



Veränderungen der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands von 1777 bis 2002

Börge Pflüger

Institut für Geographie, Universität Hamburg

Abstract

A long time series of ice charts of the south cape of Greenland is made from historical shipjournals, archived and published charts as a work of several years. It starts in 1777 and ends in 2002. The Cape Farvel ice index (KFI) is determined from the ice condition in June and July. It delivers an overview of the ice condition during the past. A running mean shows the trends. Comparing with other time series of the arctic, clear similarities can be seen, so it is justified to state a clear decrease of ice in the northern hemisphere. Most of the decrease is settled in the first three decades. There is a clear maximum of ice at the turns of the 19th and 20th centuries. In the period between glaciation is weaker. There is another decrease of sea-ice in the second half of the 20th century which is stronger than the decrease of the 19th century.

1 Einleitung

Die Klimakatastrophe kommt – diesen Eindruck erwecken die Medien gerne, unabhängig davon, ob eine Jahreszeit zu warm, zu kalt, zu nass oder zu trocken ist. Naturkatastrophen werden als Folge menschlichen Einflusses auf die Atmosphäre oder mindestens als Vorschau für den Normalzustand in der Zukunft herausgestellt.

Doch trotz langjähriger Forschung stellt sich immer noch die Frage, wieviel wir wirklich vom Klima und seiner Veränderlichkeit wissen. Aufwändige Klimamodelle geben Prognosen für die Zukunft und beschreiben Prozesse der Gegenwart. Die Aufgabe der Geowissenschaften ist es dabei, neben den Zukunftsprognosen auch einen Rückblick in die Vergangenheit zu liefern und frühere Klimaprozesse zuverlässig zu beschreiben. Die Vergangenheit ist gerade im Bereich der Klimaforschung der Schlüssel zur Zukunft. Sind die Veränderungen tatsächlich Ausdruck eines klimatischen Trends oder nehmen wir die Veränderung vielleicht nur verstärkt wahr? Welcher Teil der Veränderung lässt sich mit normalen Klimaschwankungen erklären, die natürlicherweise stets vorkommen, und welcher Teil spricht für einen anthropogenen Einfluss? Bilden die komplexen Klimamodelle die Wirklichkeit realistisch ab (vgl. Glaser 2001)?

Für die Polargebiete sagen die meisten Klimamodelle eine besonders signifikante Erwärmung voraus (z.B. Rahmstorf & Ganopolski 1999). Problematisch ist dabei die Tatsache, dass die klimatischen Kenntnisse in der Arktis und Antarktis besonders dürftig sind. Klimadaten liegen nur von wenigen Stationen über einen langen Zeitraum vor. Viele Bereiche der Polargebiete waren sehr lange weiße Flecken auf der Landkarte und noch viel mehr weiße Flecken auf einer Klimadatenkarte. Wenn synoptische Daten fehlen, greift die Paläoklimatologie, zu der auch die Klimageschichte gemeinhin gerechnet wird, auf sogenannte Proxydaten zurück – natürliche Gegebenheiten, die mehr oder weniger direkt mit Wetter, Witterung oder Klima in Verbindung stehen.

Zu den Proxydaten gehört die Stärke der Vereisungsverhältnisse. Hier kann man nur in den dicht besiedelten Mittelbreiten auf Beobachtungen vom Land zurückgreifen. In der Arktis fehlen diese weitgehend, wenn man von Island absieht, wo Eisbeobachtungen bis in das Jahr 1000 n. Chr. zurückzuführen sind (Koch 1945, Berthórsson 1969, Ogilvie 1984).

Die in dieser Arbeit vorgestellte Zeitreihe beschäftigt sich mit dem Eis an der Südspitze Grönlands. Aus historischen Manuskripten, handgezeichneten und publizierten Karten konnte eine 226jährige Zeitreihe mit nur wenigen Lücken erstellt werden. Diese reicht weit in den vorsynoptischen Bereich hinein und liefert klimarelevante Informationen auch über den Eistransport durch die Framstraße. Des Weiteren soll hier ein Überblick über die Besonderheiten des Eises an der Südspitze Grönlands gegeben werden.

Die Methodik der Rekonstruktion von Eisdaten aus historischen Schiffslogbüchern wurde bereits in den Artikeln Pflüger (2001) und Pflüger (2001a) ausführlich dargestellt. Daher wird an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick gegeben. Die Zusammenführung der verschiedenen Quellen zu einer langen Zeitreihe und das Ergebnis der Forschung ist Gegenstand dieses Artikels.

2 Das Eis an der Südspitze Grönlands

Das Meereis wurde dort nur zu einem sehr kleinem Teil autochthon gebildet. Der weit größere Anteil ist Dripteis des Ostgrönlandstroms. Dieser entstammt als Driftstrom dem Nordpolarmeer, das er durch die Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen verlässt.

Über die Eisdrift im Norpolarmeer gewann man die ersten Erkenntnisse durch den Verlust von Schiffen im Eis, deren Trümmer teilweise Jahre später an der Südwestküste Grönlands wieder gefunden wurden (Herrmann 1949). Die berühmte Forschungsdrift von Fridtjof Nansen mit der „Fram“ 1893-1896 im Transpolaren Driftstrom erbrachte weitere Erkenntnisse. Es folgten weitere Schiffsdriften und das Aussetzen russischer Eisdriftstationen. Flächendeckende Eisbojen verdichtete die Erkenntnis der Eisdrift bis zu ihrem heute bekannten Bild. Man stellte zwei Hauptströme der Eisdrift im Arktischen Ozean fest, den Beaufort-Wirbel und die Transpolardrift (vgl. IABP 2000).

Der Beaufort-Wirbel, früher auch als Pazifischer Wirbel bezeichnet, dreht sich in der Beaufortsee im Uhrzeigersinn und benötigt im Durchschnitt 5 Jahre für eine Umdrehung, wobei die effektive Umlaufzeit vom Radius der Bahn abhängt: außen etwa 9-10 Jahre, im Inneren etwa 3-4 Jahre. Die Transpolardrift transportiert das an der sibirischen Küste gebildete Eis durchschnittlich innerhalb von drei Jahren an Spitzbergen vorbei durch Framstraße und Barentssee in die Grönlandsee. Von dort wird das Eis weiter bis zur Südspitze Grönlands und teilweise auch darum herum in die Davisstraße hinein verfrachtet (Thorndike 1986).

