

5.5 Das Eis in der Nord- und Ostsee

NATALIJA SCHMELZER & JÜRGEN HOLFORT

***Das Eis in der Nord- und Ostsee:** Die Eisbildung in beiden Meeren ist ein jährlich wiederkehrender Prozess. Das Eisvorkommen und die produzierte Eismenge hängen größtenteils von meteorologischen, ozeanographischen und hydrographischen Bedingungen ab, so vereisen verschiedene Bereiche der Nord- und Ostsee unterschiedlich. Die Kenntnis der Eisverhältnisse in der Nord- und Ostsee spielt für die Schifffahrt eine sehr große Rolle, diese Tatsache spiegelt sich in Existenz langer Eisbeobachtungsreihen und rekonstruierter Eisdaten wider. Für ein besseres Verständnis der Eisregime in beiden Meeren und seiner Änderungen werden die Eiswinter mit vergleichbaren Merkmalen in 5 Klassen (sehr schwache, schwache, mäßige, starke und sehr starke) zusammengefasst. Es existieren verschiedene Methoden für die Klassifizierung der Eiswinter, aber jede von ihnen zeigt Abnahme der starken bis sehr starken Eiswinter seit dem Ende der 1980er Jahre bei gleichzeitiger Zunahme der schwachen Eiswinter. Ist das ein nicht umkehrbarer oder ein periodischer Prozess? Die Analyse der langzeitigen Schwankungen der Eiswinterstärken in der westlichen Ostsee, die rückwirkend bis 1301 rekonstruiert wurden, kann helfen, die Änderungen des Eisverhaltens, d.h. auch des Klimas, zu verstehen.*

***Ice in the North and Baltic Seas:** Ice formation in both seas is an annually recurring process. Ice occurrence and ice extent depend largely on meteorological, oceanographic, and hydrographic conditions, thus coining the typical ice conditions of the different areas of the North and Baltic Seas. The essential importance of ice occurrence to navigation in the North and Baltic Seas is reflected in the long series of recorded and reconstructed ice data. In order to better understand the ice regime in the Seas and its changes in the past, the ice winters with similar characteristics are merged in 5 ice winter classes: very weak, weak, moderate, strong, and very strong to extremely strong. There are different methods of ice winter classification, but each of them shows the decrease of strong to extremely strong ice winters since the end of the 80s by increase of the weak ice winters at the same time. Here the question arises immediately: Is it a unique or periodic process? The study of long-term variations of ice winter severities in the western Baltic Sea, reconstructed back to 1301, may help to understand the changes in the ice regime viz. in the climate.*

Die Nord- und Ostsee sind Nebenmeere des Atlantischen Ozeans. Die Küsten der beiden Meere sind seit Ende der letzten Eiszeit mehr oder weniger dicht besiedelt, so dass das Eis der Nord- und Ostsee im Winterhalbjahr schon lange in großem Maße das Leben der Küstenbewohner beeinflusst. Eine besonders große Rolle spielt die Kenntnis der Eisverhältnisse in den Häfen und Fahrwassern für die Schifffahrt; diese Tatsache spiegelt sich in der Existenz langer Eisbeobachtungsreihen rund um die Nord- und Ostsee wider. Die Beobachtungsreihen sind über 100 Jahren lang für die Küstenstationen (z.B. Sankt Petersburg seit 1706, Helsinki seit 1829, Travemünde und Darßer Ort seit 1879) und für die regulären Beobachtungen außerhalb der Küsten (z.B. Kronstadt-Leuchtturm seit 1814, Sörve-Leuchtturm seit 1865). Zurzeit existieren etwa 500 Beobachtungspunkte rund um die Ostsee und ca. 115 an den Küsten der Deutschen Bucht. Die hundertjährigen Reihen aus systematischen Beobachtungen an einer Vielzahl von Küstenstationen und mehrere hundert Jahre zurück reichende indirekte historische Informationen über Eisvorkommen und Schifffahrtsverhältnisse geben wertvolle Aufschlüsse über die Veränderlichkeit der Eisverhältnisse von Jahr zu Jahr und über eventuelle periodische Schwankungen des Eisvorkommens. Das Beobachtungsmaterial wird seit dem Ende der 1970-er Jahre ergänzt und deutlich verbessert durch Informationen, die in den zunehmend zur Verfügung stehenden Satellitendaten enthalten sind.

Die Eisbeobachtungsdaten in beiden Meeren wur-

den bereits zusammenfassend analysiert und in mehreren Arbeiten veröffentlicht (JEVREJEVA et al. 2002, 2004, BACC 2008, 2015, FEISTEL et al. 2008, SCHMELZER et al. 2012, NOSCCA 2015, SCHMELZER & HOLFORT 2015 u.a.).

Normale und extreme Eisverhältnisse in der Nord- und Ostsee

Der alljährlich wiederkehrende Vereisungsprozess ist eine der charakteristischen Eigenschaften der Nord- und Ostsee. Das Vorkommen und die Ausdehnung des Meereises sind eng mit den klimatischen Bedingungen in den betrachteten Regionen verbunden. Die verschiedenen Bereiche der Nord- und Ostsee liegen in unterschiedlichen klimatischen Zonen: Im nördlichsten Teil der Ostsee herrscht das kontinentale Klima vor, der größte Teil der Ostsee liegt in der warmgemäßigten Klimazone (PEEL et al. 2007). So vereisen verschiedene Teile der Ostsee, abhängig von der Nord-Süd- oder West-Ost-Ausstreckung, unterschiedlich. Da die Nordsee an drei Seiten vom Land umgeben ist, kann man auch hier nicht allgemein von einem reinen Seeklima sprechen; in den südlichen und südöstlichen Abschnitten machen sich die kontinentalen Einflüsse bemerkbar, Abb. 5.5-1.

