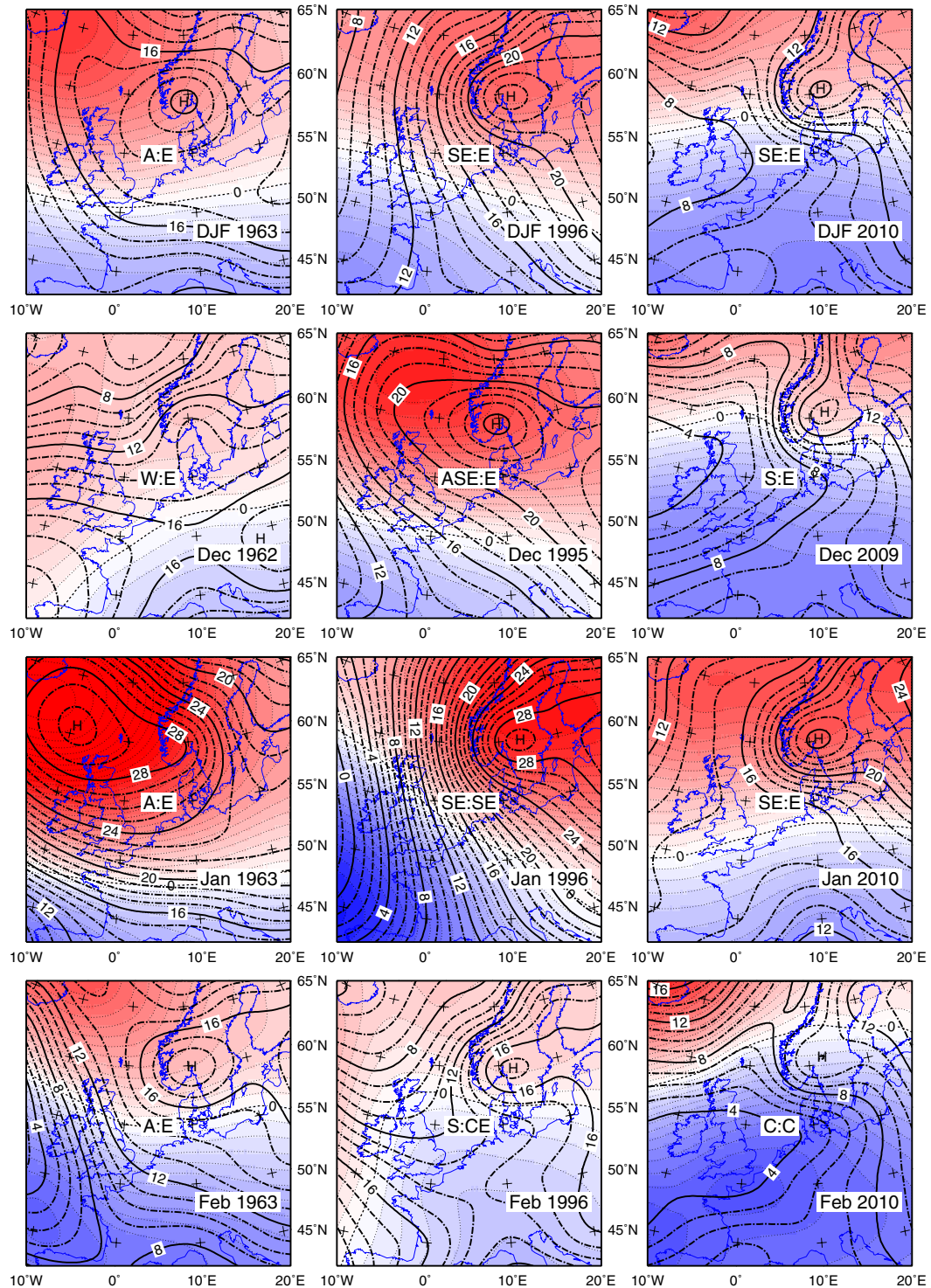


Abb. 78: Luftdruckverteilungen im Meeresniveau (SLP, hPa – 1000) in den Wintern 1962/63 (links), 1995/96 (Mitte) und 2009/10 (rechts) mit Abweichungen von der NCEP/ NCAR Klimatologie des Zeitraums 1971–2000 (SLPA, farbig, Konturabstand 1 hPa). Die jeweiligen Witterungstypen sind in der Kartenmitte in der Form SLP:SLPA angegeben und gelten für den Nordseeraum.

Fig. 78: Sea level pressure distributions (SLP, hPa – 1000) in the winters 1962/63 (left), 1995/96 (middle), and 2009/10 (right) together with departures from the NCEP/ NCAR climatology for 1971–2000 (SLPA, coloured, contour spacing 1 hPa). Weather types denoted as SLP:SLPA in the centre of each map are valid for the North Sea region.

6263	DEC	JAN	FEB	9596	DEC	JAN	FEB	0910	DEC	JAN	FEB
1	A	SE	NE	1	SE	SE	SE	1	A	NE	C
2	A	SE	NE	2	SE	A	C	2	SE	SE	C
3	A	SE	C	3	SE	A	NE	3	C	A	C
4	A	C	NW	4	SE	A	A	4	SW	NW	SW
5	A	C	A	5	SE	SE	A	5	SW	C	SE
6	A	NE	A	6	SE	SE	SE	6	SW	C	SE
7	A	A	SE	7	SE	SE	SE	7	SW	SE	A
8	SW	A	SE	8	SE	SW	SE	8	SW	A	A
9	SW	A	SE	9	A	SW	SE	9	SW	NE	NE
10	NW	A	SE	10	A	SW	SE	10	NW	NE	NE
11	SW	A	SE	11	A	SE	C	11	A	NE	A
12	C	A	NE	12	A	SE	C	12	A	SE	NE
13	C	NW	A	13	NE	SW	NE	13	A	SE	NE
14	SW	NW	A	14	A	SE	A	14	SE	SE	A
15	C	A	SE	15	A	SE	NW	15	C	A	SW
16	C	SE	SE	16	A	A	NW	16	C	SE	SE
17	NW	A	NE	17	SE	A	NW	17	SE	C	SE
18	C	A	A	18	NE	A	C	18	NE	SW	C
19	C	SE	SE	19	A	SE	C	19	SW	A	C
20	SW	SE	NE	20	A	SE	NE	20	C	SE	C
21	C	A	A	21	A	SE	A	21	SW	SE	SW
22	A	A	A	22	SE	SE	A	22	C	SE	C
23	A	A	A	23	C	SE	A	23	SW	SE	SE
24	A	A	A	24	SE	SE	SW	24	SE	SE	SE
25	A	A	A	25	C	SE	SW	25	C	SE	C
26	C	NW	A	26	NE	SE	SW	26	SW	A	C
27	C	A	A	27	A	SE	A	27	C	NW	C
28	C	A	A	28	A	A	A	28	NW	NW	C
29	SE	A	./.	29	A	SE	NW	29	SE	C	./.
30	SE	C	./.	30	SE	SE	./.	30	SE	NW	./.
31	SE	NE	./.	31	SE	A	./.	31	NE	C	./.

Tabelle 21: Wetterlagenkalender für die Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10; Sturmtage sind in Fettdruck
 Table 21: Calendar of weather types for winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10; gale days printed bold

6263	DEC	JAN	FEB	DJF	9596	DEC	JAN	FEB	DJF	0910	DEC	JAN	FEB	DJF
A	11	17	13	41	A	13	8	8	29	A	4	5	4	13
C	10	3	1	14	C	2	./.	5	7	C	7	5	11	23
NE	./.	2	5	7	NE	3	./.	3	6	NE	2	4	4	10
SE	3	6	8	17	SE	13	19	6	38	SE	6	12	6	24
SW	5	./.	./.	5	SW	./.	4	3	7	SW	10	1	3	14
NW	2	3	1	6	NW	./.	./.	4	4	NW	2	4	./.	6

Tabelle 22: Häufigkeiten der Wetterlagen in den Wintern 1962/63, 1995/96 und 2009/10
 Table 22: Frequency of weather types in winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10

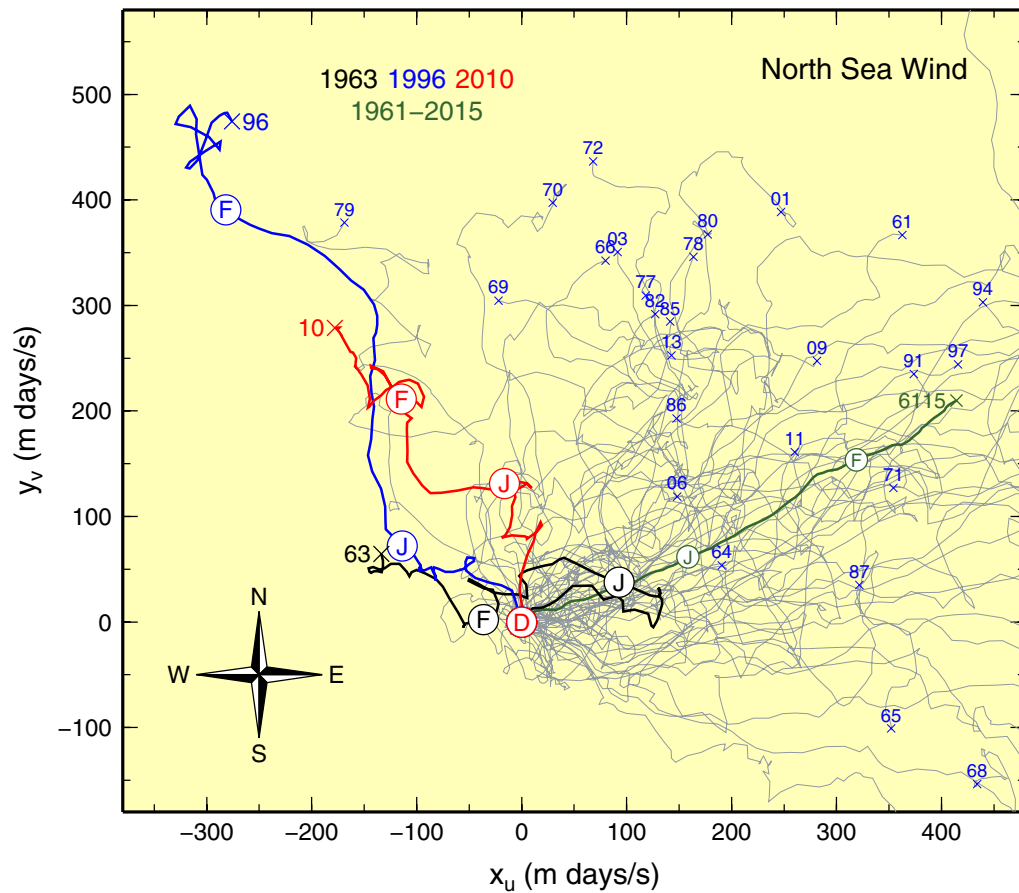


Abb. 79: Virtuelle Trajektorien des Nordseewindes im Winter mit Ensemble und Klimatologie. Zeitmarken kennzeichnen Monatsanfänge (Dez., Jan., Feb.), Jahreszahlen die Endpunkte der Ensemblemitglieder. Alle Trajektorien starten bei $D=(0,0)$, ihr Verlauf ergibt sich durch Addition täglicher Windvektoren. Division der Trajektorienlänge und der geradlinigen Distanz zwischen Start- und Endpunkt durch die Anzahl der Wintertage (90) liefert die mittlere skalare bzw. vektorielle Windgeschwindigkeit für den jeweiligen Winter (DJF).

Fig. 79: Progressive daily vectors of the North Sea Wind in winter with ensemble and climatology. Markers indicate the first day in a month (Dec., Jan., Feb.), years final points of ensemble members. All trajectories start at $D=(0,0)$, and proceed by adding consecutive, daily wind vectors. Dividing the along-path length of a trajectory and the linear distance between start- and endpoint through the number of winter days (90) yields the scalar wind velocity and the vectorial wind speed, respectively, for the DJF-quarter.

Klimatologien: 1971–2000 und 1981–2010

Zur Abrundung der vergleichenden Betrachtungen zu den Lufttemperatur- und Eisverhältnissen in entsprechenden 30-jährigen Zeiträumen (s. S. 193 ff.) dokumentiert dieser Abschnitt die geographischen Temperaturverteilungen in der Deutschen Bucht für die Monate Oktober bis März (Abb. 80 bis 85). Diese Darstellungen zeigen neben den beiden klimatologischen Temperaturverteilungen die zugehörigen zwischenjährlichen Standardabweichungen für den jeweiligen Monat. Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich in der Konkretisierung auf die Klimatologie 1971–2000, gelten aber sinngemäß gleichermaßen für diejenige des Zeitraums 1981–2010.

Ihren jahreszeitlichen Höchst- und Tiefststand erreichen die Meerestemperaturen im August und Februar (Abb. 75). Der gewöhnlich von Mitte August bis Ende Februar andauernde Abkühlungsprozess ist an eine negative Energiebilanz gekoppelt, die sich einerseits aus dem defizitären Strahlungsbudget und andererseits aus dem Verlust sensibler und latenter Wärme an die aufliegende Luft ergibt, die in dieser Zeit kälter ist als ihre Unterlage. Aufgrund der geringen Wärmekapazität der Landflächen kühlen diese im Unterschied zum Meerwasser sehr viel schneller aus, sodass kontinental temperierte Luftmassen, die über die Deutsche Bucht geführt werden, zwischen November und Januar im Monatsmittel um bis zu 5 K kälter sein können als das Meer. Was für das Land gilt, trifft gleichermaßen für die 2-mal täglich trockenfallenden und überfluteten Wattengebiete zu. Sehr starke Gezeitenströme tragen durch seewärtige Ausbreitung und Vermischung des kalten Küstenwassers zur Abkühlung der offenen See bei.

Die von Oktober (Abb. 80) bis Februar (Abb. 84) selbstähnlichen Temperaturverteilungsmuster sind Ergebnis der geschilderten Prozesse. Wesentliche Merkmale sind parallel zur generalisierten Küstenlinie und den Isobathen verlaufende Isothermen und – senkrecht dazu – seewärts gerichtete Temperaturgradienten. Die Temperaturen sind außerhalb der nordfriesischen Küste grundsätzlich um etwa 1 K kälter als diejenigen seewärts von Ostfriesland. Wesentliche Ursachen hierfür sind einerseits der erheblich flachere Abfall der Wassertiefen vor den nordfriesischen Inseln – die 20 m Isobathe verläuft hier 15–20 sm außerhalb, während das Bodenrelief außerhalb der ostfriesischen Inseln diese Tiefenlinie bereits nach 5 sm überschreitet. Andererseits breitet sich das kalte

Climatologies: 1971–2000 and 1981–2010

To round out the comparative analysis on air temperature and ice conditions of corresponding time slices (cf. p. 193 sqs.), geographical distributions of monthly seawater temperatures in the German Bight are presented here for the period October through March (Figs. 80 to 85). Each of these illustrations affords a visual comparison of the climatological temperature fields and associated fields of interannual standard deviations. If going beyond fundamental considerations, the following discussion relates to the climatology 1971–2000, but applies mutatis mutandis to the later period as well.

Seawater temperatures attain their seasonal extremes in August and February (cf. Fig. 75). The process of cooling along the downward branch of the seasonal cycle is coupled to a negative energy budget arising from a deficient radiation budget and the loss of sensible and latent heat to the overlying air, which during this period is colder than the sea. On account of the low heat capacity of soils as compared to water, land areas cool down much more rapidly, such that continentally tempered air masses that move across the German Bight can be up to 5 K colder than the sea – on monthly average – between November and January. What applies to the land areas also holds for tide lands that fall dry and get flooded twice daily. Very strong tidal currents contribute to the cooling of the open sea through spreading and mixing in of colder coastal waters.

As a result, selfsimilar temperature distributions are observed from October (Fig. 80) through February (Fig. 84). Essential features of these are isothermals running parallel to a generalized coast line, and, farther out, along isobaths, and perpendicular temperature gradients pointing seawards. Temperatures off the Northfrisian coast are constantly colder by about 1 K than those off East Frisia. The reasons for this include a much slower increase of water depths off the Northfrisian Islands – the 20 m isobath runs as far out as 15–20 nm here, while the strip of such shallow water extends seawards but about 5 nm off the islands along the southern coast. In addition, massive amounts of colder fresh water discharged by the river Elbe expand northwards in a current field

Wasser der Elbe, dem wichtigstem Zustrom der Deutschen Bucht, mit der im Langzeitmittel stets zyklonalen Restströmung nordwärts aus. Im südlichen Ast des zyklonalen Strömungsfeldes wird hingegen wärmeres Wasser vom Kanal über ihren westlichen Rand in die Deutsche Bucht verbracht. Die bedeutendsten Änderungen von Monat zu Monat bestehen in einem sich stetig verlangsamenden Temperaturrückgang, wobei sich der Temperaturgradient bereits im November deutlich verschärft, bis in den Januar hinein stagniert und schließlich im Februar auf das Oktoberniveau verflacht.

Für die klimatologische Abkühlung der räumlichen Mitteltemperatur der DB gegenüber dem Vormonat ($m-1$) besteht von November bis Februar ein perfekter linearer Zusammenhang zur Differenz zwischen der DB-Temperatur und der Lufttemperatur von Norderney im Istmonat (m):

$$\delta_{m,m-1}T_{DB} = -1.43 \delta_m T_{DB-N} + 0.68$$

Die monatliche Abkühlung des Meerwassers ($\delta_{m,m-1}T_{DB}$) reduziert sich von -3.6 K im November auf -0.9 K im Februar mit dem vom 2.9 K auf 1.1 K schrumpfenden Temperaturkontrast zwischen Meerwasser und Luft ($\delta_m T_{DB-N}$), vgl. Abb. 86. Diese Abschätzungen erweisen sich auch in der Fläche als brauchbar, wie sich anhand der Abbn. 80 bis 84 leicht überprüfen lässt.

In der o.a. Beziehung stellt die l.S. schlicht die Abnahme der Volumentemperatur bzw. des Wärmehalts dar. Der 1. Term der r.S. entspricht formal einem effektiven sensiblen Wärmefluss, der in dieser verblüffend einfachen Weise die Oberflächenenergiebilanz insgesamt repräsentiert. Der eigentliche sensible Wärmefluss (als Bilanzkomponente) dürfte realistischerweise höchstens -1 K/Monat zur Abkühlungsrate einer Wassersäule von 25 m³ beitragen, was einer Energieflussdichte von -40 Wm⁻² entspricht. Der Gesamtwärmeverlust durch den Effektivfluss liegt demgegenüber zwischen -170 Wm⁻² im November und -60 Wm⁻² im Februar. Für das an den Westrand der DB angrenzende Seegebiet, das sich von hier 100 nm nach Westen und ebenso weit von der Küste nach N erstreckt, liegen die räumlich gemittelten Monatstemperaturen von November bis Februar unveränderlich um 1.5 ± 0.1 K über denen der DB. Die positive Konstante in der obigen Gleichung wird als advektiver Nettotransport von Wärme über die Grenzen der DB interpretiert und beläuft sich mit knapp der Hälfte dieses Betrags (0.7 K) auf einen Nettogewinn von 28 Wm⁻². Die Wärmefluss-

that is unfailingly cyclonic in the long-term mean, hence transporting warmer water from the Channel through the western boundary of the German Bight in its southern branch. Eminent changes from month to month consist in a steadily decelerating decrease of temperatures, accompanied by a rapid steepening of temperature gradients to a degree maintained from November through January, and a subsequent flattening in February to similarly moderate levels as of October.

From November to February, a perfect, linear relationship exists between climatological monthly cooling against the previous month ($m-1$) of the spatial mean seawater temperature of the German Bight (GB) and the difference between GB temperature and air temperature at Norderney (N) in the current month (m):

$$\delta_{m,m-1}T_{GB} = -1.43 \delta_m T_{GB-N} + 0.68$$

The monthly cooling of seawater ($\delta_{m,m-1}T_{GB}$) declines from -3.6 K in November to -0.9 K in February with the temperature contrast between seawater and air ($\delta_m T_{GB-N}$) dwindling from 2.9 K to 1.1 K (cf. Fig. 86). These estimates also prove useful when analyzing monthly changes in the region, as may easily be verified from Figs. 80 to 84.