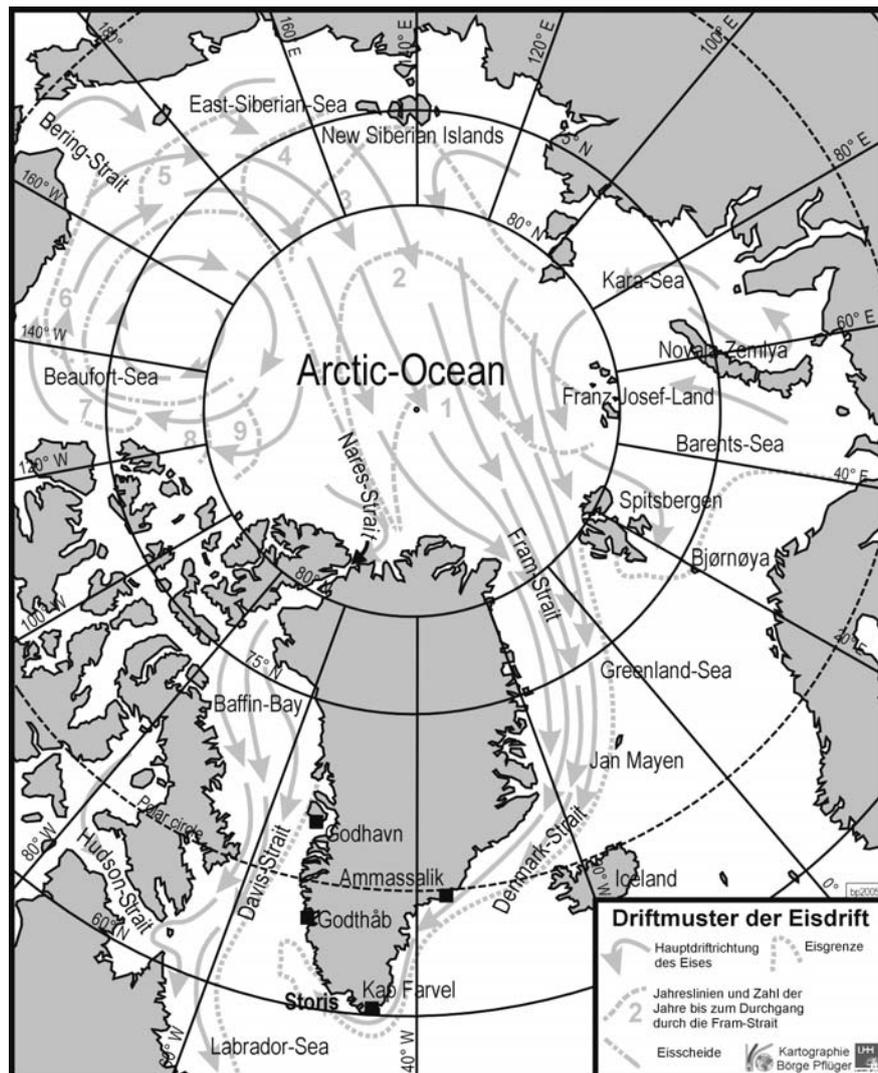


Abb. 1: Die Eisdrift der Arktis (nach IABP 2000)

Mit der Transpolardrift verlassen jährlich etwa 20 % des Eises den Arktischen Ozean. Dabei passieren rund $300 \text{ km}^2/\text{Tag}$ die 325 sm breite Grönland-Spitzbergen Passage (Thorndike 1986), die sogenannte Fram Strait. Mit dieser Drift werden ständig Eismassen aus dem Nordpolarmeer in die Grönlandsee transportiert. Dort driftet das Eis als Verlängerung der Transpolardrift im Ostgrönlanddriftstrom parallel zu der Ostküste Grönlands nach Süden bis dessen Südspitze und um das Kap Farvel herum. Zeitweise erreicht das Meereis die Küsten Islands und verschließt die Denmark Strait. Auf dem Weg nach Süden schmilzt das Meereis durch den Einfluss wärmerer Luftmassen und den Kontakt mit wärmerem Wasser.

Für die rund 1600 sm lange Strecke von der Fram Strait zum Kap Farvel benötigt das Eis etwa 5-6 Monate (Koch 1945). Pflüger & Dreves (unveröffentlicht) berechneten aus den Bojen-Läufen des International Arctic Buoy Programme (IABP 2000) eine durchschnittliche Laufzeit der Bojen von 4,5 Monaten vom Durchgang durch die Fram Strait bis in die Irmingersee. Das Eis driftet dann weiter um die Südspitze Grönlands herum und an dessen Westküste nordwärts. Hier wird es als „Storis“ bezeichnet, was sich auf die Mächtigkeit der Eisschollen bezieht, bei denen es sich überwiegend um Eis aus dem zentralen Nordpolarmeer handelt (Koch 1945). In der Walfängersprache wurde der Ostgrönlanddriftstrom bei Spitzbergen als das „Westeis“ bezeichnet, im Fahrwasser der Davis Strait zuweilen als „Südeis“.

Im Jahrgang hat das Eis an der Südspitze Grönlands sein Maximum in den Monaten Mai bis Juli. Da das Eis von der Fram Strait zur Südspitze Grönlands etwa 4-5 Monate benötigt, handelt es sich bei dem Eis im August um das Eis, welches in den Wintermonaten das Nordpolarmeer verlassen hat. Maximal erreicht es etwa Nuuk (Godthåb), teilweise aber auch weit nach Westen in die Davis Strait hinein.

Zwischen September und Dezember ist die Südspitze Grönlands meist eisfrei. Im Januar und Februar driften häufig Eis um die Südspitze herum. Vereinzelt verbindet es sich dann mit dem Eis, das von Norden aus der Davis Strait kommt. Im März ist die Wahrscheinlichkeit hierfür am höchsten, da die Vereisung der Davis Strait noch stark ist, während das Drifteis deutlich zunimmt.

3 Zur Verfügung stehende Quellen

Für die Erstellung der Zeitreihe der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands standen vier verschiedene Quellentypen zur Verfügung.

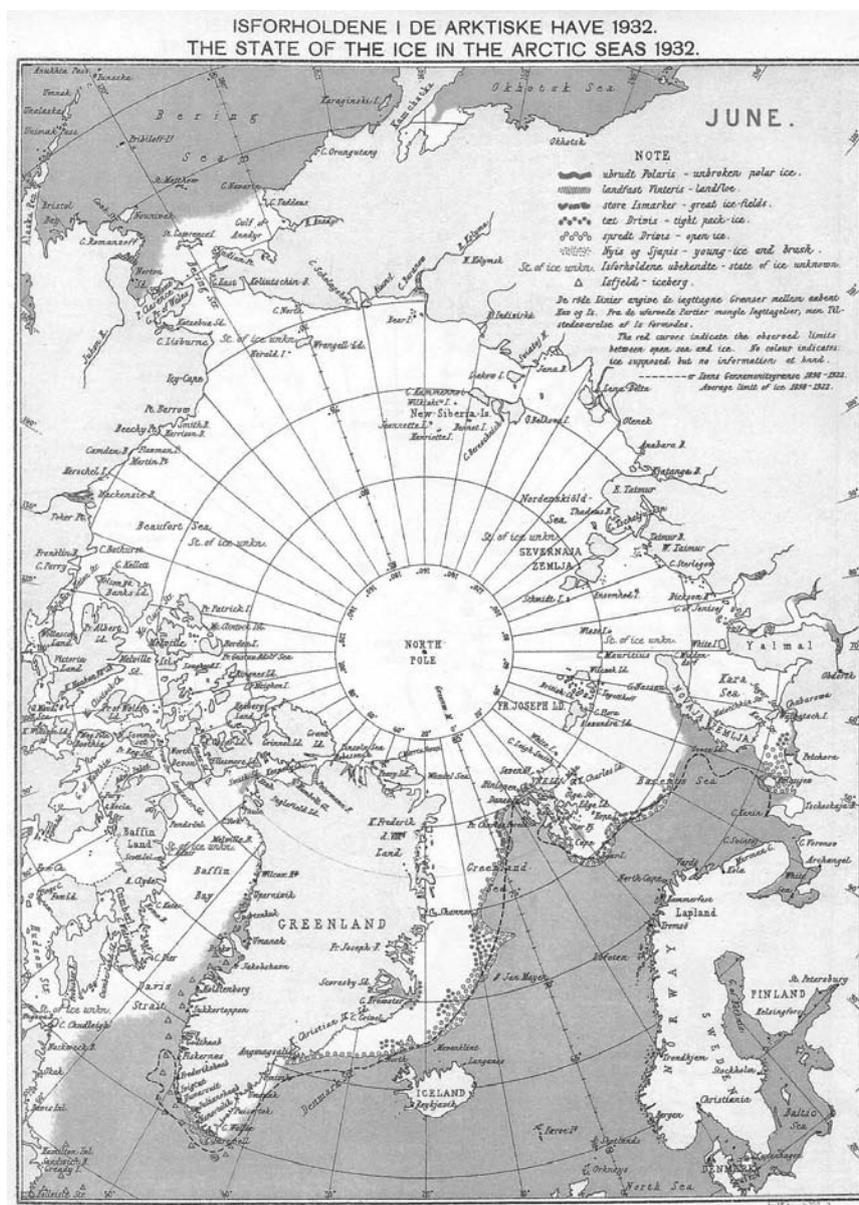


Abb. 2: Eiskarte des Dänischen Meteorologischen Instituts für den Juni 1932. Quelle: Isforholdene i de arktiske Have (1932)