Während in der Bottenwiek, im östlichen Finnischen Meerbusen und im nördlichen Rigaischen Meerbusen in jedem Winter mit Eis zu rechnen ist, vereisen die übrigen Regionen der Nord- und Ostsee nicht regelmäßig. Im Herbst und Winter überwiegen in Mitteleuropa Großwetterlagen mit westlichen Winden, die

die milden atlantischen Luftmassen heranführen und das Wasser im Seebereich nicht nennenswert abkühlen. Ost-Wetterlagen, besonders die stationären großräumigen Hochdruckgebiete über Nordskandinavien und dem Europäischen Nordmeer kühlen dagegen in dieser Jahreszeit das Wasser rasch ab. Umfang und Dauer der Eisbedeckung in der westlichen und südlichen Ostsee, im Kattegat, im Skagerrak und in der Nordsee hängen auch von der Anzahl, der Stärke und der Länge der Kälteperioden ab. Entsprechend dem meteorologischen Charakter eines Winters in kontinentalgemäßem Klima wechseln sich in dessen Einflussbereich die Frostperioden mit Tauwetterperioden ab. Der Eiswinter ist dadurch nicht nur durch eine Eisperiode gekennzeichnet, sondern durch mehrere; dazwischen können große Teile der Küsten ganz eisfrei werden. Die Bildung und flächenhafte Ausdehnung des Eises hängt aber nicht

nur von den Luft- und Wassertemperaturen ab. Der Salzgehalt des Oberflächenwassers, Wind, Strömungen und Wasserstandsschwankungen in der Ostsee oder Gezeiten in der Nordsee spielen bei der Eisbildung eine unterschiedliche, aber nicht geringe Rolle. Auch die anhaltenden Schneefälle, die die Abkühlung der Wasseroberfläche beschleunigen, tragen häufig zu einer verstärkten und großräumigen Eisbedeckung auf See bei.

Die Gesamtheit aller Faktoren bestimmen die Eisbildung und Eisentwicklung in verschiedenen Bereichen der Nord- und Ostsee

Im **BOTTNISCHEN MEERBUSEN** tritt in jedem Jahr, unabhängig von der Strenge der einzelnen Winter, Eis auf. Bei der großen Nord-Süd-Erstreckung des Meerbusens ergeben sich allerdings für die einzelnen Gebiete erhebliche Unterschiede sowohl in der räumlichen als auch in der zeitlichen Eisbedeckung.

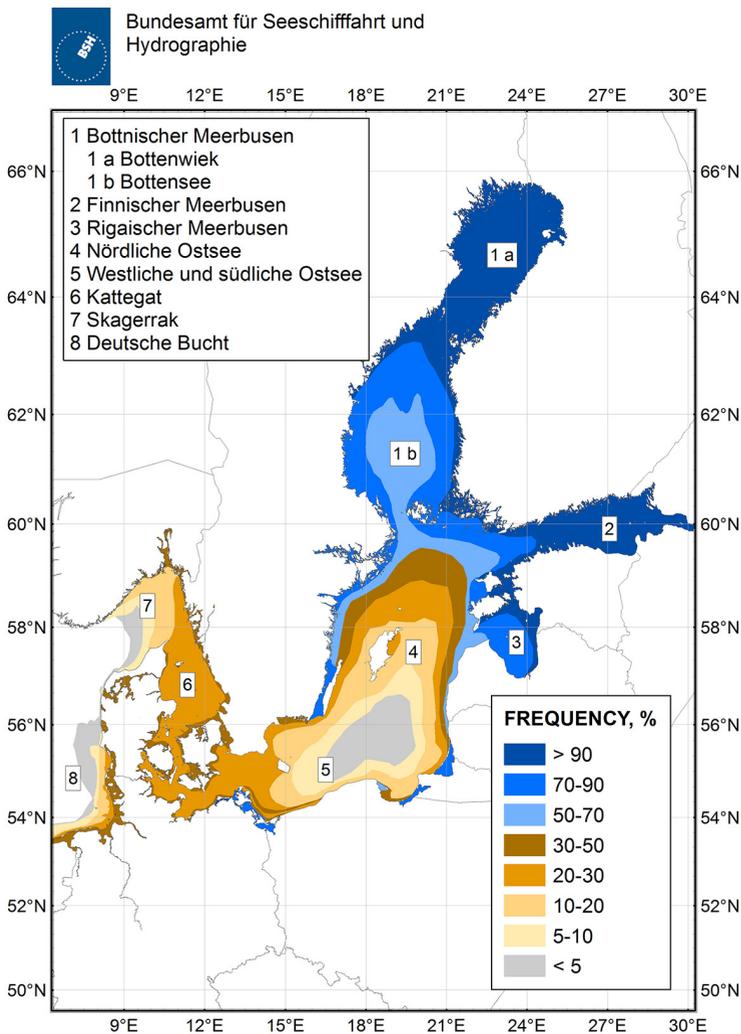


Abb. 5.5-1: Häufigkeit des Eisauftretens in der Nord- und Ostsee im Zeitraum 1961-2010.