The l.h.s. of the linear equation plainly stands for reductions in volume temperature or, amounting to the same thing, heat content. The first term on the r.h.s. formally corresponds to an effective sensible heat flux, which in this intriguingly simple fashion represents the entire surface energy budget. The proper flux of sensible heat (as a component of this budget) should not realistically contribute to the cooling rate of a water column of 25 m³ more than -1 K/month, or, equivalently, -40 Wm⁻². In comparison, the total heat loss due the effective heat flux decreases from -170 Wm⁻² in November to -60 Wm⁻² in February. For the sea area adjacent to the GB in the west, extending 100 nm farther west and equally far from the coast to the north, spatio-temporal temperatures invariably exceed those of the GB by 1.5 ± 0.1 K from November through February. The constant part of the linear equation is interpreted as a net advective transport of heat through the boundaries of the GB. At half this value (0.7 K), the net heat gain amounts to 28 Wm⁻². The heat flux equivalents of the constituent parts of the linear equation are in reasonable accord with estimates derived by Moll

äquivalente der Gleichungskomponenten befinden sich in ordentlicher Übereinstimmung mit Abschätzungen von Moll und Radach (1998), die aus Messungen am Feuerschiff Elbe 1 (damals bei Helgoland) zwischen 1962 und 1986 abgeleitet wurden.

Im März verdoppelt sich die Globalstrahlung auf Norderney auf 100 Wm^{-2} gegenüber dem Vormonat (Loewe, 2013). Gleichzeitig klettert die Lufttemperatur hier aus der Talsohle von $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ im Januar und Februar auf $4.6 \text{ }^\circ\text{C}$ und ist damit 0.6 K wärmer als die mittlere Wassertemperatur der DB. Die im Februar kälteren Seegebiete südlich und östlich der $4 \text{ }^\circ\text{C}$ Isotherme (Abb. 84) nähern sich im Verlauf des März den gestiegenen Lufttemperaturen so stark an, dass sich in der gesamten Deutschen Bucht eine nahezu homotherme Temperaturverteilung einstellt (Abb. 85).

Auch in den Standardabweichungen spiegelt sich die Bathymetrie (z. B. Abb. 83). Aufgrund der vollständigen vertikalen Durchmischung durch Wind, Seegang und Gezeitenstromturbulenz müssen Entzug wie Zufuhr gleicher Mengen thermischer Energie in tieferen Seegebieten zu geringeren Temperaturänderungen und trägeren Schwankungen führen als in flachen. Die Spannweite der Standardabweichungen (Max. minus Min.) ist im Oktober und März mit 0.3 K am geringsten, im Januar am höchsten (0.7 K). Die stärkste Variabilität ergibt sich für die Küstengewässer und liegt hier von Oktober bis Dezember knapp über $\pm 1 \text{ K}$, anschließend wenig unter $\pm 2 \text{ K}$. Der Anstieg im Hochwinter ist Folge der in diesen Monaten extremen zwischenjährlichen Variabilität der großskaligen atmosphärischen Zirkulation, die sich u. a. auch in einer entsprechenden Schwankungsbreite der Nordseesturmverteilung abbildet (Loewe, 2013).

Die mittlere Meerestemperatur der Deutschen Bucht liegt in den Monaten Oktober bis März für die Periode 1981–2010 um $0.4 \pm 0.1 \text{ K}$ über derjenigen des Zeitraums 1971–2000. Da sich die geographischen Verteilungsmuster in beiden Perioden nur unwesentlich unterscheiden, zeigt sich der Temperaturanstieg in einer ostwärtigen Verschiebung der Isothermen um 10 bis 20 sm dergestalt, dass sich die ganzzahligen Konturen der späteren Periode im Verlauf weitgehend mit den tieferen Halbgradkonturen der früheren decken und umgekehrt. Da sich beide Zeiträume um 20 Jahre überschneiden, resultiert die o. a. Differenz aus Unterschieden zwischen den Randdekaden. Es ist leicht einzusehen, dass der mittlere Temperaturanstieg im direkten Vergleich dieser beiden Dekaden um den Faktor 3 größer ausfallen muss als für die Klimatologien.

and Radach (1998) from measurements taken at *Light Vessel Elbe 1* (located near Helgoland back then) from 1962 through 1986.

In March, global radiation at Norderney doubles to 100 Wm^{-2} relative to the month before (Loewe, 2013). At the same time, air temperature, here, climbs from a bottom at $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ during January and February to $4.6 \text{ }^\circ\text{C}$, thus exceeding the mean seawater temperature of the German Bight by 0.6 K . Cold sea areas to the south and east of the $4 \text{ }^\circ\text{C}$ isotherm of the temperature distribution in February (Fig. 84) level up progressively in March to increased air temperatures to an extent ensuing nearly homothermal conditions in the entire German Bight (Fig. 85).

Bathymetry also reflects itself in standard deviations (e.g. Fig. 83). As the water is thoroughly mixed due to winds, waves, and tidal friction, gaining or losing identical amounts of thermal energy has to yield lesser changes in temperature and more inert variations in deeper sea areas as compared to areas of lesser water depths. The range of standard deviations (max. minus min.) is smallest in October and March (0.3 K), and largest in January (0.7 K). Highest variability ensues in shallow coastal waters, lying just above $\pm 1 \text{ K}$ from October through December, and barely below $\pm 2 \text{ K}$ thereafter. The increase in high winter results from extreme levels of interannual variability of the large-scale atmospheric circulation, which, for instance, displays itself in corresponding ranges of the North Sea gale distribution (Loewe, 2013).

From October through March, climatological mean seawater temperatures of the period 1981–2010 exceed those of the 1971–2000 climatology by $0.4 \pm 0.1 \text{ K}$. Geographical distribution patterns of both time slices do not exhibit much of a difference. Consequently, the increase in temperatures shows in an eastward shift of isotherms by 10 to 20 nm such that whole-numbered contours of the latter period match the lower half-degree contours of the former as to course and location, and vice versa. Since both time slices have 20 years in common, the rise in temperatures is due to differences between the marginal decades. It is trivial to realize that in direct comparison of these decades the mean increase in temperature becomes 3 times as large.

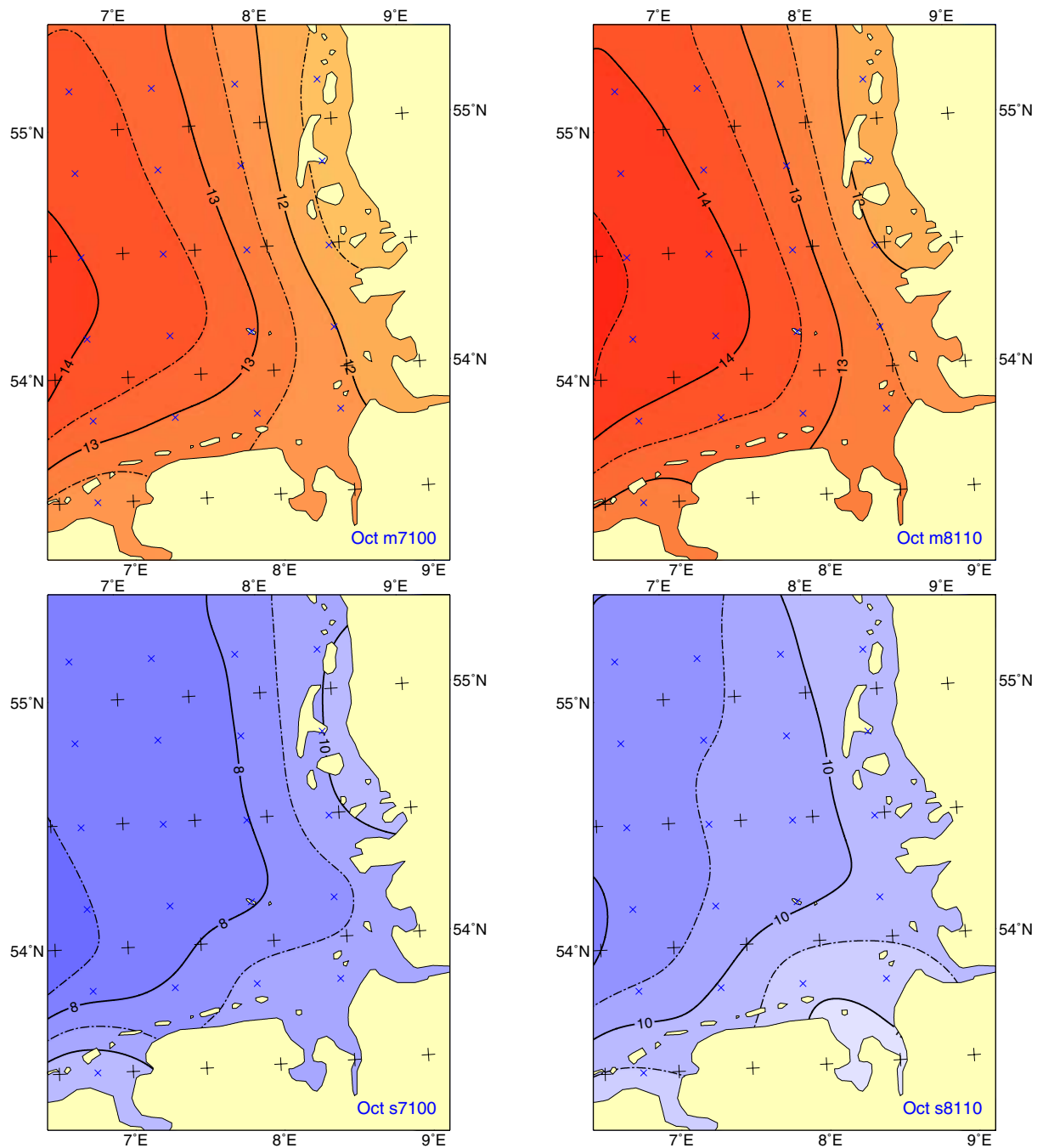


Abb. 80: SST-Klimatologien für Oktober für die Basisperioden 1971–2000 (links) und 1981–2010 (rechts). Mittelwerte (oben) in °C, Standardabweichungen (unten) in Dezigrad; x (blau): Gitterpositionen des Datensatzes, Auflösung 20 sm.

Fig. 80: SST climatologies for October and base periods 1971–2000 (left) and 1981–2010 (right). Means (top) in °C, standard deviations (bottom) in decidegrees; x (blue): grid points of observational data set, resolution 20 nm.

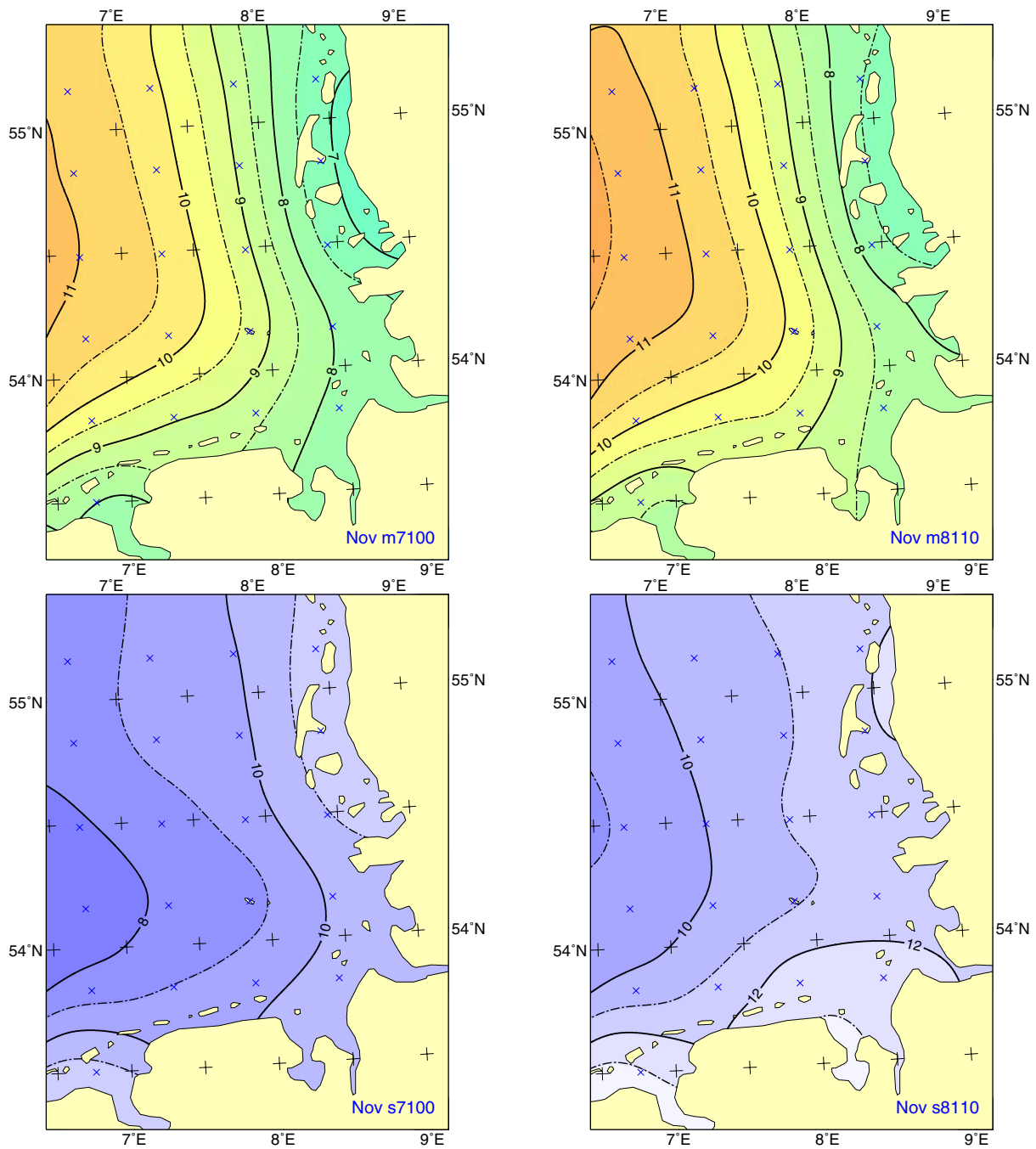


Abb. 81: Wie Abb. 80, jedoch für November.
Fig. 81: As Fig. 80, except for November.

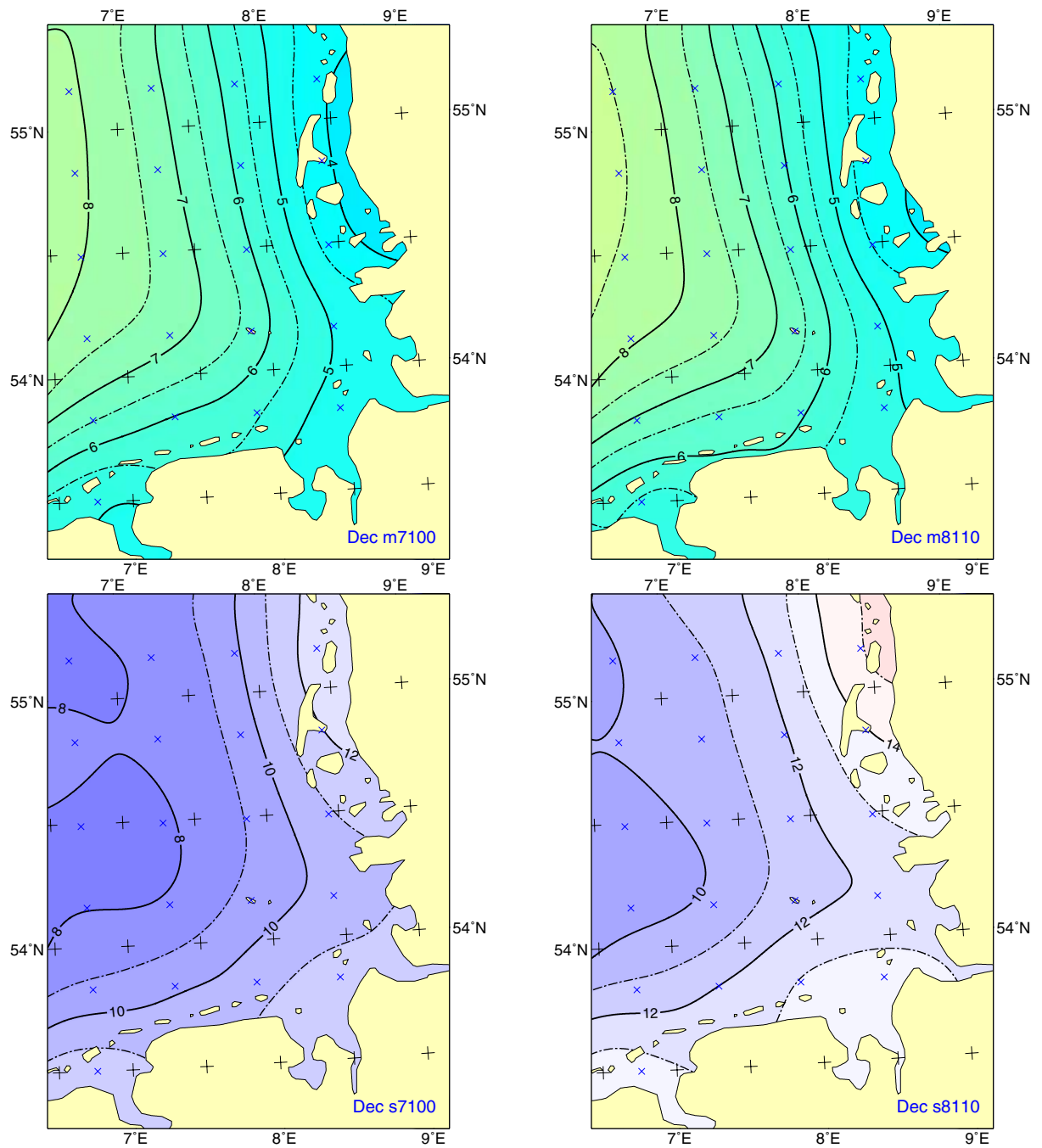


Abb. 82: Wie Abb. 80, jedoch für Dezember.
Fig. 82: As Fig. 80, except for December.

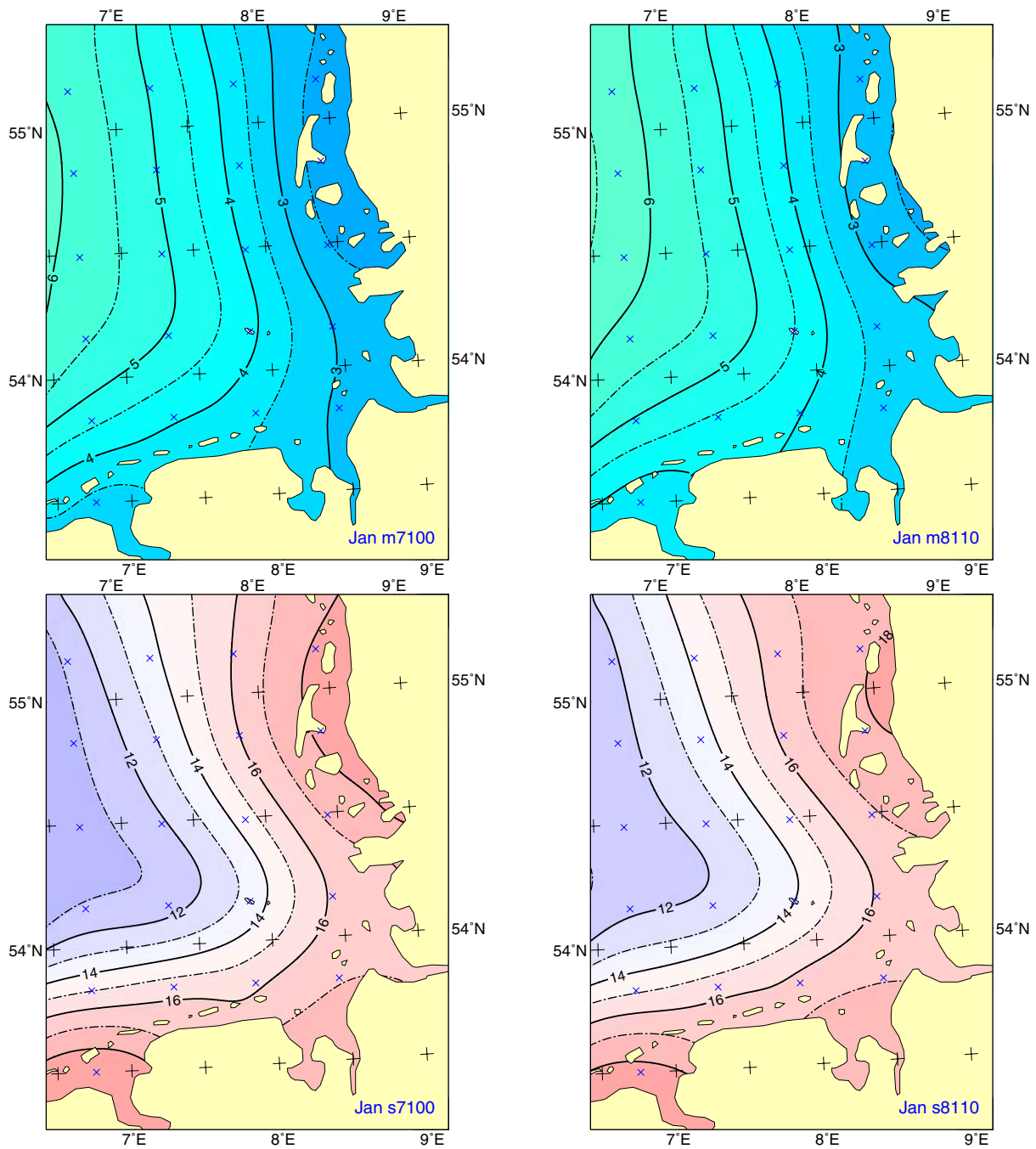


Abb. 83: Wie Abb. 80, jedoch für Januar.
Fig. 83: As Fig. 80, except for January.