Bereits ab dem Jahr 1893 liegen, veröffentlicht vom Dänischen Meteorologischen Institut (DMI), Eiskarten für die sommerlichen Eisverhältnisse in der Arktis vor, wobei bis 1900 der Schwerpunkt in der europäischen Arktis lag. Das Dänische Meteorologische Institut erhielt 1899 durch den 7. Internationalen Geographenkongress den Auftrag, sämtliche verfügbaren Meldungen über die Eisverhältnisse in den arktischen Gewässern zu sammeln und auszuwerten (Strübing 1967).

Die Eiskarten des Dänischen Meteorologischen Instituts wurden in einer Publikationsreihe unter dem Titel „Isforholdene i de arktiske Have – The state of the Ice in the Arctic Seas“ als Jahrbücher veröffentlicht. Neben einem Textteil enthalten sie Karten für die arktischen Gewässer (Abb. 2).

In den frühen Jahren wurden Schiffs- und Landobservationen ausgewertet und die Karten am Ende der Schifffahrtssaison zusammengestellt. Sie dienten damals nicht zur Navigation im Eis. Diese Methodik der Erstellung der Eiskarten änderte sich bis 1956 nicht, auch wenn in den frühen 1950er Jahren zu den Schiffs- und Landobservationen gelegentlich Eisobservationen durch Flugzeuge hinzukamen. Die Zahl der Flugzeugobservationen stieg im Laufe der Jahre.

Es wurde so eine ganzjährige Beobachtung ermöglicht. Das DMI veröffentlichte detailreiche wöchentliche Karten. Durch den steigenden Schiffsverkehr stieg auch die Belastung des DMI. Die Flut der Daten veranlasste das Dänische Meteorologische Institut sich ab 1957 auf die grönländischen Gewässer zu beschränken. Das Augenmerk sollte sich verstärkt auf die Erstellung von zeitnahen Navigationskarten für die Schifffahrt richten. Die Zusammenfassung war ein zusätzlicher Aufwand. Nach 1966 fasste man die Eisverhältnisse in Monatsendkarten zusammen, die in den „Isforholdene i de Grønlandske Farvande“ oft mit erheblicher Zeitverzögerung erschienen.

Eine weitere Verbesserung der Datenlage erreichte man durch Satelliten gestützte Eisbeobachtungen. Dies begann in den 1960er Jahren und wurden schrittweise ausgebaut. Ab 1982 erschienen die Monatsendkarten der Isforholdene nicht mehr. Für die Fortführung der Zeitreihe wurden daher die operationellen Eiskarten verwendet, die dem Verfasser durch das DMI dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden (Abb. 3). Für die jüngsten Jahre stellte das DMI wieder Übersichtskarten zur Verfügung, die im Internet veröffentlicht wurden.

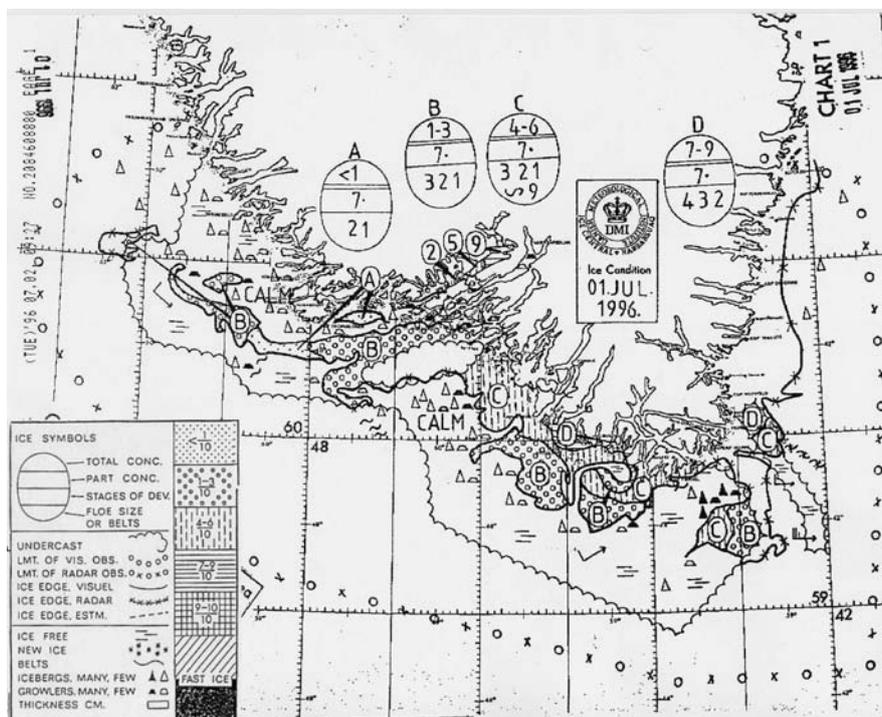


Abb. 3: Das Eis an der Südspitze Grönlands am 1. Juli 1996. Nach 1982 erschienen nur noch die operationellen Eiskarten des Dänischen Meteorologischen Instituts.