An der Nordküste der Bottenwiek beginnt im Mittel die erste Eisbildung bereits um den 15. November, schwankt aber zwischen der letzten Dekade des Oktobers und der zweiten Dekade des Dezembers. An der Südküste tritt das erste Eis etwa 10 Tage später auf. Während sich im Schärenbereich der Festeissaum ausbildet, bleibt die See im Allgemeinen noch eisfrei. Bei anhaltender Kälte nimmt das Küstenfesteis an Dicke zu, während sich auf See die ersten Eisschollen bilden, die im Verlauf des Winters zeitweise zu großen, zusammenhängenden Eisfeldern zusammenfrieren können. Das Eis auf See ist immer in Bewegung: Bei stärkeren Winden wird es aufgebrochen und zusammengepresst oder auseinandergeschoben. Bei Nachlassen des Winddrucks friert alles wieder zusammen. Nach der Ausbildung des Küstenfesteises in der Bottenwiek schiebt sich der Festeissaum über Norra Kvarken in die Bottensee vor. Im Mittel ist er Ende Januar bis zum Süden der Bottensee vorgedrungen. Ist die gesamte Breite des Schärenürtels mit Küstenfesteis bedeckt, dann nimmt das Festeis nur noch an Dicke zu. Im langjährigen Durchschnitt setzt Ende Februar Eisbildung auf See ein. In besonders kalten Wintern ist im März und April die ganze Bottensee mit 20-60 cm dickem zusammengefrorenen Treibeis bedeckt, in dem zahlreiche Gebiete mit Presseisrücken und Presseishügeln vorkommen. In milden Wintern bleibt die offene See in der Bottensee vollkommen eisfrei. Der Eisrückgang in der Bottensee beginnt im Mittel in den letzten Märztagen, im Schärengebiet der südlichen Bottensee verschwindet das letzte Eis Mitte April. Nach Norden zu ist die Vereisung etwa 14 Tage später beendet, so dass im Mittel Ende April im Bereich der Bottensee die Küsten eisfrei sind. Nur in sehr kalten Wintern kann im Mai noch Eis auf See und in den nördlichen Schärengebieten der Bottensee angetroffen werden. Für die Bottenwiek ist es charakteristisch, dass die Küstengewässer früher eisfrei werden als die offene See. Bei Einsetzen des Tauwetters im Frühjahr erfolgt die Erwärmung des Landes und der Küstengebiete viel rascher als die der eisbedeckten See. So wird das Festeis des Schärenürtels von der Landseite angegriffen, noch ehe der Schmelzprozess auf See eingesetzt hat. Normalerweise wird die Eissaison in der Bottenwiek in der Zeit um den 25. Mai beendet. In einigen Wintern können einzelne grobe Eisschollen oder Eisblöcke im zentralen Bereich der Bottenwiek noch Anfang Juni treiben, wie z. B. im Winter 1996/97, andererseits war Eis in mehreren milden Eiswintern bereits Mitte Mai verschwunden. Die Eisdicken des Schärenfesteises erreichen in normalen Wintern Werte zwischen 40 und 75 cm, in sehr kalten Wintern werden an der Nordküste Dicken von 70 und 100 cm gemessen. Im Seebereich der Bottenwiek kann gleichzeitig

Eis unterschiedlicher Arten vorkommen, und die Dicke von einigen Zentimeter (Neueisarten) bis 3-5 m (Presseisrücken) variieren.

Im **FINNISCHEN MEERBUSEN** hängt die großräumige Vereisung nicht nur von der Dauer und Intensität der Kälteperioden ab, sondern auch von dem Austausch der Wassermassen zwischen dem kalten Finnischen Meerbusen und der wärmeren Ostsee. In milden Wintern beschränkt sich die Vereisung auf die finnischen Schärengebiete und das gesamte Gebiet östlich von Gogland, im schwächsten Eiswinter der letzten Zeit 2007/08 trat das Eis nur in den Buchten auf. In normalen Wintern kommen größere Treibeisgebiete auch westlich von Gogland vor, die sich zeitweise auf den ganzen westlichen Teil des Finnischen Meerbusens erstrecken. Nur in sehr kalten Wintern liegt im gesamten Meerbusen eine zusammenhängende Eisdecke, die im mittleren und östlichen Teil sehr stark sein kann. Die Eisbildung beginnt im Finnischen Meerbusen in seinem östlichen Teil. In einem normalen Winter bedecken sich von Ende November bis Mitte Dezember die Flachwassergebiete der Vyborg- und Kronstadt Bucht mit Festeis, und von der dritten Dezemberdekade ab bis Mitte Januar greift die Vereisung auf das ganze Seegebiet bis Gogland über. Ende Dezember erfasst die Eisbildung den westlichen Teil des finnischen Schärengebiets. Bis Anfang Januar bleibt die Vereisung auf das innere Schärengebiet beschränkt; sie dehnt sich erst danach auf das äußere Schärengebiet aus. Erst im Januar beginnt auch in den östlichen Buchten der Südküste die Ausbildung des Festeissaumes. Außerhalb der Schären bildet sich normalerweise Treibeis, das dem Einfluss des Windes und der Meeresströmung unterliegt. Im Februar hat das Treibeis auf See meistens so weit zugenommen, dass mit Ausnahme des südwestlichen Teils der ganze Meerbusen mit Treibeisgebieten bedeckt ist. Im Seegebiet östlich von Gogland ist das Scholleneis zu einer unbeweglichen zusammenhängenden Eisdecke zusammengefroren. In einem kalten Winter friert auch das Treibeis im Meerbusen westlich von Gogland zusammen, wobei das Eis häufig Pressungen ausgesetzt ist. Die Eisentwicklung erreicht im Finnischen Meerbusen im Mittel Anfang März ihren Höhepunkt, etwa in der zweiten Hälfte des Monats setzt der Eisrückgang ein. Die Abnahme des Eises beginnt im südwestlichen Teil des Meerbusens, durchschnittlich wird in der ersten und zweiten Aprildekade die See westlich von Gogland eisfrei, wobei der Zeitpunkt großen Schwankungen unterliegt. Das Festeis der finnischen Schärengebiete sowie der Vyborg- und Kronstadt Bucht löst sich im Durchschnitt in der dritten Aprildekade auf. In sehr kalten Wintern wurde westlich von Gogland auch noch in der ersten Maidekade und östlich von Gogland in der

zweiten Maidekade altes aufgepresstes Eis beobachtet. In milden Wintern wird der Finnischen Meerbusen bereits Mitte April eisfrei. Die Dicken des Festeseises erreichen in normalen Wintern Werte zwischen 20 und 60 cm, in sehr kalten Wintern bis 70 cm. Das dickere Eis tritt im östlichen Teil auf.