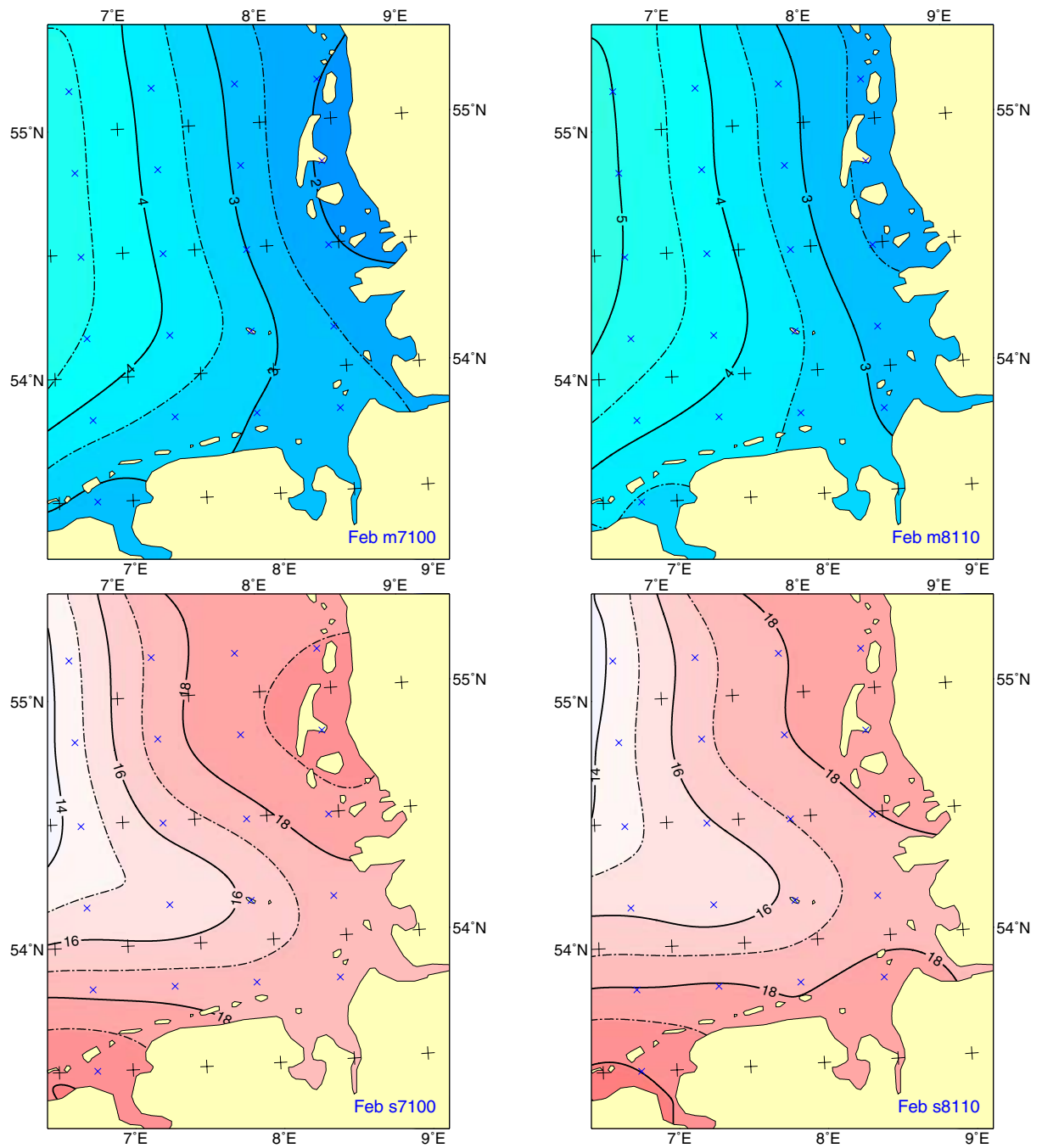


Abb. 84: Wie Abb. 80, jedoch für Februar.
Fig. 84: As Fig. 80, except for February.

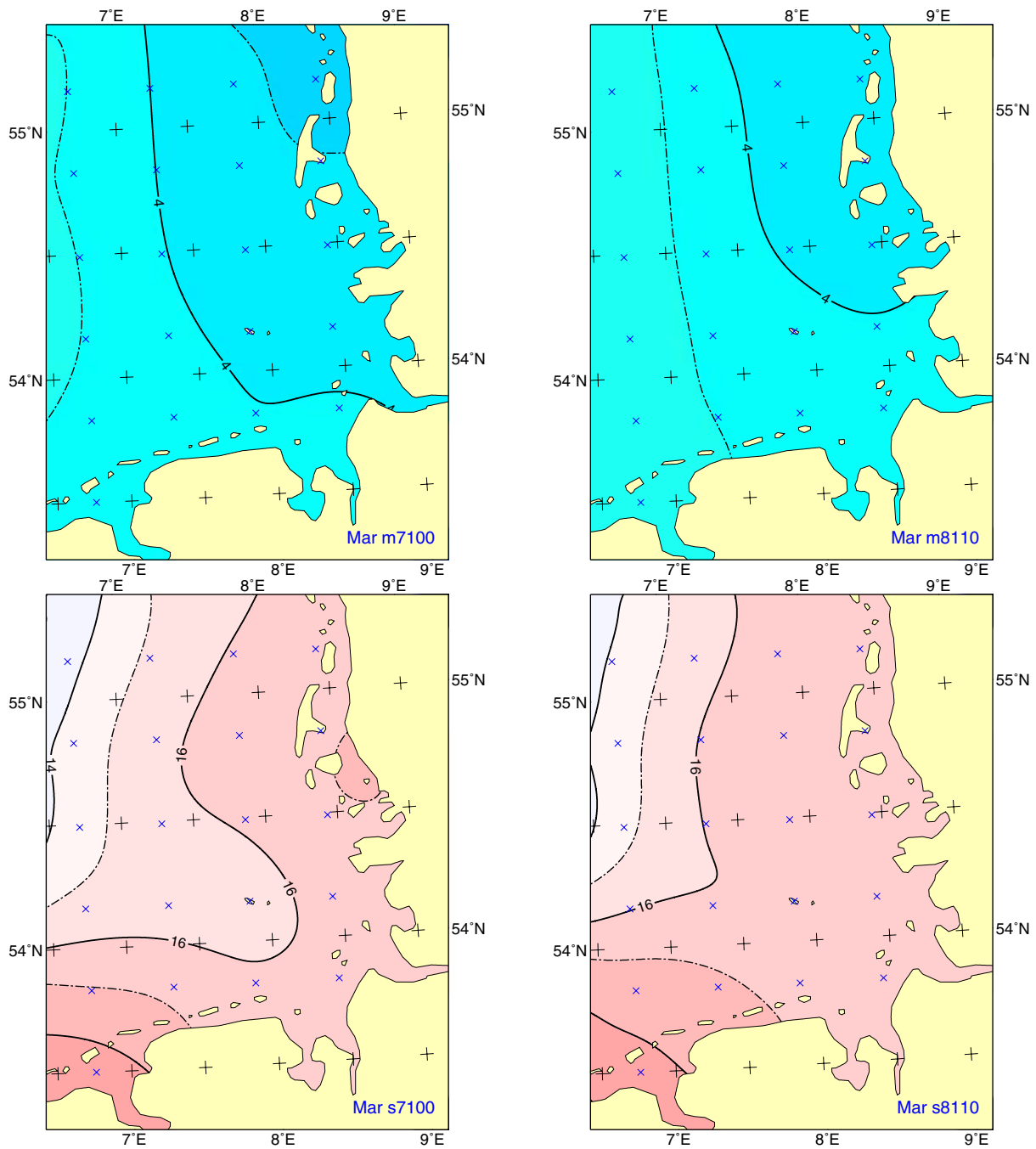


Abb. 85: Wie Abb. 80, jedoch für März.
Fig. 85: As Fig. 80, except for March.

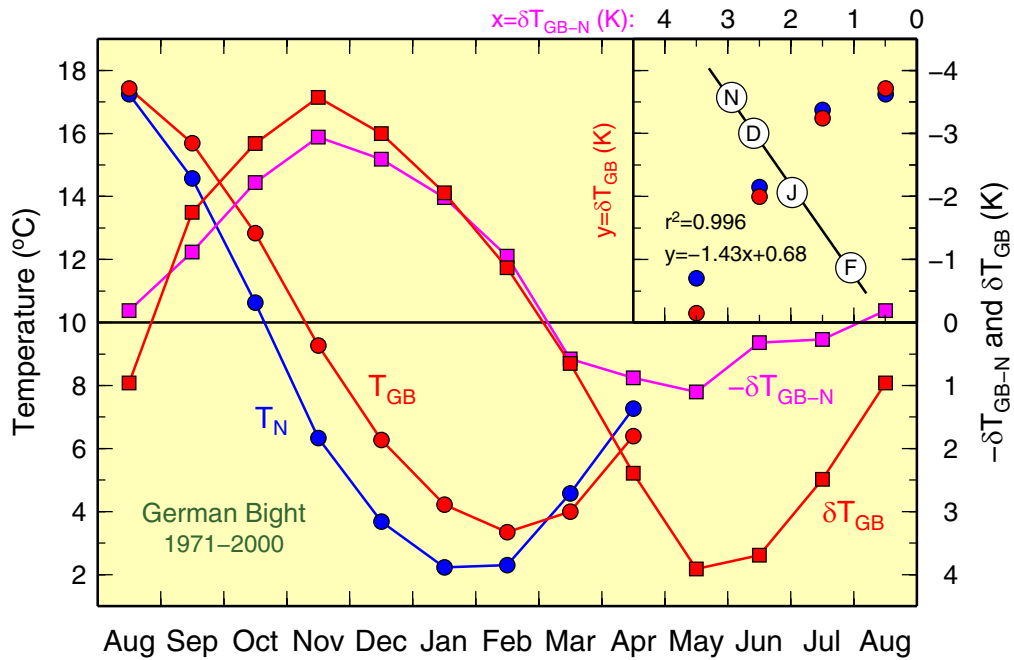


Abb. 86: Monatsklimatologien (1971–2000) für die Meeresoberflächentemperatur der Deutschen Bucht (T_{GB}), die Lufttemperatur auf Norderney (T_N), die Differenz zwischen beiden (δT_{GB-N}) sowie die Differenz zwischen aktueller Meerwassertemperatur und derjenigen im Vormonat (δT_{GB} , aufgetragen gegen den akt. Monat). Zwischen der Abkühlung des Meerwassers gegenüber dem Vormonat und dem Temperaturunterschied zwischen Meerwasser und Luft besteht von November bis Februar ein einfacher linearer Zusammenhang (Einliegegraphik, o. r.).

Fig. 86: Monthly climatologies (1971–2000) for the mean seawater temperature of the German Bight (T_{GB}), the air temperature at Norderney (T_N), the difference between the two of them (δT_{GB-N}), and the difference between seawater temperature in the current and previous month (δT_{GB} , drawn against the current month). The monthly cooling of seawater depends linearly on the temperature contrast between seawater and ambient air from November through February (inset, t. r.).

Literatur/References

Ashton, George D.: 1989; "Thin Ice Growth", WATER RESOURCES RESEARCH, Vol. 25, No. 3, 564–566

BSH, Sea surface temperatures, Hamburg und Rostock, 2015,
www.bsh.de/en/Marine_data/Observations/Sea_surface_temperatures/index.jsp

Cattiaux, J.; Vautard, R.; Cassou, C.; Yiou, P.; Masson-Delmotte, V.; Codron, F.: 2010, "Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate", Geophys. Res. Lett, 37, L20704

Danske istjeneste: 1965...1995, "Is- og besejlingsforholdene I de Danske farvande i vinteren 1964/65–1994/95" (Ice and Navigational Conditions in Danish Waters during the Winters 1964/65–1994/95)

DHI: 1956, „Atlas der Eisverhältnisse der Deutschen Bucht und westlichen Ostsee“, Hamburg

Düskau, T.: 2013, Bachelorarbeit „Untersuchung zur Abhängigkeit der Eisdicke von ozeanographisch/meteorologischen Faktoren an verschiedenen Stationen der deutschen Ostseeküste“

Hurrell, J. & NCAR Staff (Eds.): 2013, "The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (PC-based), last modified 8 Oct 2013". Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>

Jenkinson, A.; Collison, F.: 1977, "An initial climatology of gales over the North Sea", *Synoptic Climatology Branch Memorandum*, No. 62, 18pp, UK Met Office, Bracknell

Jones, P. D.; Harpham, C.; Briffa, K. R.: 2013, "Lamb weather types derived from reanalysis Products", *Int. J. Climatol.*, 33, 1129–1139

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, J.A.; Reynolds, R.; Jenne, R.; Joseph, D.: 1996, The NCEP/ NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471

Koslowski, G.: 1989, „Die flächenbezogene Eisvolumensumme, eine neue Maßzahl für die Bewertung des Eiswinters an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und ihr Zusammenhang mit dem meteorologischen Charakter des meteorologischen Winters“, *Dt. hydrogr. Z.* 42, 61–80

Laursen, Ellen Vaarby: 2004, "DMI Daily Climate Data Collection 1873–2003, Denmark and Greenland", DMI Technical Report No. 04-03, Copenhagen

Loewe, P.: 1996 "Surface temperatures of the North Sea in 1996", *Dt. Hydrogr. Z.*, 48, 175–184

Loewe, P. und Koslowski, G.: 1998, "The Western Baltic sea ice season in terms of a massrelated severity index 1879–1992. (II). Spectral characteristics and associations with the NAO, QBO and solar cycle", *Tellus*, 50A, 219–241

Loewe, P.; Becker, G.; Brockmann, U.; Frohse, A.; Herklotz, K.; Klein, H.; Schulz, A.: 2003, „Nordsee und Deutsche Bucht 2002 – Ozeanographischer Zustandsbericht“, *Berichte des BSH*, Nr. 33, 89pp, BSH, Hamburg und Rostock,
www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte_/Bericht33/index.jsp

Loewe, P.; Schmolke, S.; Becker, G.; Brockmann, U.; Dick, S.; Engelke, C.; Frohse, A.; Horn, W.; Klein, H.; Muller-Navarra, S.; Nies, H.; Schmelzer, N.; Schrader, D.; Schulz, A.; Theobald, N.; Weigelt, S.: 2005, „Nordseezustand 2003“, *Berichte des BSH*, Nr. 38, 220pp, BSH, Hamburg und Rostock,
www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte_/Bericht38/index.jsp

Loewe, P.: 2009, "Atmosphärenphysik", 35–78 in: Loewe, P. (Ed.), „System Nordsee – Zustand 2005 im Kontext langzeitlicher Entwicklungen“, Berichte des BSH, Nr. 44, 261pp, BSH, Hamburg und Rostock, www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte/_Bericht44/index.jsp

Loewe, P.; Klein, H.; Frohse, A.; Schulz, A.; Schmelzer, N.: 2013, „Temperatur“, 142–155 in: Loewe, P.; Klein, H.; Weigelt, S. (Eds.), „System Nordsee – 2006 & 2007: Zustand und Entwicklungen“, Berichte des BSH, Nr. 49, 308pp, BSH, Hamburg und Rostock, www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte/_Bericht49/index.jsp

Loewe, P.: 2013, "Atmosphärenphysik", 37–114 in: Loewe, P.; Klein, H.; Weigelt, S. (Eds.), „System Nordsee – 2006 & 2007: Zustand und Entwicklungen“, Berichte des BSH, Nr. 49, 308pp, BSH, Hamburg und Rostock, www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte/_Bericht49/index.jsp

Ice melding: 2009...2010, <http://forsvaret.dk/MST/Nationalt/Istjenesten/Pages/default.aspx>

Moll, A.; Radach G.: 1998, "Advective Contributions to the Heat Balance of the German Bight (LV Elbe 1) and the Central North Sea (OWS Famita)", Dt. Hydrogr. Z., 50, 9–31

Pounder, E. R.: 1965, "The physics of ice", Pergamon Press

Schmelzer, N.: 2009, "Digitising of historical ice charts", Presentation on the 2nd Ice Chart Analysts Workshop in Tromsø, Norway

Schmelzer, N.; Holfort, J.; Sztobryn, M.; Przygodzki, P.: 2012, "Climatological Ice Atlas for the western and southern Baltic Sea (1961–2010) with digital supplement: Comparison of ice conditions in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000 and 1981–2010", ISBN 978-3-86987-278-0, BSH no. 2338 oder http://www.bsh.de/en/Marine_data/Observations/Ice/index.jsp

Schmelzer, N.; Holfort, J.: 2014, „Eiswinter 2009/2010 bis 2013/14 an den deutschen Nord- und Ostseeküsten“, Berichte des BSH, Nr. 53, BSH, Hamburg und Rostock

Søværnets Operative Kommando: 1996...2006, "Is- og besejlingsforholdene i de danske farvande i vinteren 1995/96–2005/06" (Ice and Navigational Conditions in Danish Waters during the Winters 1995/96–2005/06)

Strübing, K.: 1996, "The Ice Winter of 1995/96 on the German Coasts between Ems and Oder, with a Survey of the Entire Baltic Area", Dt. hydrogr. Z. 48, 73–87

WMO: 1970, WMO Sea-Ice Nomenclature

WMO: 2004, "Ice Chart Colour Code standard", JCOMM Technical Report No. 24, WMO/TD-No. 1215

WMO–No.259: 2015, WMO Sea-Ice Nomenclature, volumes I, II and III, <http://www.jcomm.info>

Abkürzungen/Abbreviations

BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
DB	Deutsche Bucht
DHI	Deutsches Hydrographisches Institut (bis 1990)
WMO	World Meteorological Organisation
Fr. Beginn	Frühester Beginn
Mittl. Beginn	Mittlerer Beginn
Mittl. Ende	Mittleres Ende
KS	Kältesumme/ <i>Cold sum</i>
Sp. Ende	Spätestes Ende
WS	Wärmesumme/ <i>Warm sum</i>

Adressen der Autoren/Adresses of authors

Dr. Natalija Schmelzer
natalija.schmelzer@bsh.de
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Neptunallee 5
18057 Rostock
GERMANY

Dr. Jürgen Holfort
juergen.holfort@bsh.de
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Neptunallee 5
18057 Rostock
GERMANY

Peter Loewe
peter.Loewe@bsh.de
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Bernhard-Nocht-Str. 78
20359 Hamburg
GERMANY

Danksagung/Acknowledgement

Wir möchten uns bei Daniel Melchert für die digitale Erfassung der dänischen und niederländischen Eisbeobachtungsdaten herzlich bedanken.