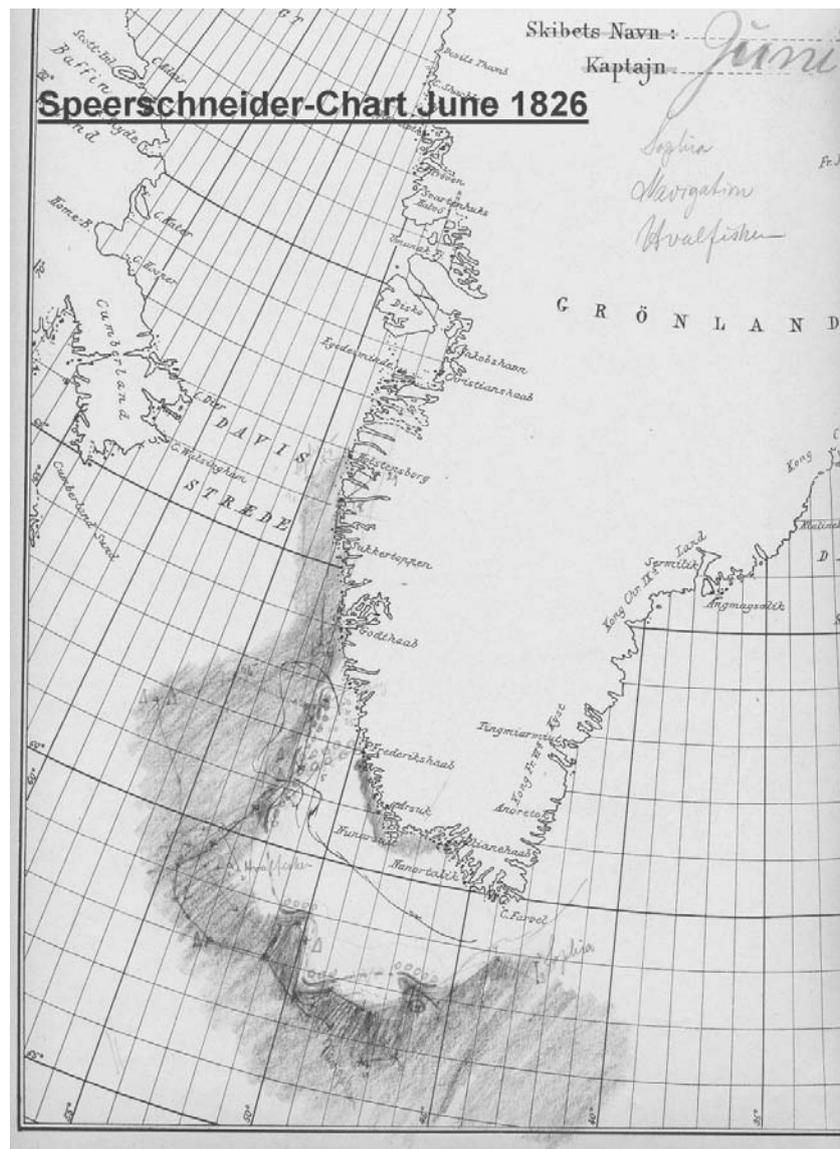


Abb. 4: Die von Speerschneider gezeichnete Originalkarte für Juni 1826 überdauerte in den Archiven des DMI. Quelle: Pflüger (2005)

Die Eiskartenzeitreihe des DMI begann 1893. Doch bereits vor dieser Zeit herrschte ein intensiver Schiffsverkehr zu den grönländischen Kolonien. Die Versorgung und der Handel mit diesen lag als Monopol seit 1774 in der Hand des „Kongelige Grønlandske Handel, Hvalfiskefangst og Robbeslagting“ (Königlich Grönländischer Handel, Walfischfang und Robbenschlachtung – KGH) (Gad 1982). Auf den eigenen und gecharterten Schiffen wurden Schiffsjournale (Logbücher) geführt, die bis heute erhalten blieben und überwiegend im Reichsarchiv in Kopenhagen archiviert sind.

Der erste, der diese Schiffsjournale bezüglich der Eisverhältnisse auswertete war Speerschneider (1931), welcher die Eisverhältnisse am Kap Farvel der Jahre 1820-1889 aus den Schiffsjournalen des KGH rekonstruierte. Methodisch gesehen ist die Arbeit von Speerschneider der hier vorliegenden sehr ähnlich. Auch Speerschneider entnahm die Eissichtungen den Schiffsjournalen und trug sie in Karten ein. Mit Hilfe dieser Observationen rekonstruierte er die Eisverhältnisse über diesen langen Zeitraum. Wegen der Schwierigkeiten in der Positionsbestimmung unterblieb die Auswertung der Schiffsjournale der Jahre 1777-1802, die erst durch den Verfasser stattfand (vgl. auch Pflüger 2001). Die von Speerschneider gezeichneten Eiskarten überdauerten glücklicherweise die Zeiten in den Keller-Archiven des Dänischen Meteorologischen Instituts (DMI) und konnten hier ausgewertet werden.

Für den älteren Zeitraum wurden die originalen Schiffsjournale des KGH aus dem Reichsarchiv in Kopenhagen ausgewertet. Die Eisobservationen wurden in Karten eingetragen und zu den Eisgrenzen rekonstruiert. Durch die oft fehlerhaften Positionsangaben in den Schiffsjournalen ergibt sich keine exakte Position des Eisrandes. Es lässt sich aber ein guter Eindruck über die Eisverhältnisse in den jeweiligen Jahren gewinnen.

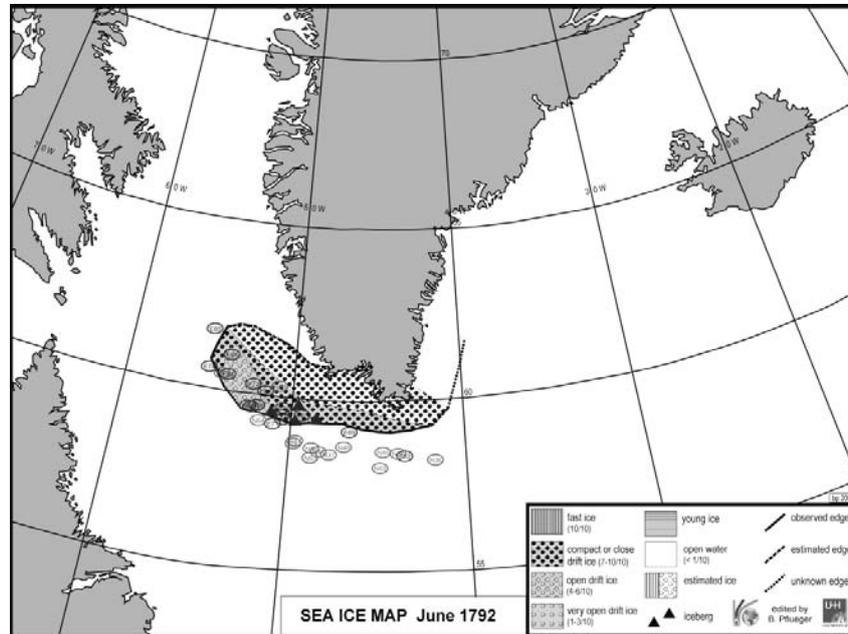


Abb. 5: Die aus Schiffsjournalen rekonstruierten Eisverhältnisse im Juni 1792. Die mit E gekennzeichneten Observationen stehen für die Eintragungen in den Journalen mit Eissichtungen, mit N für Schiffspeditionen ohne Eissichtung.

4 Bildung des Kap Farvel – Eisindex (KFI)

Aus den solchermaßen zusammengestellten Karten lässt sich eine 226 Jahre umfassende Zeitreihe bzgl. der Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands erstellen. Diese ist zwar an einigen Stellen unterbrochen, gibt dafür aber auch Auskunft über die Eisverhältnisse in voroperationeller Zeit.

Chapman & Walsh (1993) erwähnen die Wahrscheinlichkeit von Inhomogenitäten in den Zeitreihen vor 1961. Sie analysieren daher lediglich den Zeitraum 1961 bis 1990. Grundsätzlich ist dem Vorwurf der Inhomogenität zuzustimmen. Die Zeitreihe der Eisverhältnisse weist erhebliche Lücken auf, hinzu kommen die unterschiedlichen Beobachtungstechniken über die Jahrhunderte hinweg: von der Eisbeobachtung „nebenbei“ in gewöhnlichen Schiffstagebüchern über die gezielten Eisbeobachtungen von Schiffen, insbesondere ab dem späten 19. Jh., den Eisobservationsflügen, die mit dem Aufkommen von Flugzeugen verbreiteter wurden, bis hin zu den Satelliten gestützten Eisobservationen, wobei hier auch die Spanne der Observationen von gewöhnlichen Satellitenbildern verschieden hoher Auflösung über passive Mikrowellen-Sensoren zu aktiven Radarsatelliten geht. Selbst hier gibt es durchaus Probleme bei der Interpretation des Signals.