Im **RIGAISCHEN MEERBUSEN** wird die Eisbildung durch das kontinentale Klima und durch die von der Ostsee ziemlich abgeschlossene Lage des Meerbusens begünstigt. In normalen Wintern beginnt die Eisbildung Ende November bzw. Anfang Dezember in der flachen Pärnu Bucht und im Moonsund. Da diese Gebiete vom Austausch mit dem Ostseewasser weitgehend ausgeschlossen sind, geht die Vereisung verhältnismäßig schnell und ohne wesentliche Störungen vor sich. Bei anhaltender Kälte bildet sich zwei Wochen später eine feste Eisdecke, die sich innerhalb weniger Tage von der Küste weit seawärts ausdehnt und dicker wird. Die Festeisdecke verändert sich im Verlauf des Winters wenig. Nach der frühzeitigen Vereisung der Pärnu Bucht und der angrenzenden Küstengebiete setzt Anfang Januar im nordöstlichen Teil des Rigaischen Meerbusens die Eisbildung auf offener See ein. Etwa Mitte Januar ist im nordwestlichen Teil mit dem ersten Eisaufreten zu rechnen und gegen Ende des Monats kann im gesamten Seegebiet des Meerbusens Treibeis und Eisbrei erwartet werden. Zurzeit des Höchststandes der Vereisung, gewöhnlich Anfang März, sind Moonsund und die Pärnu Bucht mit 40-45 cm dickem Festeis bedeckt, und an den übrigen Küsten liegt ein Festeis aus unterschiedlicher Breite und Dicke. Auf See ist 10-20 cm dickes Treibeis vorhanden, wobei in der Mitte des Meerbusens über der tiefsten Stelle verhältnismäßig wenig Eis vorkommt. In sehr kalten Wintern wird das ganze Seegebiet mit zusammengefrorenem starken Scholleneis bedeckt, in dem stellenweise bis zu 5 m hohe Presseisrücken auftreten. Erst langsamer, später rascher Eisrückgang setzt Mitte März ein und macht sich Anfang April in den südlichen und westlichen Abschnitten bemerkbar. Der nordöstliche Teil des Meerbusens wird im Allgemeinen in der dritten Aprildekade eisfrei. In sehr kalten Wintern löst sich in den Fahrwassern nach Riga und Pärnu in der ersten Maidekade das letzte Eis auf. In besonders kalten Wintern wurden in der Pärnu Bucht Eisdicken bis zu 80 cm registriert. In milden Wintern beschränkt sich die Eisbildung auf den Moonsund und auf die Pärnu Bucht.

Im Bereich der **NÖRDLICHEN OSTSEE** (zwischen 60° und 56° N) nehmen die Eisverhältnisse eine Mittelstellung zwischen denen der südlichen Ostsee und dem Bottnischen Meerbusen ein. Einerseits kommt in den Schären und geschützt liegenden Buchten in jedem Winter zu einer mehr oder weniger starken Eisbe-

deckung. Andererseits weist der Seebereich nicht den regelmäßigen Vereisungsgang auf, den der Bottnische Meerbusen besitzt. Eine durchgehende und lang andauernde Vereisungsperiode kommt nur in kalten Wintern vor. Wesentlich häufiger sind mehrere, in geringen Zeitabständen aufeinanderfolgende kürzere Eisperioden, in denen sich die Eisbedeckung im Allgemeinen auf das Küstengebiet beschränkt. Das erste Eis in den inneren Schärengebieten ist erst Mitte Januar zu erwarten, in den äußeren Schärengebieten kommt es erst zu Beginn des Februars zur Eisbildung. Für die nördliche Ostsee ist im Allgemeinen der Februar der kälteste Monat. Da der Höhepunkt der Vereisung ein wenig später als das Kältemaximum eintritt, ist im Schärengebiet das Maximum der Vereisung Ende Februar/ Anfang März zu erwarten. Zu dieser Zeit ist in einem normalen Winter das ganze Schärengebiet mit Eis bedeckt, Festeis in den inneren Teilen, Treibeis in dem äußeren Schärenbereich. Auf offener See bildet sich nur in kalten Wintern Eis, und zwar sehr spät, frühestens Ende Februar, meist erst im März. In der Mehrzahl der Fälle bleibt das Eis auf den nördlichen Teil beschränkt. Nur in sehr kalten Wintern, wie zuletzt 1986/87, bedeckt sich fast die ganze Ostsee mit Eis. Nördlich von 59° N kann im März Eis auftreten, das mit östlichen oder nordöstlichen Winden aus dem Finnischen Meerbusen oder aus dem südlichen Bottnischen Meerbusen zugetrieben ist. In der zweiten Märzhälfte nimmt die Sonnenstrahlung so zu, dass kein nennenswertes Eis mehr entstehen kann. Die beginnende Eisschmelze macht sich durch langsames Morschwerden des Eises bemerkbar. Der Eiswinter endet für die unmittelbar dem Schärengebiet vorgelagerte See im Mittel um den 22. März. Die Zeit der Eisschmelze im Schärengebiet fällt normalerweise in den Beginn des Aprils. In sehr kalten Wintern werden die See und die Schären vier Wochen später eisfrei.