We would kindly like to thank Daniel Melchert for the digital compilation of the Danish and Dutch ice monitoring data.

Abbildungsverzeichnis/List of Figures

Abb. 1: Häufigkeit des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010
Fig. 1: Frequency of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 2: Lage der niederländischen und deutschen Eisbeobachtungsstationen
Fig. 2: Position of Netherlands and German ice monitoring stations included in the study

Abb. 3: Lage der untersuchten dänischen Eisbeobachtungsstationen
Fig. 3: Position of the Danish ice monitoring stations included in the study

Abb. 4: Eisklimatologische Stationen an der deutschen Nordseeküste
Fig. 4: Ice climatological stations on the German North Sea coast

Abb. 5: Verteilung der flächenbezogenen Eisvolumensumme an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1897–2010
Fig. 5: Distribution of accumulated areal ice volume on the German North Sea coast in the period of 1897 to 2010

Abb. 6: Eisverhältnisse am 11. Februar des starken Eiswinters 1995/96
Fig. 6: Ice conditions on 11 February in a strong ice winter 1995/96

Abb. 7: Eisverhältnisse am 18. Februar des mäßigen Eiswinters 2009/10
Fig. 7: Ice conditions on 18 February in a moderate ice winter 2009/10

Abb. 8: Eisbeobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im nordfriesischen Wattenmeer (a), auf dem Unterlauf der Elbe (b), auf dem Unterlauf der Weser (c), im ostfriesischen Wattenmeer (d) und in der inneren Deutschen Bucht (e)
Fig. 8: Monitoring stations on the German North Sea coast in the North Frisian Wadden Sea (a), on the Lower Elbe (b), on the Lower Weser (c), in the East Frisian Wadden Sea (d), and in the inner German Bight (e)

Abb. 9: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010
Fig. 9: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961–2010

Abb. 10: Mittlere und extreme Daten für den Beginn und das Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010
Fig. 10: Mean and extreme values for the beginning and end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961–2010

Abb. 11: Mittlere und extreme Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010
Fig. 11: Mean and extreme values of the number of days with ice on the German North Sea coast in the 50-year period 1961–2010

Abb. 12: Mittlere und maximale Eisdicke in verschiedenen Bereichen der deutschen Nordseeküste
Fig. 12: Mean and maximum ice thickness in different areas of the German North Sea coast

Abb. 13: Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Eisformen (übereinandergeschobenes Eis, zusammengeschobenes Eis, festgestampftes Eis, aufgepresstes Eis, Eisblock) im Bereich der deutschen Nordseeküste mit Angaben der maximalen Höhe in m
Fig. 13: Frequency of occurrence of different ice forms (rafted ice, compact ice, jammed ice barrier, ridged ice, ice floe bit) in the area of German North Sea coast with date of maximum high in m

Abb. 14: Tägliche Häufigkeit des Eisvorkommens im deutschen Nordseeküstengebiet im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010
Fig. 14: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 50-year period 1961–2010

Abb. 15: Häufigkeitsverteilung des Eisbedeckungsgrades und der Eisdicke in verschiedenen Abschnitten der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010. Die äußere Kurve stellt die täglichen Häufigkeiten des Eisauftretens dar

Fig. 15: Frequency distribution of ice coverage and ice thickness in different sections of the German North Sea coast in the period 1961–2010. The outer curve shows the daily frequency of ice occurrence

Abb. 16: Monatsmittel der Lufttemperatur in den Wintermonaten in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern für die Stationen List/Sylt, Cuxhaven und Norderney (Angaben des Deutschen Wetterdienstes)

Fig. 16: Mean of the air temperatures in the winter months of weak, moderate, and strong to extremely strong ice winters at the List/Sylt, Cuxhaven and Norderney stations (information courtesy of German Weather Service)

Abb. 17: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 17: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the weak, moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 18: Mittlerer Beginn und mittleres Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 18: Mean begin and mean end of ice occurrence on the German North Sea coast in weak, moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 19: Frühester Beginn und spätestes Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 19: Earliest beginning and latest end of ice occurrence on the German North Sea coast in weak, moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 20: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (für alle Winter), mittlere Anzahl der Tage mit Eis (nur für Winter mit Eis), maximale Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste in schwachen, mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 20: Mean number of days with ice (all winters), mean number of days with ice (only winters with ice), maximum number of days with ice on the German North Sea coast in weak, moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 21: Häufigkeit des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 21: Frequency of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 22: Frühester Beginn des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 22: Earliest beginning of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 23: Mittlerer Beginn des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 23: Median beginning of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 24: Mittleres Ende des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 24: Median end of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 25: Das spätestes Ende des Eisauftretens in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 25: Latest end of ice occurrence in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 26: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (alle Winter) in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 26: Mean number of the days with ice (all winters) in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 27: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (Winter mit Eis) in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern

Fig. 27: Mean number of the days with ice (winters with ice) in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 28: Maximale Anzahl der Tage mit Eis in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
Fig. 28: Maximum number of the days with ice in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 29: Maximaler Eisbedeckungsgrad am 21. Februar in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
Fig. 29: Maximum ice concentration on 21 of February in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 30: Maximale Eisdicke am 21. Februar in mäßigen und starken bis extrem starken Eiswintern
Fig. 30: Maximum ice thickness on 21 February in moderate and strong to extremely strong ice winters

Abb. 31: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station Norderney in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)
Fig. 31: 5-day running means of air temperature, measured at the Norderney station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Abb. 32: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station Cuxhaven in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)
Fig. 32: 5-day running means of air temperature, measured at the Cuxhaven station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Abb. 33: Gleitende 5-Tage-Mittel der Lufttemperatur, gemessen an der Station List/Sylt in einem extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen (2009/10) Eiswinter (Angaben des DWD, www.dwd.de)
Fig. 33: 5-day running means of air temperature, measured at the List/Sylt station in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate (2009/10) ice winter (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Abb. 34: Eisverhältnisse am 1. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 34: Ice conditions on 1 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 35: Eisverhältnisse am 11. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 35: Ice conditions on 11 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 36: Eisverhältnisse am 21. Januar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 36: Ice conditions on 21 January in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 37: Eisverhältnisse am 1. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 37: Ice conditions on 1 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 38: Eisverhältnisse am 11. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 38: Ice conditions on 11 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 39: Eisverhältnisse am 21. Februar eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)
Fig. 39: Ice conditions on 21 February in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 40: Eisverhältnisse am 1. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 40: Ice conditions on 1 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 41: Eisverhältnisse am 11. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 41: Ice conditions on 11 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 41: Eisverhältnisse am 11. März eines extrem starken (1962/63), starken (1995/96) und mäßigen Eiswinters (2009/10)

Fig. 41: Ice conditions on 11 March in an extremely strong (1962/63), strong (1995/96), and moderate ice winter (2009/10)

Abb. 43: Eisverhältnisse am 1. April des extrem starken Eiswinters 1962/63

Fig. 43: Ice conditions on 1 April of the extremely strong ice winter 1962/63

Abb. 44: Tägliches Eisauftreten an der deutschen Nordseeküste und gemessene Lufttemperatur (Cuxhaven) im Eiswinter 2009/10

Fig. 44: Daily ice occurrence on the German North Sea coast and measured air temperatures (Cuxhaven) in the ice winter of 2009/10

Abb. 45: Tägliches Eisauftreten an der deutschen Nordseeküste und gemessene Lufttemperatur (Norderney) im Eiswinter 2009/10

Fig. 45: Daily ice occurrence on the German North Sea coast and measured air temperatures (Norderney) in the ice winter of 2009/10

Abb. 46: Verlauf der über die Wintermonate gemittelten Lufttemperaturen im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010, geglättet durch 10-jährigen Tiefpassfilter (Angaben des Deutschen Wetterdienstes)

Fig. 46: Development of average winter temperatures in the 50-year period of 1961–2010, smoothed by 10-year low-pass filter (information courtesy of German Weather Service)

Abb. 47: Verlauf des Monatsmittels der Lufttemperatur im 50-jährigen Zeitraum 1961–2010, geglättet durch 10-jährigen Tiefpassfilter, Stationen Norderney und List/Sylt (Angaben des DWD)

Fig. 47: Development of mean month temperatures in the 50-year period of 1961–2010, smoothed by 10-year low-pass filter; Norderney and List/Sylt stations (information courtesy of German Weather Service)

Abb. 48: Vergleich der Monatsmittel der Lufttemperatur in den Wintermonaten in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 für die Stationen Norderney, Cuxhaven und List/Sylt

Fig. 48: Comparison of mean air temperatures in the winter months of the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010 at the Norderney, Cuxhaven and List/Sylt stations

Abb. 49: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 49: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 50: Mittlerer Beginn und mittleres Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 50: Median beginning and median end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 51: Frühester Beginn und spätestes Ende des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 51: Earliest beginning and latest end of ice occurrence on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 52: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (für alle Winter), mittlere Anzahl der Tage mit Eis (nur für Winter mit Eis), maximale Anzahl der Tage mit Eis an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 52: Mean number of days with ice (all winters), mean number of days with ice (only winters with ice), maximum number of days with ice on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 53: Mittlere und extreme Daten der Eisdicke, die in einer Eissaison an der deutschen Nordseeküste in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 erreicht wurde

Fig. 53: Mean and extreme values of the maximum ice thickness which has been reached in an ice season on the German North Sea coast in the 30-year periods of 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 54: Häufigkeit des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 54: Frequency of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 55: Frühester Beginn des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 55: Earliest beginning of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 56: Mittlerer Beginn des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 56: Median beginning of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 57: Mittleres Ende des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 57: Median end of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 58: Das späteste Ende des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 58: Latest end of ice occurrence in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 59: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (alle Winter) in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 59: Mean number of the days with ice (all winters) in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 60: Mittlere Anzahl der Tage mit Eis (Winter mit Eis) in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 60: Mean number of the days with ice (winters with ice occurrence) in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 61: Maximale Anzahl der Tage mit Eis in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 61: Maximum number of the days with ice in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 62: Eisbedeckungsgrad zurzeit der maximalen Eisausdehnung in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 62: Ice concentration at the time of maximum ice extent in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 63: Maximale Eisdicke am 21. Februar in den 30-jährigen Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010

Fig. 63: Maximum ice thickness on 21 February in the 30-year periods 1961–1990, 1971–2000, and 1981–2010

Abb. 64: Nach Eiswinterstärke stratifizierte mittlere Jahresgänge der Oberflächentemperatur der Deutschen Bucht im Zeitraum 1968/69–2014/15 mit Klimatologie und 95%-Band (Klima \pm 1.96 Standardabweichungen). Die Kompositzyklen setzen sich aus 27 (schwach), 13 (mäßig) und 7 (stark) Jahresgängen zusammen

Fig. 64: Mean seasonal SST cycles of the German Bight composited according to ice winter strength in the period 1968/69–2014/15 together with climatology and 95%-band (climatology \pm 1.95 standard deviations). The composite cycles consist of 27 (weak), 13 (moderate) and 7 (strong) members

Abb. 65: Mittlere Temperaturverteilungen für alle Oktober des Zeitraums 1968–2014 (o.l.) und solche, die schwachen (W27, o.r.), mäßigen (M13, u.l.) und starken (S7, u.r.) Eiswintern vorausgingen

Fig. 65: Mean temperature distributions for all Octobers within the period 1968–2014 (t.l.), and those preceding weak (W27, t.r.), moderate (M13, b.l.), and strong (S7, b.r.) ice winters

Abb. 66: Wie Abb. 65, jedoch für November

Fig. 66: As Fig. 65, except for November

Abb. 67: Wie Abb. 65, jedoch für Dezember

Fig. 67: As Fig. 65, except for December

Abb. 68: Mittlere Temperaturverteilungen für alle Januare des Zeitraums 1969–2015 (o.l.) und solche, die mit schwachen (W27, o.r.), mäßigen (M13, u.l.) und starken (S7, u.r.) Eiswintern einhergingen; x (blau): Gitterpositionen des Datensatzes, Auflösung 20 sm

Fig. 68: Mean temperature distributions for all Januaries within the period 1969–2015 (t.l.), and those going along with weak (W27, t.r.), moderate (M13, b.l.), and strong (S7, b.r.) ice winters; x (blue): grid points of observational data set, resolution 20 nm

Abb. 69: Wie Abb. 68, jedoch für Februar

Fig. 69: As Fig. 68, except for February

Abb. 70: Wie Abb. 68, jedoch für März

Fig. 70: As Fig. 68, except for March

Abb. 71: Zeitserie der Temperatur im Februar in der Deutschen Bucht.

Gestrichelt: Rohzeitserie; rot und grün: Gaußsche Tiefpassfilter der Länge 5 und 21 Jahre; x (magenta, türkis, blau): Mittelwerte der empirischen Temperaturverteilungen für schwache, mäßige und starke Eiswinter im Zeitraum 1969–2015; Perzentilbereich (Stapelsäulen): Min. bis Max. (Spannweite) mit internen Intervallgrenzen bei 10, 25, 50, 75 und 90%

Fig. 71: Time series of temperature in February for the German Bight.

Stippled: raw time series; red and green: low-pass filtered for filter lengths of 5 and 21 yrs; x (magenta, cyan, blue): means of empirical SST distribution associated with weak, moderate, and strong ice winters during 1969–2015; Percentile range (stacked columns): Min. to Max., internal interval limits at 10, 25, 50, 75, and 90%

Abb. 72: Wie Abb. 71, jedoch für Anzahl Sturmtage im Nordseegebiet im Winter (DJF)

Fig. 72: As Fig. 71, except for North Sea gale-day frequency in winter (DJF)

Abb. 73: Wie Abb. 71, jedoch für November 1968–2014 (oben) sowie winterliche Abkühlung (Nov. (yr-1) minus Feb. (yr), unten). ΔT ist dem zum Februar gehörigen Jahr zugeordnet, die Zeitachse um 1 Jahr links verschoben, sodass die Differenzen genau senkrecht unter den zugehörigen Minuenden der oberen Abbildung zu liegen kommen.

Fig. 73: As Fig. 71, except for November 1968–2014 (top) and wintry cooling (Nov. (yr-1) minus Feb. (yr), bottom). ΔT is plotted against the year associated with February, time axis shifted to the left by 1 year, such that Delta Δ appears straight below the minuend of the upper frame.

Abb. 74: Wie Abb. 73, jedoch für August 1969–2014 (oben) sowie saisonale Abkühlung (Aug. (yr-1) minus Feb. (yr), unten).

Fig. 74: As Fig. 73, except for August 1969–2014 (top) and seasonal cooling (Aug. (yr-1) minus Feb. (yr), bottom).

Abb. 75: Saisonale Entwicklung der Oberflächentemperatur der Deutschen Bucht in den Jahren 1995/96 und 2009/10 mit Klimatologie (1971–2000) und 95%-Band (Klima ± 1.96 Standardabweichungen)

Fig. 75: Seasonal cycle of German Bight SST in 1995/96 and 2009/10 together with 1971–2000 base period monthly means and 95%-band (climatology ± 1.96 standard deviations)

Abb. 76: Temperaturentwicklung in der Deutschen Bucht im Winter 1995/96

Fig. 76: Temperature evolution in the winter 1995/96 in the German Bight

Abb. 77: Temperaturentwicklung in der Deutschen Bucht im Winter 2009/10

Fig. 77: Temperature evolution in the winter 2009/10 in the German Bight

Abb. 78: Luftdruckverteilungen im Meeresniveau (SLP, hPa – 1000) in den Wintern 1962/63 (links), 1995/96 (Mitte) und 2009/10 (rechts) mit Abweichungen von der NCEP/ NCAR Klimatologie des Zeitraums 1971–2000 (SLPA, farbig, Konturabstand 1 hPa). Die jeweiligen Witterungstypen sind in der Kartenmitte in der Form SLP:SLPA angegeben und gelten für den Nordseeraum

Fig. 78: Sea level pressure distributions (SLP, hPa – 1000) in the winters 1962/63 (left), 1995/96 (middle), and 2009/10 (right) together with departures from the NCEP/ NCAR climatology for 1971–2000 (SLPA, coloured, contour spacing 1 hPa). Weather types denoted as SLP:SLPA in the centre of each map are valid for the North Sea region

Abb. 79: Virtuelle Trajektorien des Nordseewindes im Winter mit Ensemble und Klimatologie. Zeitmarken kennzeichnen Monatsanfänge (Dez., Jan., Feb.), Jahreszahlen die Endpunkte der Ensemblemitglieder. Alle Trajektorien starten bei $D=(0,0)$, ihr Verlauf ergibt sich durch Addition täglicher Windvektoren. Division der Trajektorienlänge und der geradlinigen Distanz zwischen Start- und Endpunkt durch die Anzahl der Wintertage (90) liefert die mittlere skalare bzw. vektorielle Windgeschwindigkeit für den jeweiligen Winter (DJF)

Fig. 79: Progressive daily vectors of the North Sea Wind in winter with ensemble and climatology. Markers indicate the first day in a month (Dec., Jan., Feb.), years final points of ensemble members. All trajectories start at $D=(0,0)$, and proceed by adding consecutive, daily wind vectors. Dividing the along-path length of a trajectory and the linear distance between start- and endpoint through the number of winter days (90) yields the scalar wind velocity and the vectorial wind speed, respectively, for the DJF-quarter

Abb. 80: SST-Klimatologien für Oktober für die Basisperioden 1971–2000 (links) und 1981–2010 (rechts). Mittelwerte (oben) in $^{\circ}\text{C}$, Standardabweichungen (unten) in Dezigrad; x (blau): Gitterpositionen des Datensatzes, Auflösung 20 sm

Fig. 80: SST climatologies for October and base periods 1971–2000 (left) and 1981–2010 (right). Means (top) in $^{\circ}\text{C}$, standard deviations (bottom) in decidegrees; x (blue): grid points of observational data set, resolution 20 nm

Abb. 81: Wie Abb. 80, jedoch für November

Fig. 81: As Fig. 80, except for November

Abb. 82: Wie Abb. 80, jedoch für Dezember

Fig. 82: As Fig. 80, except for December

Abb. 83: Wie Abb. 80, jedoch für Januar

Fig. 83: As Fig. 80, except for January

Abb. 84: Wie Abb. 80, jedoch für Februar

Fig. 84: As Fig. 80, except for February

Abb. 85: Wie Abb. 80, jedoch für März

Fig. 85: As Fig. 80, except for March

Abb. 86: Monatsklimatologien (1971–2000) für die Meeresoberflächentemperatur der Deutschen Bucht (T_{GB}), die Lufttemperatur auf Norderney (T_N), die Differenz zwischen beiden (δT_{GB-N}) sowie die Differenz zwischen aktueller Meerwassertemperatur und derjenigen im Vormonat (δT_{GB} , aufgetragen gegen den akt. Monat). Zwischen der Abkühlung des Meerwassers gegenüber dem Vormonat und dem Temperaturunterschied zwischen Meerwasser und Luft besteht von November bis Februar ein einfacher linearer Zusammenhang (Einliegegraphik, o. r.)

Fig. 86: Monthly climatologies (1971–2000) for the mean seawater temperature of the German Bight (T_{GB}), the air temperature at Norderney (T_N), the difference between the two of them (δT_{GB-N}), and the difference between seawater temperature in the current and previous month (δT_{GB} , drawn against the current month). The monthly cooling of seawater depends linearly on the temperature contrast between seawater and ambient air from November through February (inset, t. r.)