Der Kritikpunkt der Inhomogenität sollte allerdings nur dazu führen, eine gewisse Vorsicht im Umgang mit den historischen Daten walten zu lassen. Fehler sind in diesen Analysen nicht auszuschließen und bedauerlicherweise auch nicht immer erkennbar. Wenn man jedoch eindeutige Veränderungen erkennen will, muss man diese Fehlerrisiken in Kauf nehmen, da fehlerfreie – oder besser: mit geringen Fehlern behaftete – Zeitreihen nur für kurze Zeiträume vorliegen, in denen aber klimatische Schwankungen unmöglich eindeutig erkennbar sind.

Zur Erstellung eines Eisindex bietet sich eine Flächenanalyse an, da sich aus der eisbedeckten Fläche die Eismenge abschätzen lässt. In ihr werden die jeweiligen Teilflächen entsprechend ihrer Eisbedeckung bewertet. Auf die gleiche Art und Weise stellte das National Snow and Ice Data Center (NSIDC 2000) ihre digitalisierten Eiskarten her. Die Auswertungen von Walsh & Johnson (1979) und Chapman & Walsh (1993) erfolgten ebenfalls nach dieser Methode, wobei die dort verwendete Auflösung deutlich geringer ist als die hier verwendete.

Für diese Analyse wurde ein Gitternetz von 0,5° Breite und 1° Länge verwendet. Aufgrund der Polnähe ergibt sich daraus ein 55 km × 55 km großes Gitternetz. Eine genauere Auflösung des Bearbeitungsgebietes wäre theoretisch denkbar, würde aber nicht zwangsläufig zu besseren Ergebnissen führen, da dann insbesondere die historischen Eiskarten überinterpretiert würden. Weil diese überwiegend monatlich sind, die Satelliten gestützten Daten hingegen wöchentlich vorliegen, wurde zur Fortführung des Index die jeweils letzte Eiskarte eines Kalendermonats verwendet, in Analogie zu den Eiskarten des DMI von 1965 bis 1981 sowie zur Bearbeitung von Chapman & Walsh (1993).

Aus Schiffsobservationen lässt sich nur in geringem Ausmaß auf die Geschlossenheit der Eisdecke hinter der Eiskante schließen. Daher wurde bei der Rekonstruktion eine geschlossene Eisdecke angenommen. Bei der Ermittlung des Eisindex aus den rezenten Datensätzen des Danske Meteorologiske Institut wurden Lücken im Eis hinter der Eiskante nicht berücksichtigt und als bedeckt angenommen.

Um die Eiskarten in ein einheitliches System zu überführen, wurden die Karten graphisch vereinheitlicht und in ein vierstufiges System gebracht. Jedem Gitternetzpunkt wurde je nach Bedeckungsgrad ein Wert zugeteilt. 0 steht für eisfrei, 1 für sehr gering bedeckt, ca. 0-¹/₃, 2 für mittlere Bedeckung (¹/₃-²/₃) und 3 für weitestgehende Bedeckung mit Eis (²/₃-³/₃). Eine größere Genauigkeit bezüglich der Konzentration ist aus den hier gemachten Rekonstruktionen bzw. aus den meisten Quellen nicht zu entnehmen. Um die „Unschärfe“ einheitlich zu halten, wurde für die jüngeren Eiskarten die gleiche Klassifikation gewählt wie für die historischen Karten, obwohl zweifelsohne eine genauere Einteilung in den jüngeren Jahren möglich gewesen wäre.

Aus der Eisbedeckung wurde die Eisfläche A_{KFE} über die Flächen der jeweiligen Gitternetzfelder abgeleitet. Aus der Summe der Eisflächen jedes Feldes ergibt sich die Menge des Eises. Die um die Südspitze Grönlands herum gedriftete Eismenge ist somit aus den Karten bestimmbar.

Dies ist jedoch mit einer Einschränkung verbunden: Der A_{KFE} -Wert ist ein mathematisch exakt bestimmbarer Wert. Er reagiert aufgrund seiner Genauigkeit auf jede noch so kleine Veränderung in einzelnen Gitternetzfeldern. Damit täuscht er eine Genauigkeit der Eisflächenermittlung vor, die so weder aus den historischen Karten noch aus den Rekonstruktionen zu rechtfertigen wäre. Daher wurde der Kap Farvel – Index (KFI) aus dieser Fläche berechnet und ein ganzzahlig gerundeter Wert geschaffen, der weniger sensibel auf kleine Änderungen in den Gitternetzfeldern reagiert. Der Kap

Farvel - Index wird bestimmt über
$$\left[\frac{A_{KFE}}{A_{ges}} \cdot 100 \right]_{gerundet} = \text{KFI} \quad (\text{mit } A_{ges} = \text{gesamte}$$

Bearbeitungsfläche). Somit ist der KFI ein prozentualer Wert der Bedeckung des gesamten Bearbeitungsgebietes. Bei vollständiger Bedeckung ergäbe sich ein Wert von 100. Dieser Wert ist allerdings unrealistisch, da er weder in den Beobachtungen vorkam noch zu erwarten ist.

Der so ermittelte Indexwert lässt sich für die Sommermonate fast durchgehend von 1777 bis 2002 bilden. In dieser Zeitreihe sind bedauerlicherweise einige Lücken. Teilweise sind es einzelne Jahre, für die nicht ausreichend Schiffsobservationen zur Verfügung standen. Es gibt aber auch Lücken, die als Folge von kriegerischen Auseinandersetzungen entstanden. Die Lücke 1803-1819 zu schließen dürfte ein schwieriges Unterfangen werden, da die Schiffsjournale dieses Zeitraums wohl verloren gingen. Inwieweit der Napoleonische Krieg dazu geführt hat, ist nicht zu klären. Die Lücke von 1940 bis 1945 ist auf die deutsche Besetzung Dänemarks zurückzuführen.

Die Zahl der Observationslücken ist von Monat zu Monat unterschiedlich. Gerade in den frühen Jahren fehlen häufig Daten von Einzelmonaten. Die qualitativ besten Zeitreihen finden sich für Juni und Juli, weil für diese Monate die meisten Schiffsobservationen vorliegen und die Zahl der Jahre mit 181 für Juni und 183 für Juli am höchsten ist. Um die Lücken zu verringern, wurde aus der Juni- und Juli-Zeitreihe eine Mittelzeitreihe gebildet. Diese Monate weisen nämlich mit einer Korrelation von 0,71 eine relativ hohe Übereinstimmung auf. Da das Maximum der Eisbedeckung im Jahresgang in diesen Monaten erreicht wird, sind Juni und Juli dafür auch aus dieser Sicht besonders geeignet. Fehlt einer der beiden Monate, wurde der Median der Differenz (-2) beider Monate herangezogen und der fehlende Wert berechnet. Somit wurde bei fehlendem KFI_{Juni} -Wert dieser durch $(KFI_{\text{Juli}} - 2) = KFI_{\text{Juni}}$ ergänzt bzw. der fehlende KFI_{Juli} durch $(KFI_{\text{Juni}} + 2) = KFI_{\text{Juli}}$. Dies geschah für die Jahre: 1784 - 1786, 1795, 1797, 1799, 1828, 1831, 1834, 1836, 1843, 1848, 1853, 1861, 1867, 1869 und 1889.