In der **OSTSEE SÜDLICH VON 56°N** vereisen in normalen Wintern nur die flachen Buchten und Haffs vollständig, die wegen ihrer ziemlich abgeschlossenen Lage keinen nennenswerten Wasseraustausch mit der wärmeren See haben. In geringerem Maß bildet sich auch an den Außenküsten Eis, vor allem vor der Ostküste Rügens und vor Usedom. In kalten Wintern tritt auch auf See der Kieler und Mecklenburger Bucht sowie im Fehmarnbelt Eis auf, das zum grauen Eis (Eisdicke 10-15 cm) anwachsen kann, sein Bedeckungsgrad beträgt großflächig gewöhnlich weniger als 6/10 der Wasseroberfläche. In sehr kalten Wintern vereist die Ostsee westlich von Bornholm vollständig, und vor der baltischen und schwedischen Küste tritt in einem breiten Streifen hauptsächlich dichtes bis sehr dichtes Treibeis (Bedeckungsgrad mehr als 7/10) auf. Es besteht überwiegend aus 30-50 cm dickem Eis. In extrem kalten

Wintern wird auch im Seegebiet zwischen Bornholm und der baltischen Küste der wegen seiner großen Tiefe recht erhebliche Wärmeverrat des Wassers verbraucht, so dass sich auch dort eine geschlossene Eisdecke ausbilden kann. Dieser sehr seltene Vereisungszustand wurde seit dem Winter 1946/47 nicht mehr erreicht.

Im **SKAGERRAK** und **KATTEGAT** bildet sich in normalen Wintern nur in den flachen Buchten und geschützt liegenden Küstenbereichen Eis, das Seegebiet bleibt eisfrei. Im Kattegat kommt in kalten Wintern auch auf See westlich der Linie Skagen – Insel Læsø Eis vor, das im Anfangsstadium aus Schnee- und Pfannkucheneis besteht. Bei anhaltender Kälte bilden sich 10-15 cm dicke Schollen, die großflächig gewöhnlich weniger als 6/10 der Wasseroberfläche bedecken. In sehr kalten Wintern vereist die See vollständig; das Eis ist zur Zeit der maximalen Eisbedeckung 30-50 cm dick. In sehr kalten Wintern treten von Januar bis Anfang März auch im nördlichen Skagerrak Treibeisfelder von unterschiedlichem Bedeckungsgrad auf, deren Driftgeschwindigkeit und Bewegungsrichtung hauptsächlich durch den Wind bestimmt werden. Das Eis kann zum Teil aus dem Kattegat stammen.

In der **DEUTSCHEN BUCHT** hängt die Entwicklung der Eisverhältnisse neben den meteorologischen Faktoren auch von den Gezeiten, von der Wassertiefe und von der morphologischen Großgliederung der Deutschen Bucht in offene See, Wattenmeere und Zuflüsse ab. 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 kalten bis extrem kalten Wintern Eis, so wie z. B. im Winter 1995/96. In mäßigen Eiswintern beschränkt sich die Eisbildung auf Wattenbereiche und auf die inneren Bereiche der Nordseezuflüsse. Der offene Teil der Deutschen Bucht bleibt in meisten Wintern 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.

Die Eisbildung in Wattenbereichen beginnt im langjährigen Durchschnitt in der ersten Januardekade. Außerhalb der Watten tritt das erste Eis am häufigsten in der zweiten und dritten Januardekade auf. In den inneren Wattengebieten bildet sich vorwiegend Festeis oder zusammenhängendes/zusammengeschobenes Eis, in den äußeren Wattengebieten hauptsächlich Scholleneis und Eisbrei, die durch Wind- und Gezeitenwirkung in Bewegung gehalten werden. Bei westlichen Winden und auflaufendem Wasser wird das Eis gegen die Küste getrieben und dort übereinandergeschoben

oder aufgepresst. Die Dicke des ebenen Eises erreicht in den meisten Wintern maximal 10-15 cm, in kalten Wintern 15-30 cm und in sehr kalten Wintern zeitweise auch 30-50 cm. Am häufigsten sind die höheren Eisdickenkategorien im Februar und Anfang März zu erwarten. Charakteristisch für den Tideeinfluss auf den Wattflächen ist es jedoch, dass das anfangs noch ebene Eis dort zusammen- und übereinandergeschoben und meterhoch aufgepresst wird. Es ist dort auch mit etwa 1 bis 3 m dicken Eisblöcken aus zusammengefrorenen Eisbruchstücken zu rechnen, besonders in Wintern mit länger andauernden Frostperioden. Tauwetter verursacht im ganzen Nordseeküstengebiet einen raschen Eisrückgang. Im Zusammenhang mit den westlichen Winden dringt wärmeres und salzhaltigeres Nordseewasser in das Küstengebiet ein und beschleunigt den durch meteorologische Einflüsse begonnenen Abschmelzvorgang des Eises. Gewöhnlich schmilzt das Eis im Nordseeküstengebiet bis Ende Februar ab. In sehr kalten Wintern, in denen das Maximum der Vereisung erst Mitte Februar erreicht wird, lösen sich die letzten Eisreste Ende März auf.