Abb. A-1: Abhängigkeit der Eisdicke von der Kältesumme im Stettiner Haff und im Greifswalder Bodden
Fig. A-1: Ice thickness as a function of cold sum in Szczecin Lagoon and the Bight of Greifswald

Abb. A-2: Vergleich der linearen Abhängigkeit der Eisdicke von der Wärmesumme für neun Stationen an der deutschen Ostseeküste
Fig. A-2: Comparison of ice thickness as a linear function of the warm sum for nine stations at the German Baltic Sea coast

Abb. A-3: Vergleich der gemeldeten und berechneten Eisdicken für die Station Mariager im Winter 1981/82. Die Kälte- und Wärmesummen wurden aus den Temperaturangaben der Station Ålborg (Laurson, 2004) ermittelt
Fig. A-3: Comparison of observed and calculated values of the ice thickness for the station Mariager in the winter of 1981/82. The cold and warm sums were determined from the air temperatures of station Ålborg (Laurson, 2004)

Abb. A-4: Vergleich der gemessenen und theoretisch berechneten maximalen Eisdicken für einige Beobachtungstationen im Limfjord
Fig. A-4: Comparison of the measured and theoretically calculated maximum ice thicknesses for some monitoring stations in Limfjord

Abb. A-5: Einige Beispiele für die gemeldeten und berechneten Eisdicken
Fig. A-5: Some examples for the observed and calculated values of the ice thicknesses

Abb. A-6: Vergleich der Häufigkeiten des Eisauftretens in verschiedenen Zeiträumen
Fig. A-6: Comparison of the frequencies of ice occurrence in different periods

Abb. A-7: Vergleich der Häufigkeiten des Eisauftretens in verschiedenen Eiswinterklassen
Fig. A-7: Comparison of the frequencies of ice occurrence in different ice winter classes

Abb. A-8: Vergleich der Anzahl der Tage mit Eis in verschiedenen Zeiträumen
Fig. A-8: Comparison of the number of days with ice in different ice periods

Abb. A-9: Vergleich der Anzahl der Tage mit Eis in verschiedenen Eisklassen
Fig. A-9: Comparison of the number of days with ice in different ice classes

Abb. A-10: Vergleich der mittleren Daten des Eisauftretens in verschiedenen Zeiträumen
Fig. A-10: Comparison of the median dates of the ice occurrence in different periods

Abb. A-11: Vergleich der mittleren Daten des Eisauftretens in verschiedenen Eisklassen
Fig. A-11: Comparison of the median dates of the ice occurrence in different ice classes

Abb. A-12: Vergleich der extremen Daten des Eisauftretens in verschiedenen Zeiträumen
Fig. A-12: Comparison of the extreme dates of the ice occurrence in different periods

Abb. A-13: Vergleich der extremen Daten des Eisauftretens in verschiedenen Eisklassen
Fig. A-13: Comparison of the extreme dates of the ice occurrence in different ice classes

Tabellenverzeichnis/*List of Tables*

Tabelle 1: Niederländische Eisbeobachtungsstationen

Table 1: Dutch ice monitoring stations which have been included in the study

Tabelle 2: Deutsche Eisbeobachtungsstationen

Table 2: German ice monitoring stations

Tabelle 3: Dänische Eisbeobachtungsstationen

Table 3: Danish ice monitoring stations which have been included in the study

Tabelle 4: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 4: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 5: Häufigkeit des Eisauftretens an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 5: Frequency of ice occurrence on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 6: Mittlerer Bedeckungsgrad (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 6: Mean ice concentration (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 7: Mittlerer Bedeckungsgrad (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 7: Mean ice concentration (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 8: Maximaler Bedeckungsgrad an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 8: Maximum ice concentration on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 9: Mittlere Eisdicke (alle Winter) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 9: Mean ice thickness (all winters) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 10: Mittlere Eisdicke (Winter mit Eis) an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 10: Mean ice thickness (winters with ice) on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 11: Mittlere maximale Eisdicke an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–2010

Table 11: Mean maximum ice thickness on the German North Sea coast in the period 1961–2010

Tabelle 12: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in schwachen Eiswintern

Table 12: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in weak ice winters

Tabelle 13: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in mäßigen Eiswintern

Table 13: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in moderate ice winters

Tabelle 14: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste in starken bis extrem starken Eiswintern

Table 14: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in strong to extremely strong ice winters

Tabelle 15: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 1962/63 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1961–1990 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 15: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 1962/63 and their deviation from the 1961–1990 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Tabelle 16: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 1995/96 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1961–1990 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 16: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 1995/96 and their deviation from the 1961–1990 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Tabelle 17: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (°C) im Winter 2009/10 und ihre Abweichungen vom Klimamittel 1961–1990 (K) (Angaben des DWD, www.dwd.de)

Table 17: Monthly mean values of air temperature (°C) in the winter of 2009/10 and their deviation from the 1961–1990 climatic mean (K) (data from German Weather Service, www.dwd.de)

Tabelle 18: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1961–1990

Table 18: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1961–1990

Tabelle 19: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1971–2000

Table 19: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1971–2000

Tabelle 20: Statistische Angaben für Beobachtungsstationen an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 1981–2010

Table 20: Statistical data for monitoring stations on the German North Sea coast in the period 1981–2010

Tabelle 21: Wetterlagenkalender für die Winter 1962/63, 1995/96 und 2009/10; Sturmtage sind in Fettdruck

Table 21: Calendar of weather types for winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10; gale days printed bold

Tabelle 22: Häufigkeiten der Wetterlagen in den Wintern 1962/63, 1995/96 und 2009/10

Table 22: Frequency of weather types in winters 1962/63, 1995/96, and 2009/10

Tabelle A-1: Eisbedeckungsgrad

Table A-1: Ice Concentration

Tabelle A-2: Eisdicke

Table A-2: Ice Thickness

Tabelle A-3: Koeffizienten der empirisch gefundenen Gleichung für die Bestimmung der Eisdicke (h) in Abhängigkeit von der Kältesumme (KS) $h = a + b \cdot \sqrt{KS}$

Table A-3: Coefficients of the empirically found equation for calculating ice thickness (h) as a function of the cold sum (CS) $h = a + b \cdot \sqrt{CS}$

Tabelle A-4: Koeffizienten der empirisch gefundenen Gleichung für die Bestimmung der Eisdicke (h) in Abhängigkeit von der Wärmesumme (WS) $h = a + b \cdot WS$

Table A-4: Coefficients of the empirically found equation for determining ice thickness (h) as a function of the warm sum (WS) $h = a + b \cdot WS$

Tabelle A-5: Vergleich der gemessenen und theoretisch berechneten maximalen Eisdicken für einige Beobachtungsstationen im Limfjord

Table A-5: Comparison of the measured and theoretically calculated maximum ice thicknesses for some monitoring stations in Limfjord

Anhang/Appendix

Inhaltverzeichnis/Contents

Baltischer Eisschlüssel 1956–1981

Baltic Ice Code 1956–1981

Ostsee- Eisschlüssel (Gültig ab dem Winter 1981/82)

Baltic Sea Ice Code (valid from the winter of 1981/82)

Vergleich der Schlüsselzahlen/*Comparison of the ice figures*

Abhängigkeit der Eisdickenzunahme von der Kältesumme in der westlichen Ostsee

Cold sum dependence of ice thickness growth in the western Baltic Sea

Abhängigkeit der Eisdickenabnahme von der Wärmesumme in der westlichen Ostsee

Warm sum dependence of ice thickness reduction in the western Baltic Sea

Vergleich der ermittelten Eisdicken in dänischen Küstengewässern der Nordsee

Comparison of the determined ice thicknesses in the Danish coastal waters of the North Sea

Vergleich der Eisparameter für die deutsche Nordseeküste in verschiedenen Zeiträumen und Eisklassen

Comparison of the ice parameters for the German North Sea coast in different periods and ice classes

Schlüssel für die Meldungen der Eis- und Schifffahrtsverhältnisse

(Baltischer Eisschlüssel 1956–1981)

I Eisverhältnisse

- 0 Eisfrei
- 1 Neueis (Eiskristalle, Schnee- oder Eisbrei, Pfannkucheneis oder Eishaut)
- 2 Schwaches Küstenfesteis (5–15 cm) oder morsches Eis
- 3 Sehr lockeres bis lockeres Treibeis (höchstens 5/8 der Wasserfläche sind mit Eisschollen bedeckt)
- 4 Zusammengeschobener Eisbrei
- 5 Starkes Küstenfesteis (dicker als 15 cm)
- 6 Dichtes Treibeis (mehr als 5/8 der Wasserfläche sind mit Eisschollen bedeckt)
- 7 Sehr dichtes oder zusammenhängendes Eis
- 8 Zusammengeschobenes Eis, Packeis oder Felder mit grobem Eis
- 9 Offene Seerinne entlang der Küste
- X Keine Meldung

J Entwicklung der Eislage

- 0 Eislage verändert sich nicht
- 1 Eislage wird leichter
- 2 Eislage wird schwerer
- 3 Eis bricht auf
- 4 Eis zerstreut sich oder treibt ab
- 5 Eiszunahme
- 6 Eis friert zusammen
- 7 Eis treibt zu oder schiebt sich zusammen
- 8 Warnung vor Packeiswällen
- 9 Warnung vor Eispressung
- X Keine Meldung

K Schifffahrtsverhältnisse

- 0 Schifffahrt unbehindert
- 1 Schifffahrt unbehindert für Eisen- oder Stahlschiffe mit Maschinenkraft, für Holzschiffe ohne Eisschutz nicht ohne Gefahr
- 2 Ohne Eisbrecherhilfe ist die Fahrt für Schiffe mit geringer Maschinenkraft erschwert, für schwachgebaute Schiffe nicht ohne Gefahr
- 3 Ohne Eisbrecherhilfe ist Schifffahrt nur für starkgebaute Schiffe mit starker Maschinenkraft möglich
- 4 Eisbrecher unterstützen bei Bedarf die Schifffahrt
- 5 Schifffahrt in offener Rinne ohne Eisbrecherhilfe
- 6 Schifffahrt nur mit direkter Eisbrecherhilfe möglich
- 7 Nur eisverstärkte Schiffe erhalten Eisbrecherunterstützung
- 8 Schifffahrt vorläufig geschlossen
- 9 Schifffahrt hat aufgehört
- X Keine Meldung

Code Tables for Reporting Ice Conditions

(Baltic Ice Code 1956–1981)

I Ice conditions

- 0 Ice-free
- 1 New ice (frazil ice, slash or shuga, pancake ice or ice rind)
- 2 Thin fast ice (5–15 cm) or rotten ice
- 3 Very open to open drift ice (up to 5/8 of area are ice covered)
- 4 Compact shuga
- 5 Thick fast ice (thicker than 15 cm)
- 6 Close drift ice (more than 5/8 of area are ice covered)
- 7 Very close or consolidated drift ice
- 8 Compact ice, pack ice or drift ice fields with very thick ice floes
- 9 Open lead along the coast
- X Unknown

J Stage of ice development

- 0 Ice situation is unchanged
- 1 Ice situation is changing for the better
- 2 Ice situation is changing for the worse
- 3 Ice is breaking up
- 4 Ice is further loosening up or drifting away
- 5 Ice is increasing
- 6 Ice is freezing over
- 7 Ice is converging or compacting
- 8 Warning for the pack ice barriers
- 9 Warning for the ice ridging
- X Unknown

K Navigation conditions in ice

- 0 Navigation is unobstructed
- 1 Navigation is unobstructed for vessels built of iron or steel, dangerous for wooden vessels without ice sheathing
- 2 Navigation without icebreaker assistance is difficult for low-powered vessel, dangerous for small vessels
- 3 Navigation is possible only for high-powered vessels of strong construction
- 4 Ice breakers supports at need
- 5 Navigation proceeds in broken ice channel
- 6 Navigation is possible with icebreaker assistance only
- 7 Icebreaker assistance can only be given to vessels suitable for navigation in ice
- 8 Navigation is temporarily closed
- 9 Navigation has ceased
- X Unknown

Schlüssel für die Meldungen der Eis- und Schifffahrtsverhältnisse - A_B S_B T_B K_B

(Gültig ab dem Winter 1981/82)

A_B Menge und Anordnung des Meereises

0	Eisfrei	
1	Offenes Wasser	– Bedeckungsgrad kleiner 1/10
2	Sehr lockeres Eis	– Bedeckungsgrad 1/10 bis 3/10
3	Lockeres Eis	– Bedeckungsgrad 4/10 bis 6/10
4	Dichtes Eis	– Bedeckungsgrad 7/10 bis 8/10
5	Sehr dichtes Eis	– Bedeckungsgrad 9/10 bis 9+/10
6	Zusammengeschobenes/zusammenhängendes Eis	– Bedeckungsgrad 10/10
7	Eis außerhalb der Festeiskante	
8	Festeis	
9	Rinne in sehr dichtem oder zusammengeschobenem Eis oder entlang der Festeiskante	
/	Außerstande zu melden	

S_B Entwicklungszustand des Eises

0	Neueis oder dunkler Nilas	(weniger als 5 cm dick)
1	Heller Nilas oder Eishaut	(5 bis 10 cm dick)
2	Graues Eis	(10 bis 15 cm dick)
3	Grauweißes Eis	(15 bis 30 cm dick)
4	Weißes Eis, 1. Stadium	(30 bis 50 cm dick)
5	Weißes Eis, 2. Stadium	(50 bis 70 cm dick)
6	Mitteldickes erstjähriges Eis	(70 bis 120 cm dick)
7	Eis, das überwiegend dünner als 15 cm ist, mit etwas dickerem Eis	
8	Eis, das überwiegend 15 bis 30 cm dick ist, mit etwas dickerem Eis	
9	Eis, das überwiegend dicker als 30 cm ist, mit etwas dünnerem Eis	
/	Keine Information oder außerstande zu melden	

T_B Topographie oder Form des Eises

0	Pfannkucheneis, Eisbruchstücke, Trümmereis	– Durchmesser unter 20 m
1	Kleine Eisschollen	– Durchmesser 20 bis 100 m
2	Mittelgroße Eisschollen	– Durchmesser 100 bis 500 m
3	Große Eisschollen	– Durchmesser 500 bis 2 000 m
4	Sehr große oder riesig große Schollen oder ebenes Eis	– Durchmesser über 2 000 m
5	Übereinandergeschobenes Eis	
6	Kompakter Schneebruch oder kompakte Eisbrecklumpen oder kompaktes Trümmereis	
7	Aufgepresstes Eis (in Form von Hügeln oder Wällen)	
8	Schmelzwasserlöcher oder viele Pfützen auf dem Eis	
9	Morsches Eis	
/	Keine Information oder außerstande zu melden	

K_B Schifffahrtsverhältnisse im Eis

0	Schifffahrt unbehindert
1	Schifffahrt für Holzschiffe ohne Eisschutz schwierig oder gefährlich
2	Schifffahrt für nichteisverstärkte Schiffe oder für Stahlschiffe mit niedriger Maschinenleistung schwierig, für Holzschiffe sogar mit Eisschutz nicht ratsam
3	Schifffahrt ohne Eisbrecherhilfe ist nur für stark gebaute und für die Eisfahrt geeignete Schiffe mit hoher Maschinenleistung möglich
4	Schifffahrt verläuft in einer Rinne oder in einem aufgebrochenen Fahrwasser ohne Eisbrecherunterstützung
5	Eisbrecherunterstützung kann nur für die Eisfahrt geeigneten Schiffen von bestimmter Größe (tdw) gegeben werden
6	Eisbrecherunterstützung kann nur Schiffen von bestimmter Eisklasse und Größe (tdw) gegeben werden
7	Eisbrecherunterstützung kann nur nach Sondergenehmigung gegeben werden
8	Schifffahrt vorübergehend eingestellt
9	Schifffahrt hat aufgehört
/	Unbekannt

Code Tables for Reporting Ice Conditions – A_B S_B T_B K_B

(Valid from the winter of 1981/82)

A_B Amount and arrangements of sea ice

0	Ice-free	
1	Open water	– concentration less than 1/10
2	Very open ice	– concentration 1/10 to 3/10
3	Open ice	– concentration 4/10 to 6/10
4	Close ice	– concentration 7/10 to 8/10
5	Very close ice	– concentration 9/10 to 9+/10
6	Compact ice, including consolidated ice	– concentration 10/10
7	Fast ice with ice outside	
8	Fast ice	
9	Lead in very close or compact drift ice or along the fast ice edge	
/	Unable to report	

S_B Stage of ice development

0	New ice or dark nilas	(less than 5 cm thick)
1	Light nilas or ice rind	(5–10 cm thick)
2	Grey ice	(10–15 cm thick)
3	Grey-white ice	(15–30 cm thick)
4	White ice, first stage	(30–50 cm thick)
5	White ice, second stage	(50–70 cm thick)
6	Medium first year ice	(70–120 cm thick)
7	Ice predominantly thinner than 15 cm with some thicker ice	
8	Ice predominantly grey–white (15–30 cm thick) with some ice thicker than 30 cm	
9	Ice predominantly thicker than 30 cm with some thinner ice	
/	No information or unable to report	

T_B Topography or form of ice

0	Pancake ice, ice cakes, brash ice	– less than 20 m across
1	Small ice floes	– 20–100 m across
2	Medium ice floes	– 100–500 m across
3	Big ice floes	– 500–2 000 m across
4	Vast or giant ice floes or level ice	– more than 2 000 m across
5	Rafted ice	
6	Compacted slush or shuga, or compacted brash ice	
7	Hummocked or ridged ice	
8	Thaw holes or many puddles on the ice	
9	Rotten ice	
/	No information or unable to report	

K_B Navigation conditions in ice

0	Navigation unobstructed
1	Navigation difficult or dangerous for wooden vessels without ice sheathing
2	Navigation difficult for unstrengthened or low-powered vessels built on iron or steel Navigation for wooden vessels even with ice sheathing is not advisable
3	Navigation without icebreaker assistance possible only for high-powered vessels of strong construction and suitable for navigation in ice
4	Navigation proceeds in lead or broken ice-channel without the assistance of an icebreaker
5	Icebreaker assistance can only be given to vessels suitable for navigation in ice and of special size
6	Icebreaker assistance can only be given to vessels of special ice class and of special size
7	Icebreaker assistance can only be given to vessels after special permission
8	Navigation temporarily closed
9	Navigation has ceased
/	Unknown

Vergleich der Eisschlüssel/*Comparison of the ice codes*

Baltischer Eisschlüssel (1956–1981)

I J K

Ostsee-Eisschlüssel (1981–heute)

$A_B S_B T_B K_B$

Baltic Ice Code (1956–1981)

I J K

Baltic Sea Ice Code (1981–today)

$A_B S_B T_B K_B$

I =	$A_B =$	A (German Chart) Attribute Table
1 and K = 0 and J = 0, 1, 3, 4	<= 6/10	2
1 and K = 0 and J = 2, 5, 6, 7	<= 6/10	3
1 and K = 1	7–8/10	4
2	10/10	8
3 and K = 0 or 1	1–3/10	2
3 and K = 2	4–6/10	3
4 and K = 0, 1, 2	7–8/10	4
4 and K = 3	9–10/10	5
5	10/10	8
6	7–8/10	4
7	9–9+/10	5
8	10/10	8
9	9/10	5

Tabelle A-1: Eisbedeckungsgrad

Table A-1: Ice Concentration

I =	$S_B =$	A (German Chart) Attribute Table	
1	0	< 5 cm	
2 and K = 0, 1, 2	1	5–10 cm	
2 and K = 3	2	10–15 cm	
4 and K = 0	0	5 cm	
4 and K = 1	1	5–10 cm	
5 and K = 3	3	15–30 cm	
5 and K = 4 or 6	4	30–50 cm	
5 and K = 7 or 8 or 9	5	(30) 50–70 cm	
3	2, 3, 4, 5		Weather and ice conditions In the vicinity
6	2, 3, 4, 5		
7	2, 3, 4, 5		
8 and K = 4 or 6	4	30–50 cm	
8 and K = 7	5	50–70 cm	
9	2, 3, 4, 5		

Tabelle A-2: Eisdicke

Table A-2: Ice Thickness

Für die Beschreibung und Klassifizierung eines Eiswinters werden lückenlose Datensätze benötigt. Nach der im Eisdienst des BSH erarbeiteten Methodik, die unten beschrieben wird, kann man das Datum des ersten und des letzten Eisauftretens in einem Bereich bestimmen und die zunehmende oder abnehmende Eisdicke berechnen. Diese Methode wird im Eisdienst seit mehreren Jahren für die Berechnung der fehlenden Eisdicken genutzt, besonders gut funktioniert sie in abgeschlossenen Gewässern. Der Bedeckungsgrad oder die Topographie des Eises kann nicht bestimmt werden.

Die theoretisch gewonnenen Daten sind keine exakten Angaben und daher als Orientierungswerte zu betrachten. Für die geschlossenen (Stettiner Haff, Dänische Wiek, Vierendehlrinne) und halb-offenen (Greifswalder Bodden, Unterwarnow) Bereiche wird der Fehler für die Eintrittsdaten auf ± 5 Tage geschätzt. Die Standardabweichung bei den berechneten Eisdicken beträgt ± 3 cm bei ungestörtem Wachstum z. B. im Stettiner Haff und ± 10 cm in offeneren Bereichen, z. B. im Fahrwasserabschnitt Palmer Ort – Freesendorfer Haken.