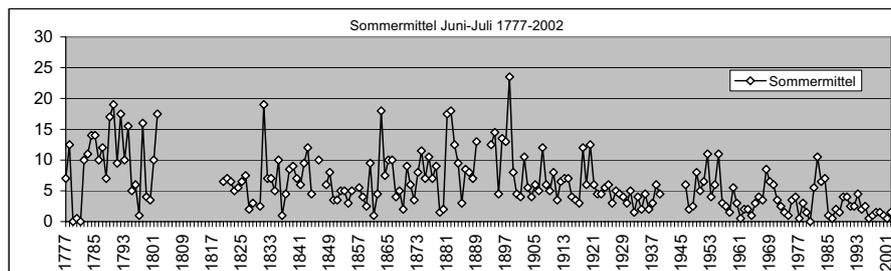


Abb 6: Zeitreihe des Sommermittels 1777-2002 aus den KFI-Werten für Juni und Juli ermittelt bzw. interpoliert, teilweise unter Verwendung des KFI-Wertes für Mai. Gegenüber den Einzelzeitreihen zeigt sie gedämpfte Spitzen.

In einigen Jahren fehlen die Werte des KFI für beide Monate, sind allerdings für den Mai vorhanden. Zwar ist die Korrelation mit 0,63 geringer, dennoch wurden in diesen Fällen die Werte durch $KFI_{\text{Mai}} = KFI_{\text{Juni}}$ (entsprechend dem Median der Differenzen) ergänzt, entsprechend dann $(KFI_{\text{Mai}} - 2) = KFI_{\text{Juli}}$. Dies geschah nur in wenigen Jahren: 1827, 1841, 1846 und 1868. Dadurch konnte die Datendichte auf 195 KFI-Jahre erhöht werden. Das Sommermittel berechnet sich somit aus dem Mittelwert zwischen

Juni- und Juli-Wert (inklusive der Ergänzungen) über
$$\frac{KFI_{\text{Juni}} + KFI_{\text{Juli}}}{2} = KFI_{\text{Sommer}}$$
.

Auch für diesen Wert lässt sich eine Zeitreihe bilden. Das so entstandene „KFI-Sommermittel“ ist deutlich weniger anfällig gegenüber Ausreißern in den Einzelmonaten als die Einzelmonate und hat eine verringerte Anzahl Datenlücken.

Für alle Zeitreihen wurden der 10- und der 30jährige gleitende Median berechnet und graphisch dargestellt. Der 30jährige gleitende Median zeigt zwei Maxima: Das erste im Zeitraum 1777-1802 mit einem abrupten Abfall, welcher auf die Datenlücke zwischen 1802 und 1820 zurückzuführen ist, das zweite zwischen 1870 und 1905, in denen die Eismenge ebenfalls deutlich erhöht war (Abb. 7). Zwischen 1820 und 1875 ist die Vereisung nahezu konstant, mit einem leichten Minimum zwischen 1840 und 1870. Eine starke Eismengenreduktion liegt zwischen 1905 und 1925 vor, ein Trend, der sich, wenn auch mit geringerer Steigung, bis in die Gegenwart fortsetzt.

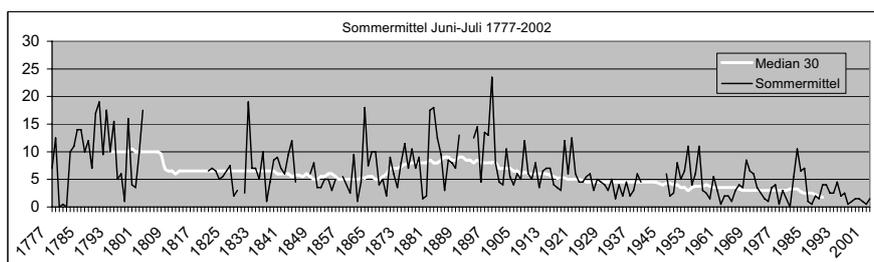


Abb 7: 30jähriger gleitender Median des Sommermittels der Zeitreihe 1777-2002

Der gleitende 30jährige Median des Sommermittels ist gegenüber den Einzelmonaten deutlich weniger anfällig gegen kurzfristige Maxima. Beispielsweise sind die zwischen 1825 und 1840 sowie um 1980 in der Juni-Zeitreihe erkennbaren im Sommermittel weniger ausgeprägt. Das Minimum der Juli-Zeitreihe um 1935 entfällt ebenfalls. Insofern ist die Sommermittel-Zeitreihe weniger anfällig gegenüber früh bzw. spät kommendem Eis.

Insgesamt ist die Zeitreihe somit sicherer als die Einzelzeitreihen im Vergleich mit anderen globalen Zeitreihen, da die Ankunft des Eismaximums durchaus von kurzfristigen atmosphärischen Ereignissen verursacht sein kann, deren globale Bedeutung gering ist.

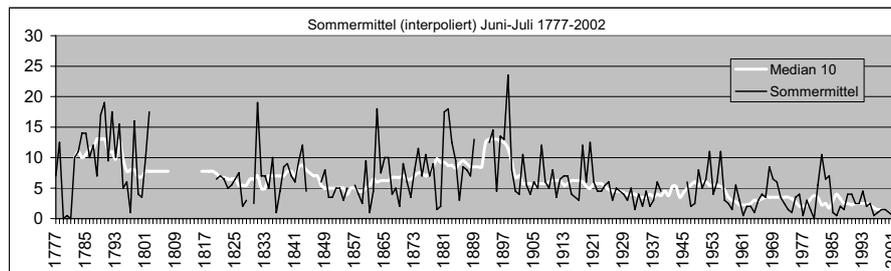


Abb. 8: 10jähriger gleitender Median des Sommermittels mit deutlichen Maxima um 1790, 1840, 1895 und 1950. Beeindruckend ist das Maximum zwischen 1893 und 1900 und der rasche Rückgang danach. Die Spitze des Medians in der Datenlücke hat ihre Ursache in dieser, ist also nicht wirklich vorhanden. In der Datenlücke 1803-1819 wurden konstante Werte in dieser Darstellung angenommen, da dies die Medianausreißer um 1802 verhindert.

Der gleitende 10jährige Median zeigt kurzfristigere Maxima und Minima (Abb. 8). Je ein Maximum ist um 1790, 1840, 1895 und 1950 zu erkennen. Beeindruckend ist das Maximum zwischen 1893 und 1900 im 10jährigen Median. Es stellt den Kernzeitraum des auch im 30jährigen Median zu erkennenden Maximums dar. Im Anschluss geht die Eismenge drastisch zurück. Dies verdient beachtet zu werden, da sich innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums etwas im Klima oder aber in den generellen Zirkulationsmustern geändert haben muss.

Bei normaler Rechnung ergibt sich eine Spitze am Beginn der Datenlücke, da diese länger ist als der Zeitraum des gleitenden Median und am Anfang nur der hohe Wert von 1802 in die Medianermittlung fällt. Durch Interpolation in der Form, dass der Median des Zeitraums 1777-1850 die Datenlücke ersetzt, wurde diese Spitze geglättet. Der Nachteil, dass eventuell randliche Extrema wegfallen, muss dabei in Kauf genommen werden.

5 Gesamtbetrachtung des KFI

Generell zeigt der KFI von April bis August für die Jahre 1777-2002 in allen Monaten einen eindeutigen Trend nach unten, insbesondere im 20. Jahrhundert. Allerdings sind die hohen KFI-Werte um die Jahrhundertwende zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert als deutliche Anomalie zu verstehen. Denn die KFI-Werte sind im Rekonstruktionszeitraum 1777-1802 etwas höher gewesen als die Werte um die Jahrhundertwende zum 20. Jh. Es ist davon auszugehen, dass dabei eine leichte Überschätzung vorliegt, die aus den Problemen bei Positionsangaben und Observationstechniken resultiert.