Schwankungen des Eisvorkommens in der Nord- und Ostsee

Trotz der großen saisonalen und klimatischen Unterschiede gibt es Eiswinter, die vergleichbare Merkmale aufweisen und in eine Klasse zusammengefasst werden können. Der finnische Eisdienst benutzt für die Klassifizierung der Stärke eines Eiswinters die rekonstruierten oder berechneten Daten der jährlichen maximalen Eisausdehnung der Ostsee (SEINÄ & PALOSUO 1996). Diese Datenreihe erfasst den Zeitraum von 1720 bis heute. Je nach Größe der Eisausdehnung werden die Eiswinter in 5 Klassen unterteilt: sehr schwache, schwache, mäßige, starke und sehr starke Eiswinter. Im Eisdienst des BSH (SCHMELZER & HOLFORT 2014) wurde das jährliche maximale Eisvolumen für die ganze Ostsee berechnet. Das Eisvolumen ist ein besseres Maß für Beschreibung der Stärke eines Eiswinters, da es nicht nur die Eisausdehnung sondern auch die Eisdicke berücksichtigt. Allerdings ist die Eisvolumenreihe nur etwas über 40 Jahre lang, da zuverlässige Angaben der Eisdicke erst ab 1973 vorliegen. Die beiden Größen variieren von Winter zu Winter erheblich: im Winter 1986/87 war die Ostsee fast vollständig mit Eis bedeckt (405.000 km²), und im Winter 2007/08 waren es nur 12% der Fläche (49.000 km²). Ähnlich verhält sich das maximale Eisvolumen, allerdings wurde die geringste Eismasse im Winter 1991/92 und nicht in 2007/08 produziert. Abgesehen von drei extrem milden Wintern zum Beginn der 1970er und der 1990er Jahre verhalten sich die beiden Größen konform: mit steigender Aus-

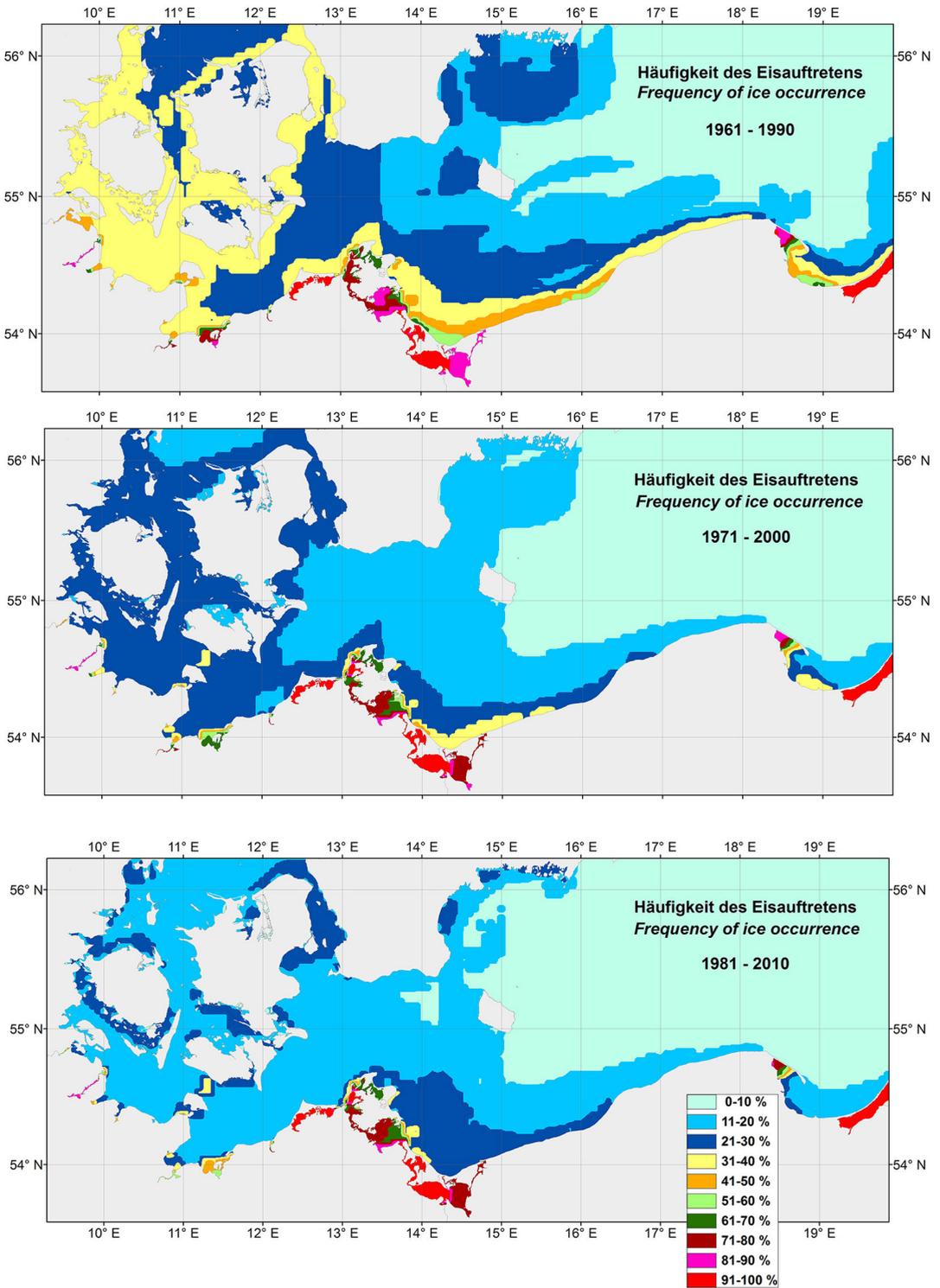


Abb. 5.5-2a: Häufigkeit des Eisauftretens in den 30-jährigen Zeiträumen 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010 in der westlichen und südlichen Ostsee.