Abhängigkeit der Eisdickenzunahme von der Kältesumme in der westlichen Ostsee/Cold sum dependence of ice thickness growth in the western Baltic Sea (Düskau, 2013)

Die Eisbildung tritt bekanntlich dann ein, wenn das Wasser bis zum Gefrierpunkt abgekühlt wird. Theoretisch kann die Eisdicke von der Gleichung, die den Wärmestrom durch das Eis beschreibt, abgeleitet werden. Bei der mathematischen Berechnung der Eisbildung und des Eiswachstums wird die Stefan-Methode (Wurzel-Gesetz) benutzt. Stefan hat bereits 1891 (Pounder, 1965) gezeigt, dass die Eisdickenzunahme im Wesentlichen von dem Wurzelwert der Kältesumme (KS, Summe der negativen Tagesmittel der Lufttemperatur) abhängt. Für dünnes Eis (bis 10 cm) liefert eine lineare Funktion bessere Resultate (Ashton, 1989). Für die Berechnung der Eisdicken im bestimmten Gebiet sind zahlreiche physikalische Größen notwendig, die praktisch nicht verfügbar sind. Durch einige Vereinfachungen und Einschränkungen kann der Eisdickenzuwachs (h) durch die empirische Gleichung $h=a + b \cdot KS^{1/2}$ beschrieben werden. Die Koeffizienten a und b sind für jeden einzelnen Bereich spezifisch und werden durch Anwendung der bekannten Daten ermittelt.

Als Basis der Untersuchung dienten die Tagesmittel der Lufttemperatur (Angaben der DWD) und die gemessenen oder geschätzten Eisdicken an den Eisbeobachtungsstationen. Für die Lufttemperaturen wurden die Messwerte der Stationen Greifswald, Schleswig, Rostock-Warnemünde

Description and classification of an ice winter requires uninterrupted data sets. Based on the methodology developed by the Ice Service of BSH and described below, it is possible to determine the date of the first and the last occurrence of ice in a given area and to calculate the increasing or decreasing ice thickness. The Ice Service has been using this method for several years for calculating missing ice thickness data; it works particularly well in secluded waters. It is not suitable for determining the ice concentration or the topography of the ice.

Theoretically obtained data is not exact and therefore must be regarded only as orientation values. For the closed (Szczecin Lagoon, Dänische Wiek, Vierendehlrinne) and semi-open (Bight of Greifswald, Lower Warnow) areas, the error margin for dates of first ice formation is estimated to be ± 5 days. The standard deviation for calculated ice thickness is ± 3 cm in the event of uninterrupted growth, for example, in the Szczecin Lagoon, and ± 10 cm in more open areas, for example, in the fairway section Palmer Ort – Freesendorfer Haken.

As is well known, ice formation occurs when water cools down to freezing point. Theoretically, ice thickness can be derived from the equation describing heat flow through the ice. The mathematical calculation of ice formation and ice growth uses the Stefan Method (root law). Stefan showed already in 1891 (Pounder, 1965) that ice thickness increase primarily depends on the root value of the cold sum (CS, sum of negative daily mean air temperatures). For thin ice (up to 10 cm), a linear function provides better results (Ashton, 1989). For calculating ice thickness in a given area, numerous physical values are necessary, which in practice are not available. With some simplification and limitations, ice thickness increase (h) can be described by the empiric equation $h=a + b \cdot CS^{1/2}$. The coefficients a and b are specific for each individual area and are obtained by application of the known data.

The study is based on daily mean air temperatures (DWD data) and the measured or estimated ice thickness at the respective ice observation stations. The measured data from the stations Greifswald, Schleswig, Rostock-Warnemünde and Arkona provided the air temperatures; the ice

und Arkona herangezogen, die Eisbeobachtungsstationen Kamminke, Dänische Wiek, Palmer Ort – Freesendorfer Haken, Vierendehlrinne, Wismar – Walfisch, Lübeck, Westermarkelsdorf, Kiel-Leuchtturm und Arkona lieferten die Messwerte der Eisdicken.

In normalen Wintern erfasst die theoretische Gleichung den Eiszuwachs bis zu den maximal erreichten Werten in einem Winter. In starken Eiswintern ist die Gültigkeit des Wurzel-Gesetzes auf die Beschreibung der Eisdickenwerte, die bis zur ersten längeren Tauwetterperiode erreicht wurden, beschränkt. Die Tauwetterabschnitte im Winter sind für unsere Breiten typisch, sie können von einigen Tagen bis zu einigen Wochen dauern und verursachen eine Stagnation im Eiszuwachprozess oder sogar die Abnahme der Eisdicken. In der darauf folgenden Frostperiode setzt sich die Eisentwicklung fort, aber der Eisdickenzuwachs ist nicht mehr durch die Ausgangsgleichung beschreibbar.

Es kann, besonders bei Seestationen, vorkommen, dass keine Eisdicken direkt gemessen wurden. In diesen Fällen wurde anhand der Kodeziffern des Ostsee-Eisschlüssels manuell eine Eisdicke eingetragen. Dazu gab es zwei Methoden: Zum einen wurde entsprechend der Kodeziffer ein Mittelwert der Eisdicke eingetragen (z. B. für 10–15 cm: 12,5). Da dabei aber nicht die steigende Kältesumme oder vorherige Eisdicken betrachtet wurden, gab es noch eine zweite Herangehensweise zum Nachtrag der Eisdicken. Dabei wurden die Eisdicken zwar auch der Kodeziffer entsprechend eingetragen, jedoch wurden steigende Kältesummen beachtet, sodass die Eisdicken stetig stiegen.

Zum Abschluss wurden die Ergebnisse der einzelnen Messstationen in einem Diagramm dargestellt. Hierbei stellte die y-Achse die Eisdicke dar und die x-Achse die Wurzel der Kältesumme. Die Quadratwurzel ist die beste Form die Problematik zu visualisieren.

Auch hier gab es wieder unterschiedliche Darstellungsmethoden. Einmal wurden nur die wirklich gemessenen Eisdicken dargestellt. In anderen Graphen flossen die gemessenen Werte und die gemittelten Werte mit ein. Bei der dritten Darstellung sind die gemessenen Werte und die manuell hinzugefügten Eisdicken enthalten, vgl. Beispiele in der Abb. A-1.

Letztlich wurde zu jeder der einzelnen Darstellungsmethoden der Korrelationskoeffizient ermittelt, um die Genauigkeit und die Verteilung der Messwerte genauer abschätzen zu können.

observation stations Kamminke, Dänische Wiek, Palmer Ort – Freesendorfer Haken, Vierendehlrinne, Wismar – Walfisch, Lübeck, Westermarkelsdorf, Kiel Lighthouse and Arkona provided measurement data for ice thickness.

In normal winters, the theoretical equation captures ice thickness increase up to the maximum values in one winter. In severe ice winters, the validity of the root law is limited to description of those ice thickness values, which were reached up until the first longer thaw period. Thaw periods during winter are typical of our latitudes. They can last several days to several weeks and cause stagnation in the ice increase process or even reduction of ice thickness. Ice development continues during the subsequent frost period, but ice thickness increase can no longer be described by the basic equation.

It can happen, especially in the case of sea stations, that no single ice thickness was measured directly. In these cases, ice thickness was entered manually, using the code numbers of the Baltic Sea Ice Code. This was done using two methods: for a start, corresponding to the code number, a mean value of ice thickness was entered (e. g. for 10–15 cm: 12.5). Yet since this does not take into account the increasing cold sum or previous ice thickness, another method was employed for supplementing ice thickness values. Again, ice thickness was entered according to code number, but under observation of increasing cold sums, so that ice thickness steadily increased.

Finally, the results of the individual measurement stations were illustrated in a graph. Here, the y-axis represents ice thickness and the x-axis represents the root of the cold sum. The square root is the best way to visualise the problem.

Here, too, various methods of illustration apply. One graph shows only the actually measured ice thickness values. Other graphs include both the measured and the averaged values. The third graph gives the measured values and the manually added ice thickness values (cf. examples in Fig. A-1).

Ultimately, the correlation coefficient for each of the individual illustration methods was calculated in order to arrive at a more precise estimation of accuracy and distribution of measured data.

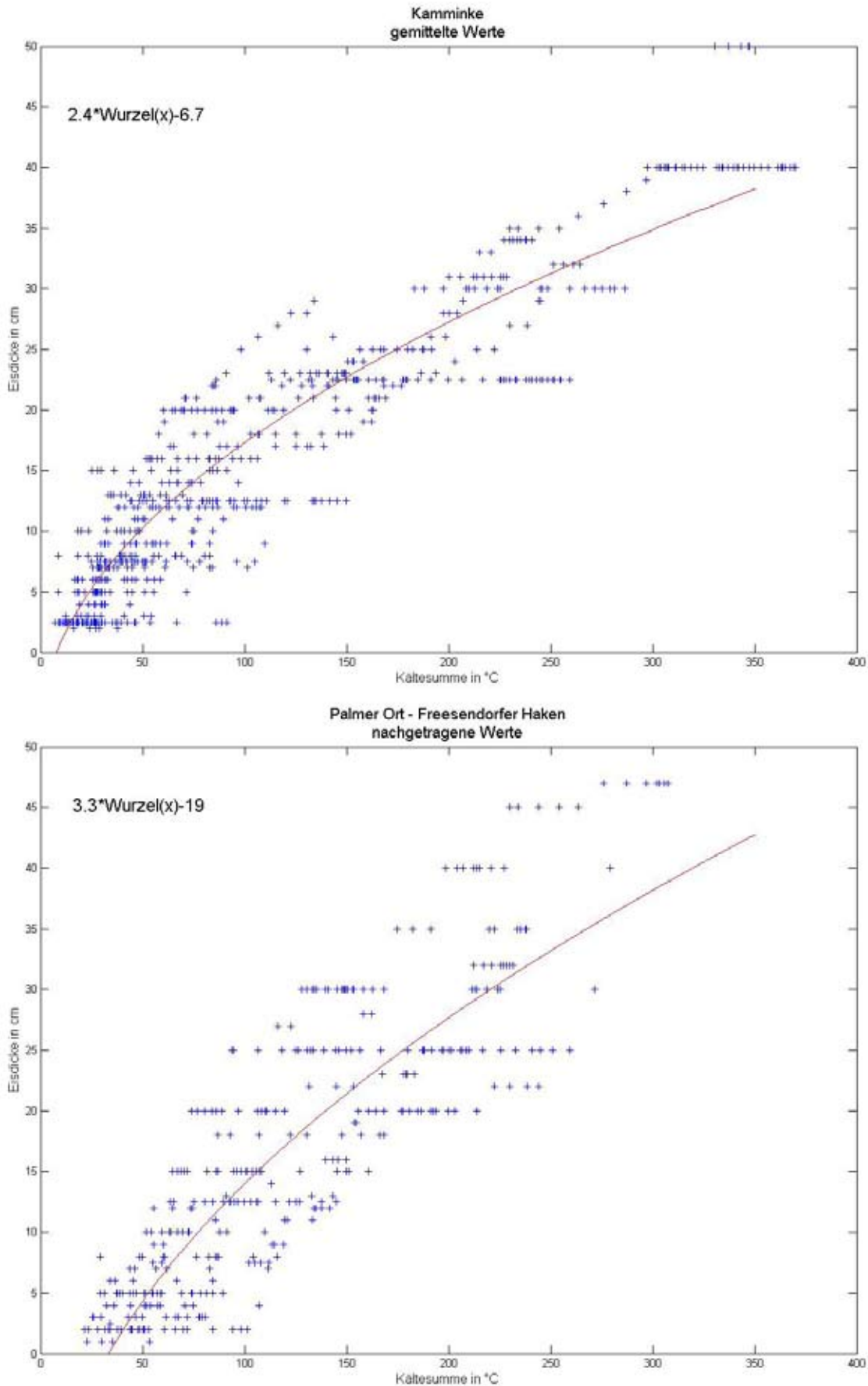


Abb. A-1: Abhängigkeit der Eisdicke von der Kältesumme im Stettiner Haff und im Greifswalder Bodden
Fig. A-1: Ice thickness as a function of cold sum in Szczecin Lagoon and the Bight of Greifswald

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass eine Vorhersage der Eisdicken bei Seestationen sehr viel schwieriger ist als bei Stationen, die in geschützten Bereichen liegen. Vor allem lässt sich bei den Seestationen eine starke Streuung der Messwerte erkennen, zumal hier nur sehr wenige Daten vorliegen. So kann es vorkommen, dass die Eisdicken trotz steigender Kältesumme abnehmen, was auch auf wechselnde Windverhältnisse zurückzuführen ist. Diesbezüglich ist auch zu erwähnen, dass in dieser Arbeit ausschließlich der Zusammenhang zwischen Eisdicke und Kältesumme bzw. Lufttemperatur betrachtet wurde, andere Einflüsse wie Wind oder Schneebedeckung wurden nicht berücksichtigt. In geschützten Bereichen sind durchaus lineare Zusammenhänge und verwertbare Ergebnisse vorhanden. Dabei steigt die Kurve zunächst steil an, die Steigung wird langsamer mit höherwerdenden Kältesummen. Die Streuung ist hier aufgrund sehr guter Messwerte und häufig auftretendem Eis nicht sehr groß. Die Werte der Kältesummen, die zur Eisbildung gebraucht werden, fallen hier sehr viel niedriger aus als bei den Seestationen. Allerdings kann es in Hafenstationen aufgrund des Schiffverkehrs dazu kommen, dass zur Eisbildung höhere Kältesummen notwendig sind als in schiffverkehrsfreien Gebieten. Außerdem kann festgestellt werden, dass der Anstieg des Graphen stärker ist, je später es zur Eisbildung kommt. Diese Tatsache ist vor allem bei Seestationen zu beobachten. Weiterhin sind die westlichen Gebiete länger eisfrei, was auf den Einfluss des wärmeren und salzreicheren Wassers der Nordsee zurückzuführen ist.

Bei der Auswertung der verschiedenen Darstellungsmethoden fiel auf, dass bei ausreichenden Messwerten eine Abweichung zwischen ausschließlich gemessenen Werten und nachträglich hinzugefügten Werten kaum bzw. gar nicht festzustellen ist. Anders ist es bei Seestationen mit wenigen Messwerten. Hier gibt es Abweichungen zwischen gemessenen, gemittelten und manuell hinzugefügten Werten. Dabei ist die Abweichung zwischen den gemessenen Werten und den manuell nachgetragenen jedoch nicht ganz so groß wie zwischen gemessenen und gemittelten Werten.

Principally, it can be said that prediction of ice thickness is far more difficult for sea stations than for stations located in sheltered areas. In particular, sea stations reveal a strong scattering of measured data, especially since only very sparse data is available here. It thus can happen that ice thickness decreases in spite of an increasing cold sum, which can be traced back also to changing wind conditions. In this context it must be mentioned also that this study exclusively focused on the correlation between ice thickness and cold sum or, rather, air temperature; other influences such as wind or snow coverage were not taken into consideration. Sheltered areas definitely display linear correlation and applicable results. Here, the upward curve is very steep initially and then the gradient slows down with increasing cold sums. Because of very good measured data and frequently occurring ice, scattering is not very high here. The cold sum values needed for ice formation are much lower here than in the case of sea stations. However, shipping traffic in harbour stations can necessitate higher cold sums for ice formation to occur than in areas free of shipping traffic. Moreover, it can be stated that the graph gradient is stronger the later ice forms. This fact can be observed in particular at sea stations. Also, the western regions remain ice-free for longer, which can be traced back to the influence of warmer and saltier water from the North Sea.

During evaluation of the various illustration methods, it was noted that, in the presence of sufficient measurement data, hardly any or no deviation at all can be discerned between strictly measured data and subsequently added data. This is not so in the case of sea stations with little measurement data. Here, there is deviation between measured, averaged and manually added values. However, deviation between measured and manually supplemented values is not quite as large as deviation between measured and averaged values.

	Kamminke (Stettiner Haff)	Dänische Wiek	Greifswalder Bodden	Lübeck – Travemünde	Kiel- Leuchtturm	Arkona, Seegebiet
a	-5.2	-7.4	-19	-20	-24	-21
b	2.3	2.4	3.3	3.3	3.2	3.3
Correlation Coefficient	0.92	0.91	0.88	0.89	0.77	0.75

Tabelle A-3: Koeffizienten der empirisch gefundenen Gleichung für die Bestimmung der Eisdicke (h) in Abhängigkeit von der Kältesumme (KS)

$$h = a + b \cdot \sqrt{KS}$$

Table A-3: Coefficients of the empirically found equation for determination of the ice thickness (h) as a function of the cold sum (CS)

$$h = a + b \cdot \sqrt{CS}$$

Abhängigkeit der Eisdickenabnahme von der Wärmesumme in der westlichen Ostsee/Warm sum dependence of ice thickness reduction in the western Baltic Sea

(Schmelzer und Holfort, 2014)

Die Abhängigkeit der Eisdicke von der Lufttemperatur in der Eisschmelzphase wurde für neun Bereiche der deutschen Ostseeküste analysiert. Die Bereiche umfassen sowohl innere, geschützt liegende Gewässer (Stettiner Haff, Dänische Wiek) als auch innere Fahrwasserabschnitte (Palmer Ort bis Freesendorfer Haken, Wismar bis Walfisch, Lübeck bis Travemünde) und offene Seebereiche bei Arkona, Kiel und Westermarkelsdorf. Die Datenreihen enthalten die gemessenen oder geschätzten Eisdicken aus dem Zeitraum 1981 – 2012 und Tagesmitteltemperaturen der Stationen Arkona, Greifswald, Warnemünde und Fehmarn im gleichen Zeitraum.

Fehlerquellen

1. Beschaffenheit der Daten:

Die gemessenen Eisdicken liegen nur für innere, geschützte Gewässer (Stettiner Haff, Dänische Wiek) vor. In den anderen Bereichen wird die Eisdicke gemäß dem Ostsee-Eisschlüssel in Intervallen < 5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm geschätzt.

Die Lufttemperaturen wurden nicht exakt an jeder betrachteten Eisbeobachtungsstation gemessen. Nur die Temperaturreihe von der Station Arkona wurde für die Anpassung der Eisdaten aus dem Seebereich vor Arkona verwendet. Die Temperaturreihe der Station Greifswald wurde für die Bereiche im Stettiner Haff und im Greifswalder Bodden, die Temperaturreihe der Station Rostock-Warnemünde für die Bereiche in der Wismarbuscht und in der Lübecker Buscht, die Temperaturreihe der Station Fehmarn für die Bereiche Westermarkelsdorf und Kiel-Leuchtturm benutzt.

Dependence of ice thickness on air temperature during the thaw period was analysed for nine areas of the German Baltic Sea coast. These areas comprise inner, sheltered waters (Szczecin Lagoon, Dänische Wiek) and inner fairway sections (Palmer Ort to Freesendorfer Haken, Wismar to Walfisch, Lübeck to Travemünde) as well as the open sea at Arkona, Kiel and Westermarkelsdorf. The data series contain the measured or estimated ice thickness values during the period 1981 to 2012 and the mean daily temperatures at the stations Arkona, Greifswald, Warnemünde and Fehmarn during the same period.

Sources of error

1. Data quality:

Measured ice thickness values are available only for inner, sheltered waters (Szczecin Lagoon, Dänische Wiek). In the other areas, ice thickness is estimated on the basis of the Baltic Sea Ice Code in intervals of < 5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm.

Air temperatures were not measured exactly at each of the analysed ice observation stations. Only the temperature series from the Arkona station was used for adapting the ice data for the sea off Arkona. The temperature series from the Greifswald station was used for the areas of Szczecin Lagoon and Bight of Greifswald; the temperature series from the Rostock-Warnemünde station was used for the areas in the Wismar Bight and in the Bay of Lübeck; the temperature series from the Fehmarn station was used for the areas Westermarkelsdorf and Kiel Lighthouse.