Die Sommermittel-Zeitreihe zeigt ein deutliches Maximum während des Rekonstruktionszeitraums. Die deutlich lückenhaftere Mai- und August-Zeitreihe lässt kein eindeutiges Maximum erkennen. In allen Zeitreihen ist das 19. Jahrhundert bis 1860 eher eisarm, gemessen am Rekonstruktionszeitraum 1777-1802 und dem deutlichen Anstieg gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Alle Zeitreihen zeigen dieses starke Ansteigen der Eismenge.

Die Eisverhältnisse bleiben bis in die erste Dekade des 20. Jahrhunderts auf diesem sehr hohen Niveau. In den Monaten Juni und Juli (und damit auch im Sommermittel) sind die Eisverhältnisse

allerdings etwas schwächer als im Rekonstruktionszeitraum. Geht man von einer methodisch bedingten Überschätzung im Rekonstruktionszeitraum aus, so ist anzunehmen, dass die Eisverhältnisse ähnlich stark waren wie bei der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert. In der ersten und zweiten Dekade des 20. Jahrhunderts fallen die KFI-Werte deutlich ab, im Allgemeinen auf ein Niveau, das dem des 19. Jahrhunderts bis 1860 entspricht, teilweise sogar unter diesem liegt (insbesondere im Juli und August). Bis Mitte des 20. Jahrhunderts bleiben die Werte einigermaßen konstant.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sinkt der KFI weiter ab. Die Zahl der eisfreien Jahre im Juli und August nimmt deutlich zu. Wenn man die Zeitreihen im jüngsten Abschnitt verfolgt, so ist eine weitere Abnahme des KFI-Wertes in den Monaten Juni und Juli erkennbar. Der 10jährige gleitende Median zeigt kurzzeitige Maxima in den 1950ern. Zuvor ist ein Minimum in der zweiten und dritten Dekade des 20. Jahrhunderts zu erkennen, ein weiteres Minimum folgt dem Maximum in den 1960ern.

Die Trends aller Zeitreihen zeigen eine Abnahme über ihren Berechnungszeitraum. Berechnet für einen linearen Trend ergibt sich eine negative Steigung von $-0,03$ über dem Gesamtzeitraum für das Sommermittel. Bei der Betrachtung von Zeitreihen ist wohl kaum ein Verfahren so problematisch wie eine Trendanalyse. Insbesondere die (gemeinhin mindestens im Kopf durchgeführte) Extrapolation ist eine unzulässige Schlussfolgerung eines Trends. Verschiedene Trendanalysen des Sommermittels über drei verschiedene Zeiträume zeigten, dass als Trends deutlich unterschiedliche Ergebnisse errechenbar sind.

Betrachtet man den Trend genauer, stellt man fest, dass ein Großteil der Eismengenreduktion zwischen 1900 und 1930 stattfand – über 50 %. Dies spricht gegen die Berechnung eines linearen Trends. Die Trendanalyse zeigt allerdings auch, dass es unzureichend ist, bei der Betrachtung der Veränderung der Eisverhältnisse nur einen sehr kurzen Zeitraum zu verwenden, da die langfristigen Schwankungen die kurzfristigen doch erheblich überlagern.

Betrachtete man den Zeitraum, in dem gemessene Klimadaten zur Verfügung stehen, so ergibt sich – durch die Maximal-Periode um 1900 – eine drastische Verringerung der Eismengen. Das Hinzunehmen des Zeitraumes davor zeigt, dass es sich bei dem Zeitraum 1865-1900 um ein Maximum handelte, das als Startpunkt einer linearen Trendanalyse ungeeignet ist.

Es zeigt sich aber auch, dass alle Zeitreihen auf ein Minimum hinsteuern, offenbar sogar noch geringer werdend im jüngsten Zeitraum. Es wäre überzogen, aus dieser Untersuchung den anthropogenen Treibhauseffekt als Ursache zu identifizieren, doch liegt diese Vermutung nahe.

6 Vergleich mit weiteren Eis-Zeitreihen

Bei der Erstellung einer Zeitreihe aus historischen Daten ergibt sich generell das Problem der Überprüfbarkeit. Je weiter die Zeitreihe zurückreicht, desto weniger Ver- und Abgleichsmöglichkeiten sind gegeben. Selbst wenn Zeitreihen aus dem gewünschten Zeitraum existieren, so müssen diese mit der hier vorliegenden Zeitreihe in Zusammenhang stehen, um einen sinnvollen Vergleich durchführen zu können. Daneben müssen diese Zeitreihen in einer vergleichbaren Form existieren bzw. zur Verfügung gestellt werden. Das ist nur in einigen wenigen Fällen wirklich gegeben.

Speerschneider (1931) erstellte für den Zeitraum 1820-1930 aus den von ihm rekonstruierten Eiskarten und den vom DMI publizierten eine Zeitreihe. Interessant ist natürlich, wie sich beide Zeitreihen zueinander verhalten, da sie die gleichen Daten verwenden. Der Speerschneider-Index ist ein Gesamt-Sommerindex, insofern ist die beste Übereinstimmung mit dem KFI-Sommermittel zu erwarten. Der Speerschneider-Index besteht allerdings zu einem guten Teil aus der Addition nicht exakt nachvollziehbarer Werte. Daher ist es nicht verwunderlich, dass es Unterschiede zwischen beiden Zeitreihen gibt. Die von Speerschneider durchgeführten Abschätzungen sind insofern akzeptabel, als es stets derselbe Bearbeiter war – nämlich der in der Eisbeobachtung sehr erfahrene Speerschneider.

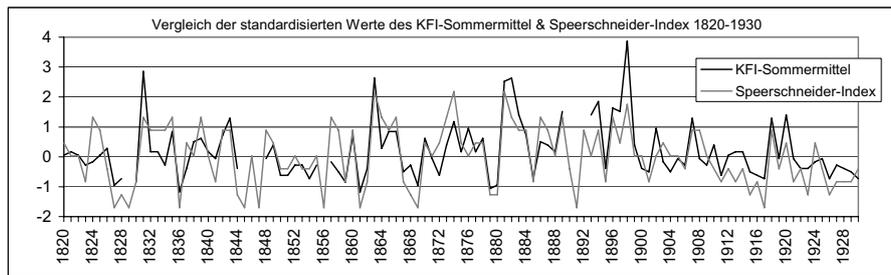


Abb. 9: Der Vergleich zwischen den Werten des standardisierten KFI-Sommermittels und denen des Speerschneider-Index

Der Vergleich der standardisierten Werte zeigt eine recht gute Übereinstimmung (Abb. 9). Lediglich 1831 und 1898 fallen als Ausreißer ins Auge.

Fabricius et al. (1995) arbeiteten ebenfalls mit den Karten von Speerschneider. Sie verwendeten die nördlichste Ausdehnung des Storis an der Westküste Grönlands zur Bestimmung der Eisschwere zwischen 1820 und 1994. Ob sich dies wirklich eignet, um die Eismenge zu bestimmen, darf bezweifelt werden. Denn in einigen Jahren reicht die Eiszunge langgestreckt mit geringer westlicher Ausdehnung weit nach Norden, in anderen Jahren ist sie hingegen weit nach Westen ausgedehnt, reicht dafür aber nicht sehr weit nordwärts. Generell ist allerdings auch in dieser Zeitreihe ein ähnliches Muster zu erkennen.