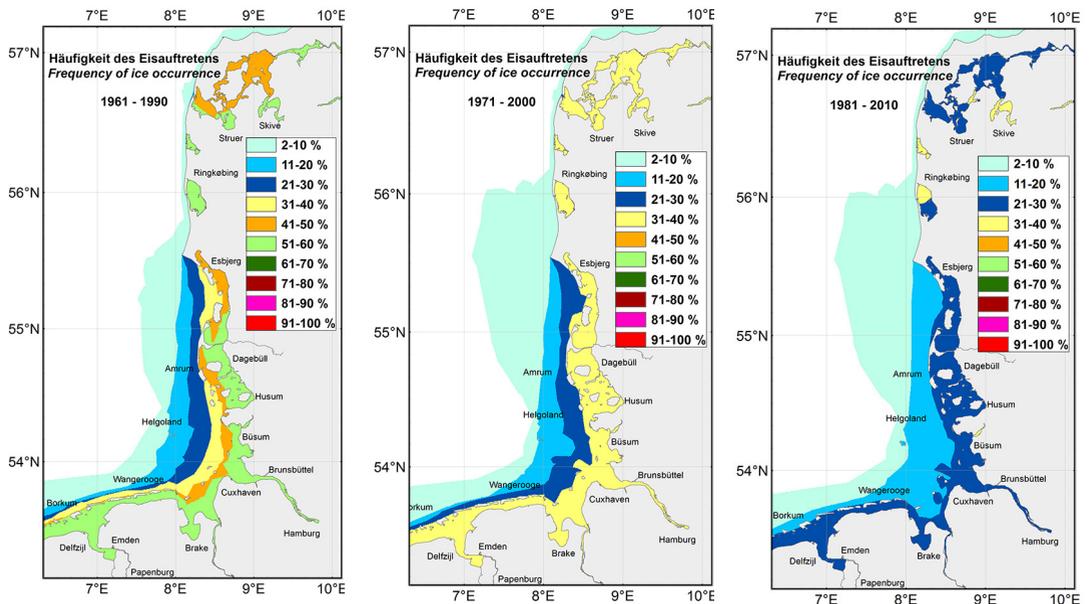


Abb. 5.5-2b: Häufigkeit des Eisauftritts in den 30-jährigen Zeiträumen 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010 in der Nordsee.

dehnung wird auch das Volumen größer. Auffallend ist die Tatsache, dass die maximale Ausdehnung für einige Winter bedeutend größer ausfällt als das vergleichbare maximale Volumen: Dies ist mit einer kurzzeitigen großen Ausdehnung des dünnen Eises, oft unter 5 cm, erklärbar, führt aber zur Einordnung eines Eiswinters in unterschiedliche Klassen: z.B. wird der Winter 2011/12 nach der Ausdehnung als mäßig und nach dem Volumen als schwach klassifiziert. Besonders häufig kommt dieser Fakt in den letzten 20 Jahren vor, was auf immer dünner werdendes Eis im Seebereich, kürzere Verweilzeiten des Eises auf See und somit auf wärmer werdende Winter hindeutet.

Die Stärke eines Eiswinters in der Nordsee und in der westlichen/südlichen Ostsee wird durch eine Maßzahl – die flächenbezogene Eisvolumensumme ($V_{\Delta\Sigma}$) – bestimmt; sie berücksichtigt sowohl die produzierte Eismenge als auch die Dauer der Eisbedeckung (KOSŁOWSKI 1989). Die Reihe der flächenbezogenen Eisvolumensummen erfasst den Zeitraum seit 1897 bis heute für die Nordsee (www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Eis/Eiswinter2014-2015.pdf) und seit 1879 bis heute für die westliche/südliche Ostsee. Im Zeitraum von 1961 bis 2010 gab es in der Nordsee 26 sehr schwache bis schwache, 16 mäßige, 4 starke, 3 sehr starke und 1 extrem starke Eiswinter. In der westlichen/südlichen Ostsee traten in gleicher Periode 25 sehr schwache bis schwache, 16 mäßige, 3 starke, 5 sehr starke und 1 extrem starke Eiswinter auf. Die meisten schwachen Eiswinter kamen in den letzten 30

Jahren vor, die Anzahl der starken bis extrem starken Eiswinter hat gleichzeitig abgenommen. Noch deutlicher wird diese Tatsache ersichtlich bei dem Vergleich der Häufigkeiten des Eisauftritts in den 30-jährigen Zeiträumen 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010, Abb. 5.5-2 (SCHMELZER et al. 2012, SCHMELZER & HOLFORT 2015). 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 der Nordsee und in der westlichen/südlichen Ostsee in den betrachteten 50 Jahren am Anfang der Periode, und zwar im Zeitraum 1961-1990. Besonders stark veränderte sich die Häufigkeit des Eisauftritts in der Nordsee und im Seebereich der westlichen Ostsee. Das ist sicher in erster Linie auf die wärmer werdenden Winter zurückzuführen, aber auch die menschliche Tätigkeit in den Meeresbereichen trägt zu Veränderungen der Eisverhältnisse bei. Z.B. regelmäßige Fahrwasservertiefungen führen in den betroffenen Gewässern zur Verschiebung des ersten Eisauftritts zu einem späteren Termin und zur signifikanten Abnahme der Tage mit Eis. Wasserbauten stellen Hindernisse für die Eisbewegung dar. Und auch in der Winterzeit zunehmender Schiffsverkehr verhindert das natürliche Eiswachstum im Seebereich:

die Eisdecke wird ständig aufgebrochen, und in Abhängigkeit von den Strömungs- und Windrichtungen wird das Eis entweder zusammengesoben, übereinandergeschoben und aufgepresst oder in die Bereiche mit wärmerem Wasser abgetrieben, wo es schmilzt. In Fahrwassern entstehen oft meterhohe Eisbarrieren, die die Schifffahrt erheblich behindern. Trotz gegenwärtig abnehmender Eismengen werden die Schifffahrtsverhältnisse dadurch nicht einfacher.