2. Auswahl der Daten

Entsprechend dem meteorologischen Charakter der Winter in unseren Breiten mit mehreren Kälte- und Tauwetterperioden kann ein Eiswinter aus mehreren Eisperioden bestehen, die durch eisfreie Zeiträume voneinander getrennt sein können. Die Daten der schwachen Eiswinter wurden nicht in die Analyse einbezogen, weil in diesen Eiswintern mehr Perioden ohne Eis als Eisdaten existieren. Für die inneren Gewässer wurden Daten der mäßigen und starken bis extrem starken Eiswinter analysiert. Dabei wurde nur die Abschmelzphase der längsten Eisperiode berücksichtigt. Im Seebereich bildet sich Eis nur in sehr starken und extrem starken Eiswintern. Das Eis ist ständig in Bewegung, es ist hauptsächlich von Wind, Strömungen und Wellenbewegungen abhängig. Diese Tatsache und die kleine Anzahl der Daten lassen die Abhängigkeit der Eisdicken von der Lufttemperatur für den Seebereich nur sehr grob einschätzen. Selten bleibt das Eis im Beobachtungsbereich bis zur völligen Schmelze durch Temperaturanstieg liegen, meistens verschwindet es durch Aufbruch und anschließendes Abtreiben aus dem Beobachtungsbereich oder der Tauprozess wird durch Regen, Wasserstandsschwankungen und stärkere Durchmischung der Wassersäule beschleunigt. Deshalb wurden die Datenpaare „Wärmesumme – Eisdicke = 0 cm“ nicht in die Berechnung einbezogen.

3. Ergebnisse

Es sollte die thermisch bedingte Abnahme der Eisdicke untersucht werden. Da beim Verschwinden des Eises dynamische Prozesse eine bedeutende Rolle spielen, insbesondere in offenen Seebereichen, konnte man nicht von Anfang an sagen, welche Gleichung den Schmelzprozess am besten beschreiben wird. Es wurden sechs verschiedene Gleichungen getestet:

$$h = a + b \cdot (WS), \quad h = a + b \cdot \sqrt{(WS)}, \quad h = a + b \cdot (WS) + c \cdot (WS)^2, \quad h = a + b \cdot (WS)^c, \quad h = a \cdot \exp(b \cdot WS), \quad h = a + b \cdot \ln(WS).$$

Trotz besseren Standardabweichungen der anderen getesteten Gleichungen kommt in unserem Fall nur die lineare Abhängigkeit in Frage. Erfahrungsgemäß schmilzt das Eis zum Beginn der Tauperiode langsamer als am Ende, wenn es bereits morsch und porös ist. Bei linearem Verlauf nimmt die Eisdicke gleichmäßig ab, bei anderen Gleichungen wird der Schmelzprozess langsamer.

2. Data selection:

Corresponding to the meteorological character of winters in our latitudes with several cold spells and thaw periods, an ice winter can consist of several ice periods, which can alternate with ice-free periods. Data from mild ice winters was not included in the analysis, because these ice winters feature more periods without ice than ice-related data. For inner waters, the data from moderate and severe to extremely severe ice winters was analysed. In doing so, only the thaw phase of the longest ice period was taken into consideration. On the open sea, ice forms only in very severe and extremely severe ice winters. The ice is in constant motion, predominantly dependent on wind, currents and wave motion. This fact and the small number of data allow for only a very rough estimate of ice thickness dependence on air temperature as regards the open sea regions. The ice in the observation area rarely remains on site until total thawing by temperature increase; it usually disappears by breaking up and subsequent drift away from the observation area or thawing is accelerated by rain, fluctuations in the water level and stronger mixing of the water column. Therefore, the data pairs "warm sum – ice thickness = 0 cm" were not included in the analysis.

3. Results

The aim was to investigate the thermally caused decrease of ice thickness. Since dynamic processes play a significant part in the disappearance of ice, especially in open sea regions, it was not possible to say from the outset which equation would best describe the thawing process. Six different equations were tested:

In spite of improved standard deviations of the other tested equations, only the linear function is suitable in our case. Experience has shown that the ice melts more slowly at the beginning of the thawing period than at the end, when it is already rotten and porous. In a linear trend, ice thickness decreases evenly, whereas in other equations the melting process slows down.

	Kamminke (Stettiner Haff)	Dänische Wiek	Greifswalder Bodden	Lübeck – Travemünde	Kiel- Leuchtturm	Arkona, Seegebiet
a	26.46	27.5	34.37	21	18.5	25.26
b	-0.25	-0.30	-0.57	-0.69	-1.91	-0.92
Correlation Coefficient	0.71	0.66	0.81	0.68	0.60	0.71

Tabelle A-4: Koeffizienten der empirisch gefundenen Gleichung für die Bestimmung der Eis-dicke (h) in Abhängigkeit von der Wärmesumme (WS) $h = a + b \cdot (WS)$

Table A-4: Coefficients of the empirically found equation for determining ice thickness (h) as a function of the warm sum (WS) $h = a + b \cdot (WS)$

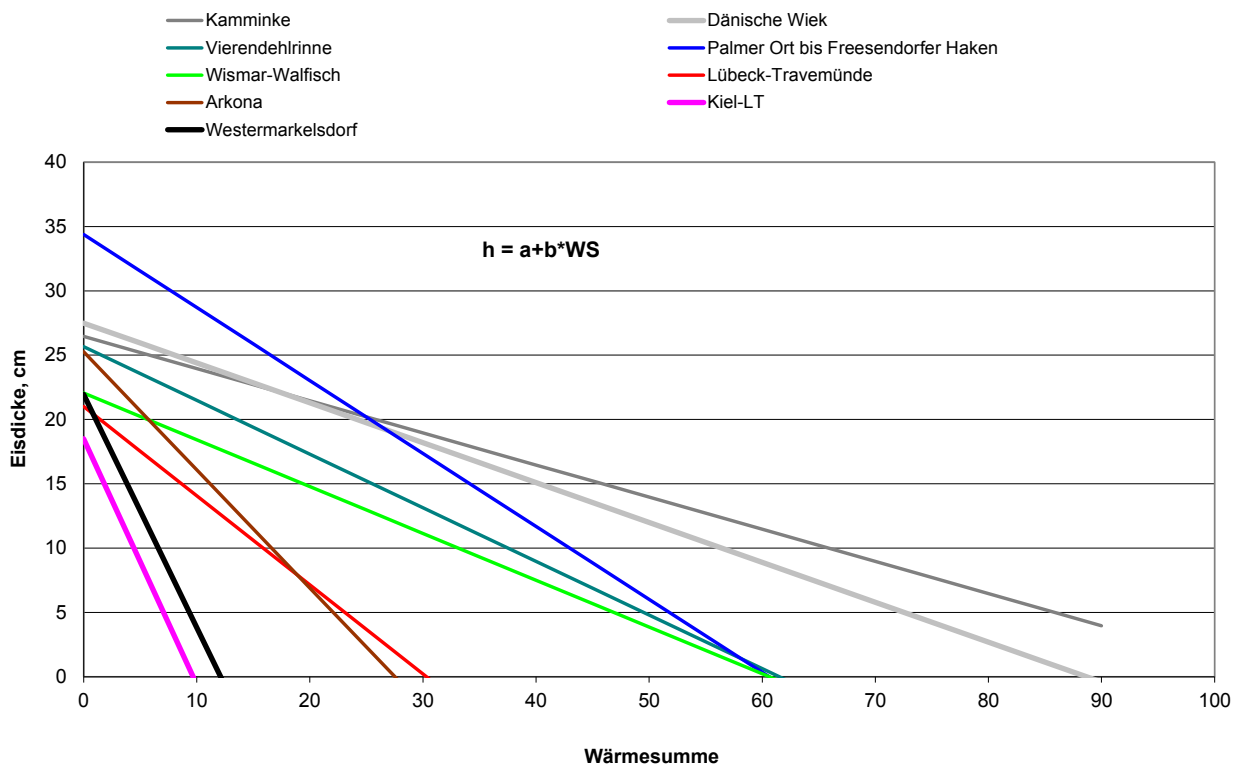


Abb. A-2: Vergleich der linearen Abhängigkeit der Eisdicke von der Wärmesumme für neun Stationen an der deutschen Ostseeküste

Fig. A-2: Comparison of ice thickness as a linear function of the warm sum for nine stations at the German Baltic Sea coast

Vergleich der ermittelten Eisdicken in dänischen Küstengewässern der Nordsee Comparison of the determined ice thicknesses in the Danish coastal waters of the North Sea

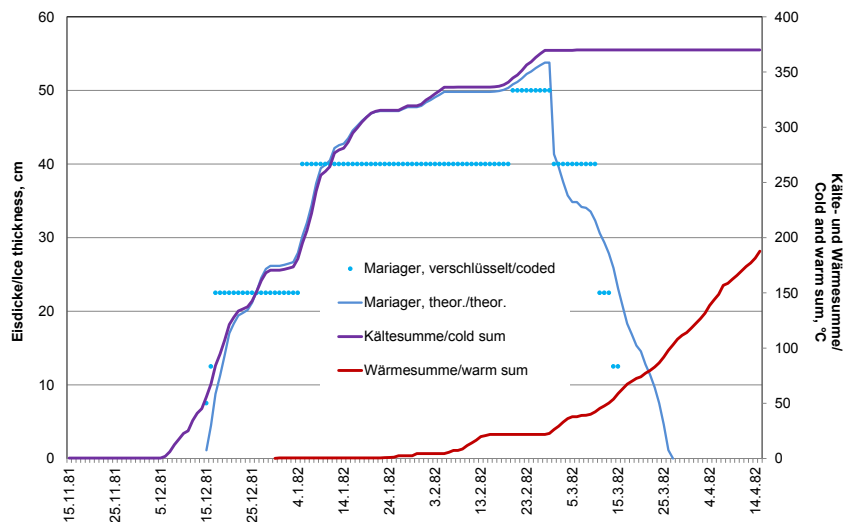


Abb. A-3. Vergleich der gemeldeten und berechneten Eisdicken für die Station Mariager im Winter 1981/82. Die Kälte- und Wärmesummen wurden aus den Temperaturangaben der Station Ålborg (Laursen, 2004) ermittelt.

Fig. A-3: Comparison of observed and calculated values of the ice thickness for the station Mariager in the winter of 1981/82. The cold and warm sums were determined from the air temperatures of station Ålborg (Laursen, 2004)

Station	Gemessene maximale Eisdicke	Empirisch gefundene maximale Eisdicke
Station	Measured maximum ice thickness	Empirically found maximum ice thickness
Eiswinter/Ice winter of 1964/65		
Ringkøbing	12 cm	10 cm
Skive, Fjord to Lundøhage	15 cm	13 cm
Livø, Bredning	9 cm	7.3 cm
Eiswinter/Ice winter of 1968/69		
Ringkøbing	21 cm	28 cm
Lemvig	15 cm	18 cm
Struer, Venø Sund	14 cm	18 cm
Thisted, Feggesund	20 cm	19 cm
Skive, Fjord to Lundøhage	25 cm	22 cm
Livø, Bredning	18 cm	15 cm
Eiswinter/Ice winter of 1978/79		
Ringkøbing	40 cm	41 cm
Lemvig	40 cm	34 cm
Livø, Bredning	40 cm	31 cm

Tabelle A-5. Vergleich der gemessenen und theoretisch berechneten maximalen Eisdicken für einige Beobachtungstationen im Limfjord

Table A-5: Comparison of the measured and theoretically calculated maximum ice thicknesses for some monitoring stations in Limfjord

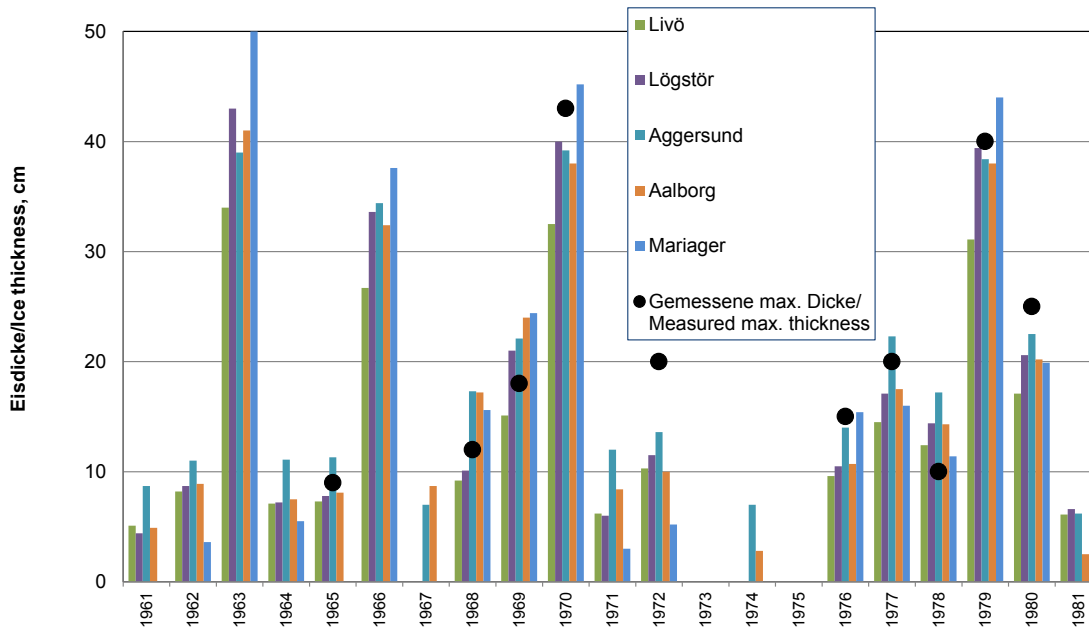


Abb. A-4: Vergleich der gemessenen und theoretisch berechneten maximalen Eisdicken für einige Beobachtungstationen im Limfjord

Fig. A-4: Comparison of the measured and theoretically calculated maximum ice thicknesses for some monitoring stations in Limfjord

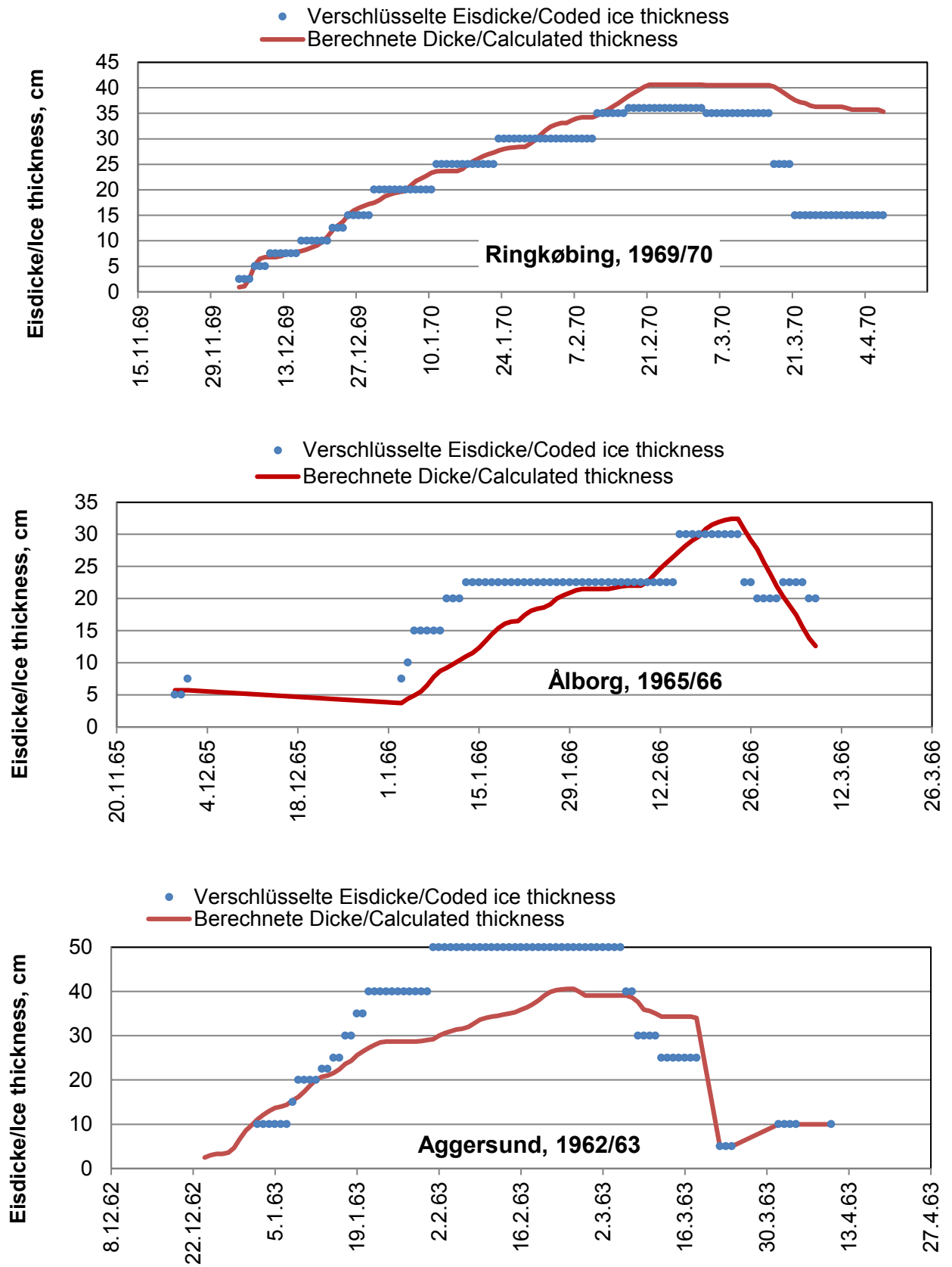


Abb. A-5: Einige Beispiele für die gemeldeten und berechneten Eisdicken
 Fig. A-5: Some examples for the observed and calculated values of the ice thicknesses

Vergleich der Eisparameter für die deutsche Nordseeküste in verschiedenen Zeiträumen und Eisklassen/Comparison of the ice parameters for the German North Sea coast in different periods and ice classes

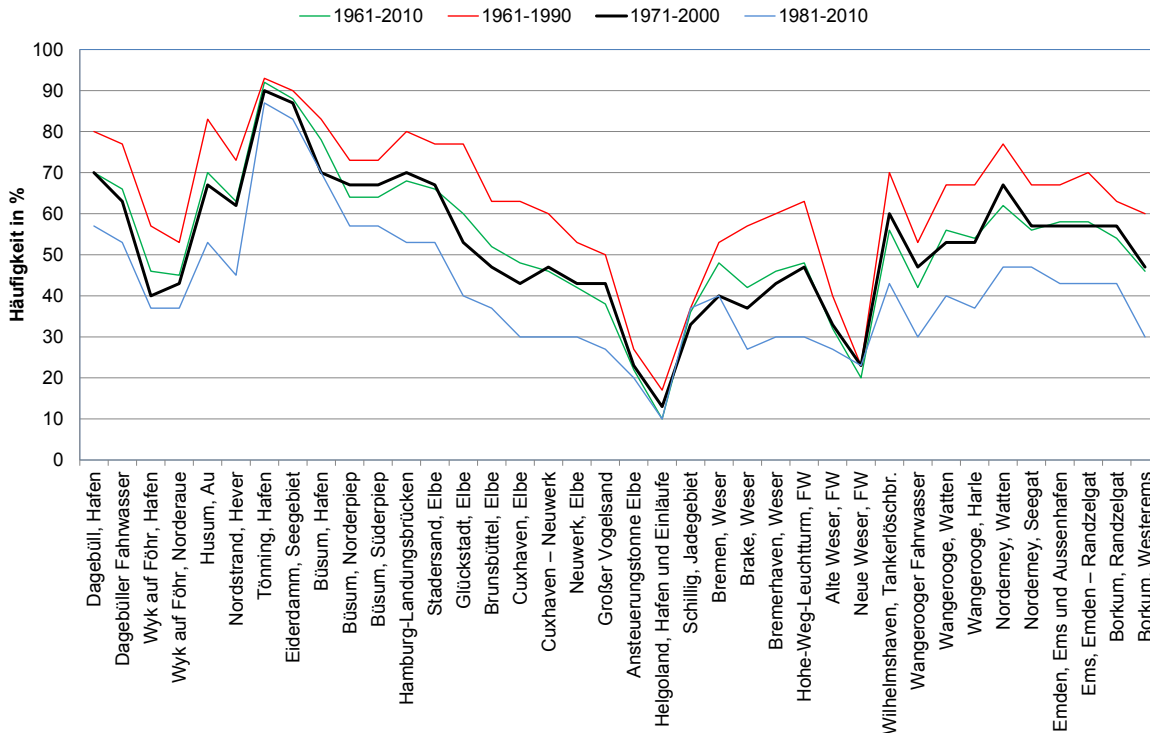


Abb. A-6: Vergleich der Häufigkeiten des Eisauftretens in verschiedenen Zeiträumen
 Fig. A-6: Comparison of the frequencies of ice occurrence in different periods

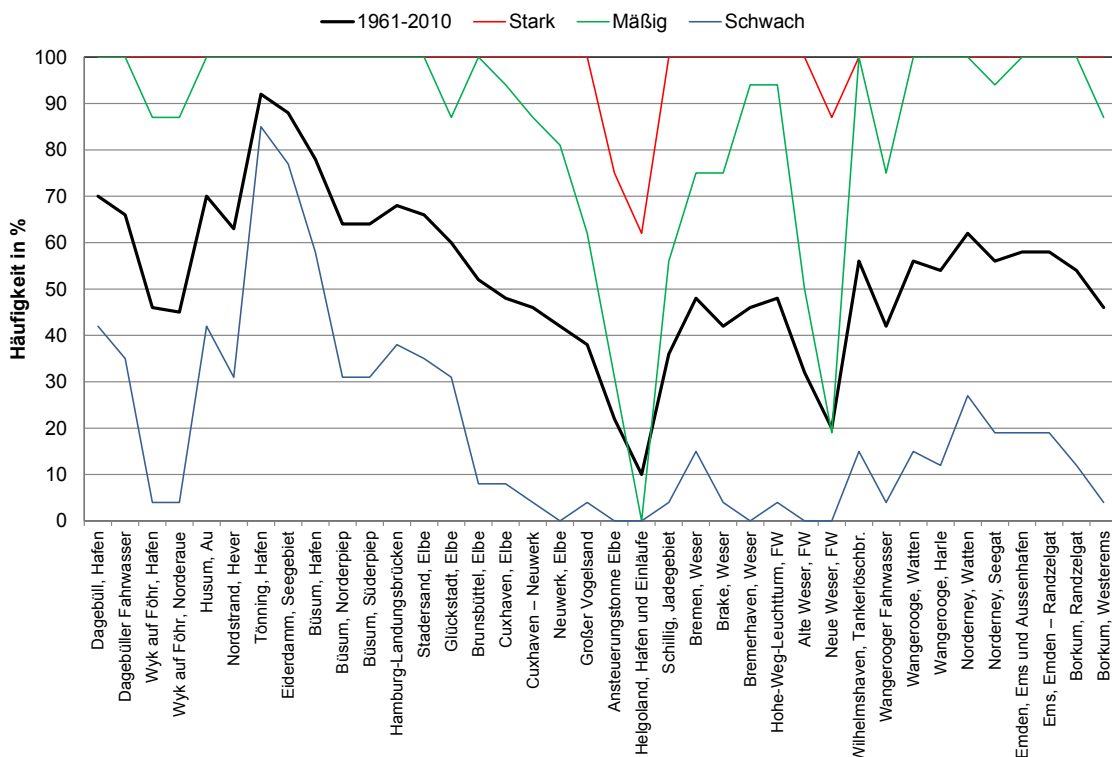


Abb. A-7: Vergleich der Häufigkeiten des Eisauftretens in verschiedenen Eiswinterklassen
 Fig. A-7: Comparison of the frequencies of ice occurrence in different ice winter classes

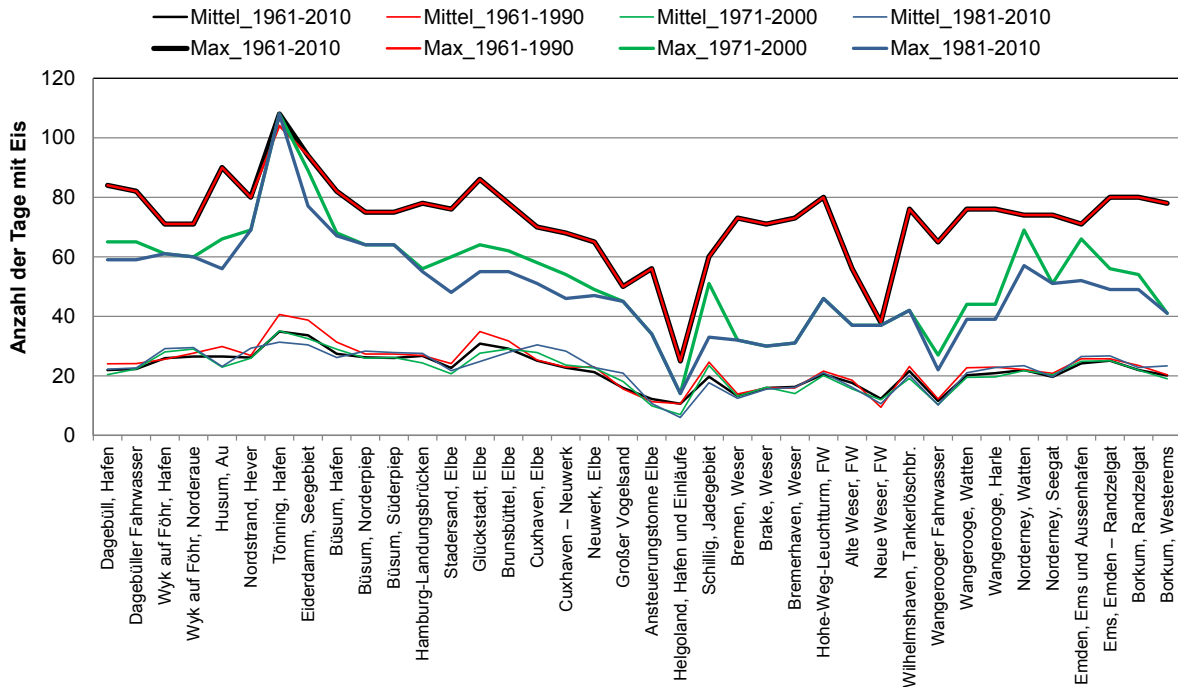


Abb. A-8: Vergleich der Anzahl der Tage mit Eis in verschiedenen Zeiträumen
 Fig. A-8: Comparison of the number of days with ice in different ice periods

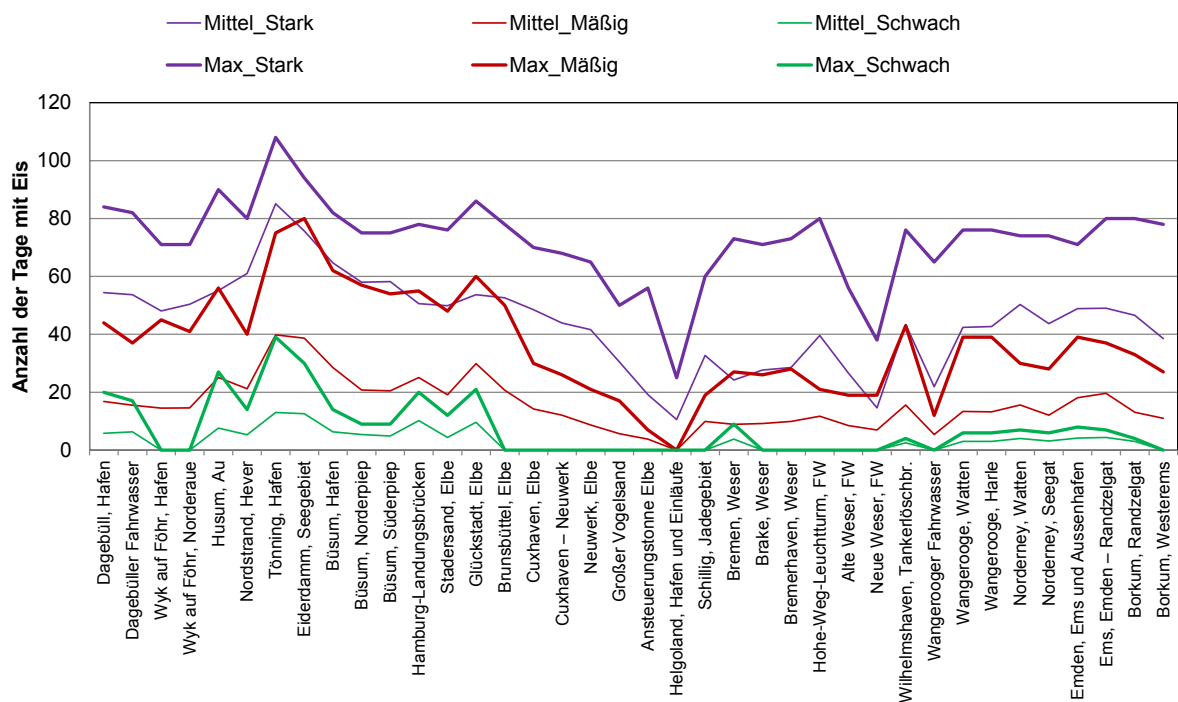


Abb. A-9: Vergleich der Anzahl der Tage mit Eis in verschiedenen Eisklassen
 Fig. A-9: Comparison of the number of days with ice in different ice classes

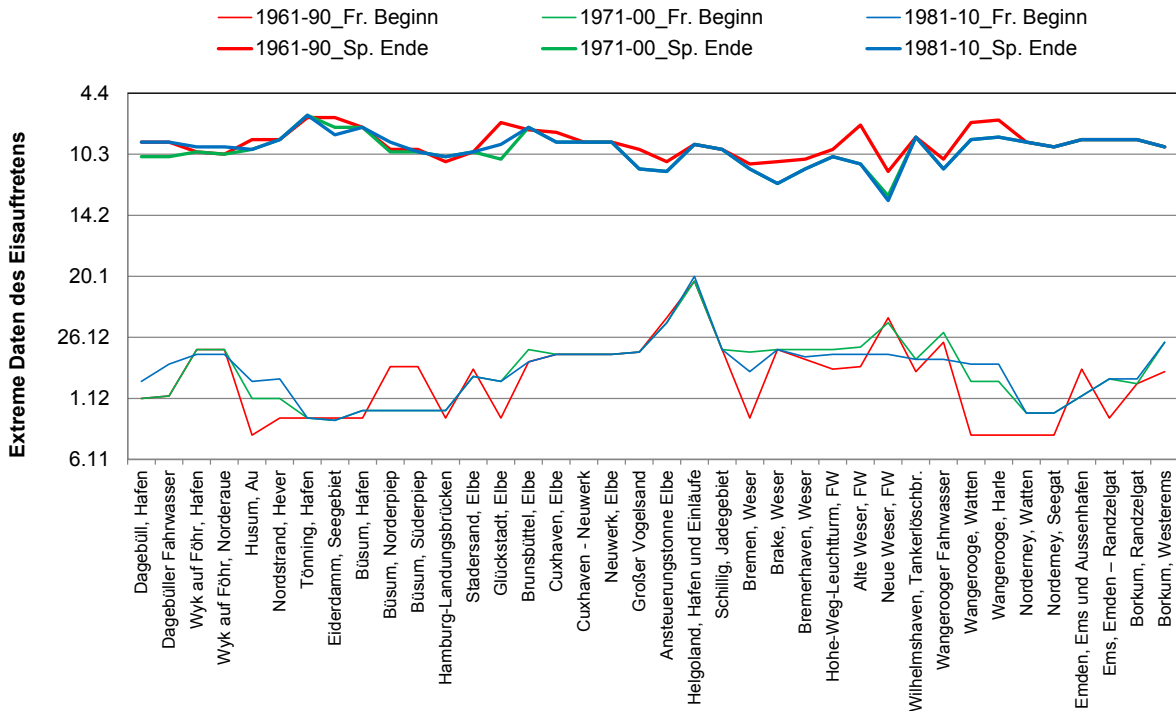


Abb. A-10: Vergleich der mittleren Daten des Eisauftritts in verschiedenen Zeiträumen
 Fig. A-10: Comparison of the median dates of the ice occurrence in different periods

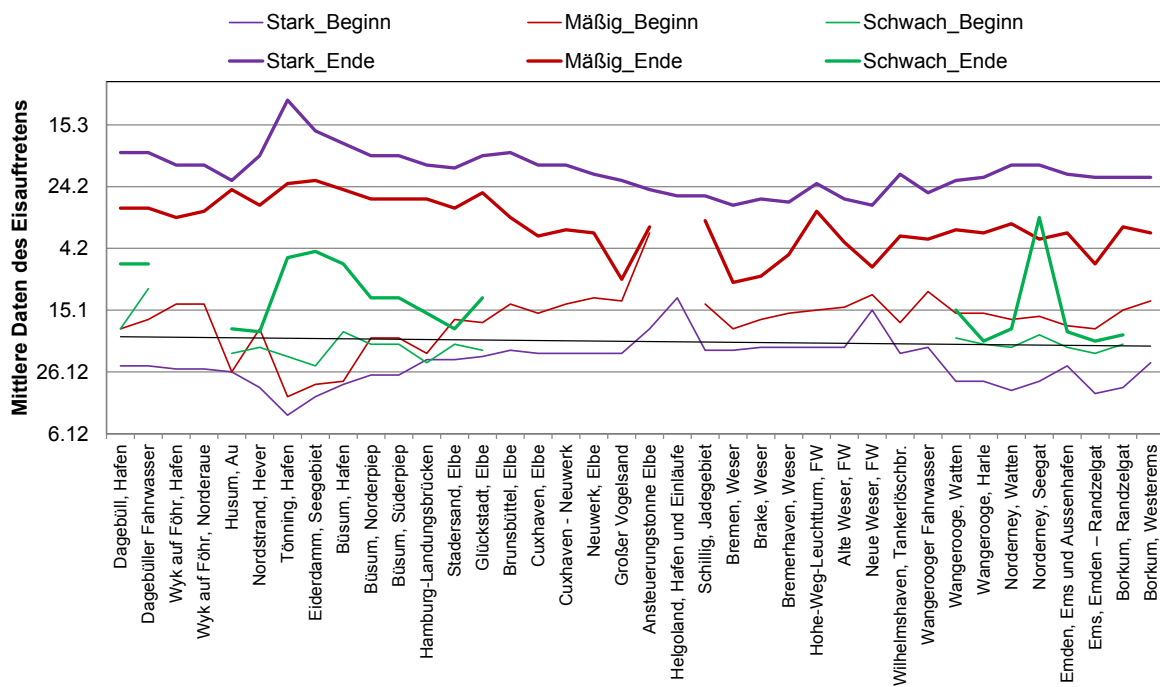


Abb. A-11: Vergleich der mittleren Daten des Eisauftritts in verschiedenen Eisklassen
 Fig. A-11: Comparison of the median dates of the ice occurrence in different ice classes

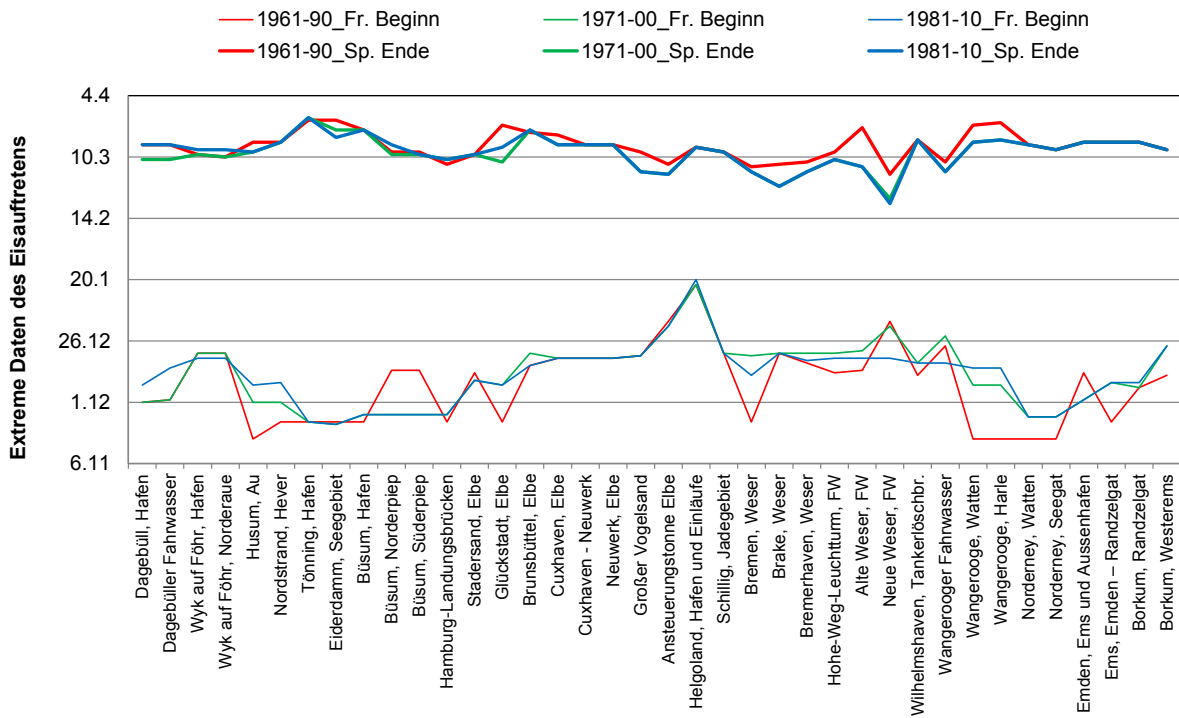


Abb. A-12: Vergleich der extremen Daten des Eisauftritts in verschiedenen Zeiträumen
 Fig. A-12: Comparison of the extreme dates of the ice occurrence in different periods

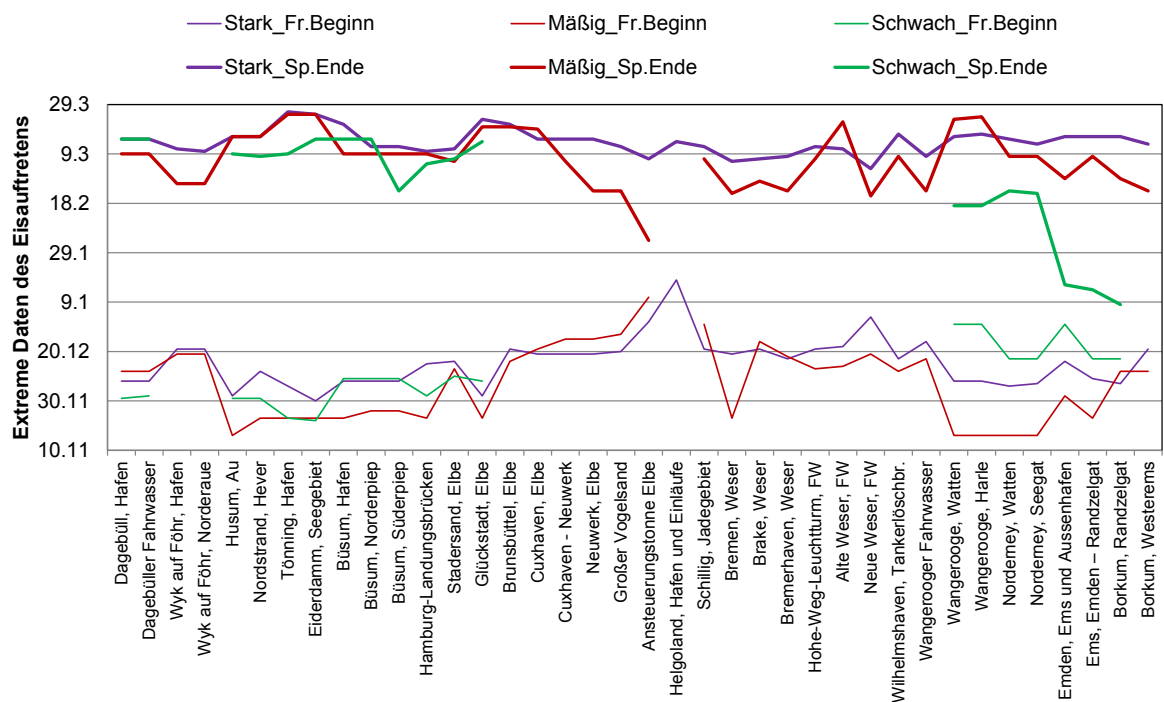


Abb. A-13: Vergleich der extremen Daten des Eisauftritts in verschiedenen Eisklassen
 Fig. A-13: Comparison of the extreme dates of the ice occurrence in different ice classes