Für den Bereich der westlichen Ostsee wurden die Eiswinterstärken zurück bis zum Jahr 1301 rekonstruiert und analysiert (KOSLOWSKI & GLASER 1995, 1999; KOSLOWSKI & SCHMELZER 2007, SCHMELZER & HOLFORT 2011). Die Verlässlichkeit der rekonstruierten Daten nimmt für weiter zurückliegende Zeiträume ab, besonders unzulängliche Informationen gibt es für die Jahre 1301 bis 1400. Trotzdem wurde in diesem Zeitabschnitt eine gute Übereinstimmung mit den ebenfalls rekonstruierten mittleren Jahrestemperaturen der geographisch nahe liegenden Benelux-Länder (Niederlande und Belgien) und eine noch bessere Übereinstimmung mit der Lufttemperatur in den Wintermonaten gefunden. Die Eisregime in der Zeit zwischen 1300 und 1400 zeigt ähnliches Verhalten wie wir es in den letzten 30 Jahren erleben: längere warme Phasen mit schwachen oder normalen Eiswintern unterbrochen durch einige sehr starke Eiswinter. Und obwohl gegenwärtig eine Tendenz zu milderen Wintern besteht, ist auch in Zukunft mit dem Auftreten von starken bis extrem starken Eiswintern zu rechnen (VAVRUS et al. 2006, KODRA et al. 2011), so wie z. B. der Winter 2009/10 im Bereich der südlichen Ostsee, oder der Winter 2010/11 im nördlichen Ostseeraum.

Literatur

- BACC (2008): Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin.
- BACC (2015): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin.
- FEISTEL, R. G. NAUSCH & N. WASMUND (eds.) (2008): State and Evolution of the Baltic Sea, 1952-2005. Wiley 703 pp. ISBN 978-0-471-97968-5.
- JEVREJEVA, S., V. V. DRABKIN, J. KOSTJUKOV, A. A. LEBEDEV, M. LEPPÄRANTA, YE. U. MIRONOV, N. SCHMELZER & M. SZTOBRYN (2002): Ice Time Series of the Baltic Sea. Report Series in Geophysics No. 44, Helsinki.
- JEVREJEVA, S., V. V. DRABKIN, J. KOSTJUKOV, A. A. LEBEDEV, M. LEPPÄRANTA, Y. U. MIRONOV, N. SCHMELZER & M. SZTOBRYN (2004): The Baltic Sea ice seasons in the 20th century. *Climate Research* Vol. 25, 217-227.
- KODRA E., K. STEINHAESER & AUROOP R. GANGULY (2011): Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios, *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L08705, DOI:10.1029/2011GL047103.
- 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.
- KOSLOWSKI, G. & R. GLASER (1995): Reconstruction of the Ice Winter Severity since 1701 in the Western Baltic, *Clim. Change* 31, 7998.
- KOSLOWSKI, G. & R. GLASER (1999): Variations in Reconstructed Ice Winter Severity in the Western Baltic from 1501 to 1995 and their Implications for the North Atlantic Oscillation, *Clim. Change* 41, 175-191.
- KOSLOWSKI, G. & N. SCHMELZER (2007): Ice Winter Severity in the Western Baltic Sea in the Period 1301-1500, *Berichte des BSH*, 42, 47-56.
- NOSCCA (2015): North Sea Climate Change Assessment. In Druck.
- PEEL, M. C., B. L. FINLAYSON & T. A. MCMAHON (2007): Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644, doi:10.5194/hess-11-1633-2007.
- SCHMELZER N. & J. HOLFORT (2011): Ice winter severity in the western Baltic Sea in the period of 1301-1500: comparison with other relevant data, *International Journal of Climatology*, published online in Wiley Online Library, (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2337.
- SCHMELZER N., J. HOLFORT, M. SZTOBRYN & P. PRZYGRÓDZKI (2012): Climatological Ice Atlas for the western and southern Baltic Sea (1961-2010). 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 www.bsh.de/en/Marine_data/Observations/Ice/index.jsp.
- SCHMELZER, N. & J. HOLFORT (2014): Eiswinter 2009/2010 bis 2013/14 an den deutschen Nord- und Ostseeküsten, *Berichte des BSH* Nr. 53.
- SCHMELZER N. & J. HOLFORT (2015): Climatological Ice Atlas for the German Bight and Limfjord (1961-2010). Digital supplement: Comparison of ice conditions in the 30-year periods 1961-1990, 1971-2000 and 1981-2010 as well as in moderate and strong ice winters, in Druck.
- SEINÄ, A. & E. PALOSUO (1996): The classification of the maximum annual extent of ice cover in the Baltic Sea 1720-1995, *Meri-Report Series of the Finnish Institute of Marine Research*, No.27, 79-91.
- VAVRUS S., J. E. WALSH, W. L. CHAPMAN & D. PORTIS (2006): The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming, *International Journal of Climatology*, Volume 26, Issue 9, pages 1133-1147, July 2006.

Kontakt:

Dr. Natalija Schmelzer

Dr. Jürgen Holfort

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock
 Natalija.Schmelzer@bsh.de

Schmelzer, N. & J. Holfort (2015): Das Eis in der Nord- und Ostsee. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 210-217. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.32