Ein Vergleich mit der von Koch (1945) erstellten Zeitreihe für Island ergibt ein ähnliches Muster in beiden Zeitreihen. Insbesondere Maxima und Minima in den zehnjährigen gleitenden Mittelwerten haben eine ähnliche Struktur. Beide zeigen ein Minimum in der Eismenge in den 1840er Jahren und das lange deutliche Maximum im Zeitraum 1855-1910. Allerdings liegen die Spitzen nicht exakt zeitgleich. Betrachtet man die von Ogilvie & Jónsdóttir (2000) aufgestellte Zeitreihe für Island, so findet sich dort ebenso wie im KFI ein Maximum um die Jahrhundertwende vom 18. in das 19. Jahrhundert. Die zeitliche Überschneidung zwischen beiden Zeitreihen ist allerdings relativ kurz (1777-1850).

Die Erweiterung des Koch'schen Eisindex bis in die Gegenwart bei Wallevik & Sigurjónsson (1998) und Ogilvie & Jónsson (2001) zeigt Übereinstimmung, allerdings weniger in den Einzeljahren als vielmehr bzgl. der Maxima. Das deutliche Maximum um die vorletzte Jahrhundertwende findet sich auch hier, das deutliche Maximum von 1965 bis 1971 in Island ist in der KFI-Zeitreihe allerdings nur schwach ausgeprägt.

Auch die von Vinje (2001) aus den historischen Aufzeichnungen von Adolf Hoel rekonstruierte Zeitreihe der Eisverhältnisse der Gewässer um Spitzbergen nach 1850 gehört zum Ostgrönlandstrom-Eisregime. Wie bisher alle Zeitreihen, so stellt auch Vinje (2001) einen Rückgang insbesondere in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts fest. Dies deckt sich mit den Beobachtungen aus der KFI-Zeitreihe. Besonders ausgeprägt ist dies bei Vinje (2001) im westlichen Untersuchungsgebiet, das zum gleichen Eisregime wie Island und Südgrönland gehört.

Die zu einem anderen Eisregime gehörende Zeitreihe des Eises um Neufundland von Hill (1998) zeigt bei den gleitenden Mittelwerten ähnlichen Verlauf mit einem Maximum um die Jahrhundertwende zwischen 19. und 20. Jahrhundert.

7 Abschließende Betrachtung der Zeitreihe

In der vorliegenden Arbeit, einem Exzerpt aus Pflüger (2005), konnte mit dem Kap Farvel Eisindex (KFI) eine der bisher längsten Zeitreihen der Eisverhältnisse der Arktis erstellt werden. Die jeweiligen Monatszeitreihen und das Sommermittel des KFI geben die Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands über einen 226jährigen Zeitraum hinweg an, nämlich von 1777 bis 2002.

Der Vergleich des KFI-Sommermittels mit anderen Eis-Zeitreihen der Arktis zeigt, dass zwar die einzelnen Jahre in den jeweiligen Gebieten deutlich voneinander abweichen, die generellen Trends aber Ähnlichkeiten aufweisen, wie dies stellvertretend 10- und 30jährige Mittelwerte bzw. Mediane belegen. Da es bei solitär vorkommenden Zeitreihen schwierig ist, eine Qualitätsanalyse durchzuführen, ist die Ähnlichkeit sowohl rechnerischer als auch zeichnerischer Art in den Kurven eine Maßgabe für die Qualität der durchgeführten Arbeiten.

Deutlich zu erkennen sind zwei Maxima-Strukturen in den KFI-Zeitreihen, teilweise auch in den übrigen Zeitreihen, die sich um die Wende zum 19. und die Wende zum 20. Jahrhundert abzeichnen. Eine Minimastruktur liegt zwischen diesen beiden Maxima, unterbrochen von einer Periode etwas stärkerer Vereisung in den 1830er Jahren.

Das 20. Jahrhundert verhält sich in allen analysierten Zeitreihen ungewöhnlich, was aber auch in den besseren Observationstechniken begründet sein kann. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass dies ausschließlich als Ursache für den drastischen Abfall der Eisverhältnisse im 20. Jahrhundert heranzuziehen ist.

Die stärkste Eismengenreduzierung findet deutlich vor 1920 statt, je nach Zeitreihe sogar noch früher. Die Reduktion der Eismenge setzt sich auch nach 1920 fort, jedoch weniger stark, liegt dafür aber deutlich unter dem Niveau des 19. Jahrhunderts. Da sich dieses Muster des Eismengenverlusts in allen Zeitreihen wiederfindet, ist davon auszugehen, dass es sich um ein generelles Klimaphänomen der Nordhemisphäre handelt.

Zwar sind die rekonstruierten Meereiszeitreihen sicherlich mehr oder weniger großen Fehlern unterworfen, sie geben aber einen generellen Überblick über die Stärke der Vereisung im Bereich des Ostgrönlandstromes. Somit stellt die KFI-Zeitreihe eine weitere Möglichkeit zum Vergleich von Klimadaten dar, die als Qualitätsstütze für andere Zeitreihen dienen können, sofern sie mit dieser in Relation stehen.

Ob die starke Reduktion der Eisverhältnisse im 20. Jahrhundert ein kurzer Trend ist oder sich für die Zukunft eine weitere Reduktion erwarten lässt, lässt sich hier genau so wenig beantworten wie die Frage, ob der Mensch für diese Veränderung verantwortlich zeichnet. Letztlich handelt es sich bei dem Eistransport um einen Ausdruck des Klimageschehens, der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation. Wie sich dadurch die Eisverhältnisse an der Südspitze Grönlands weiter entwickeln werden, lässt sich nicht eindeutig prognostizieren.

Die generelle Ähnlichkeit der Trends in den Zeitreihen belegt unzweifelhaft, dass die Eismenge über einen langen Zeitraum hinweg tatsächlich weniger geworden ist, insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gegenüber den belegbaren Zeiträumen zuvor. Es ist allerdings auch deutlich zu erkennen, dass um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert ein Maximum vorlag. Bisherige lange Eiszeitreihen beginnen überwiegend in oder nach ihm. Sie können diese Maximumstruktur daher nicht erkennen und registrieren stattdessen nur eine mehr oder weniger kontinuierlich rückläufige Tendenz. Die vorliegende Studie zeigt, dass die größte Eismengenreduktion der Arktis im 20. Jahrhundert bereits in dessen erstem Drittel stattfand.

Literatur

- Bergthórsson, P. (1969): An Estimate of Drift Ice and Temperature in 1000 Years. In: *Jökull* 19, 94-101.
- Chapman, W.L. & J.E. Walsh (1993): Recent Variations of Sea Ice and Air Temperature in High Latitudes. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 74 (1), 33-47.
- Fabricius, J.S., K. Frydendahl & P. Frich (1995): Polar Sea Ice off West Greenland. A Review. In: Nixon, W.A., D.S. Sodhi & N.K. Sinha (eds.): *Proceedings of the 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 1995.
- Gad, F. (1982): *The History of Greenland III 1782-1808*. Copenhagen.

- Glaser, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Darmstadt.
- Herrmann, E. (1949): Das Nordpolarmeer. Das Mittelmeer von Morgen. Berlin.
- IABP (2000): International Arctic Buoy Programme and Arctic Buoy Data 1979-1999. CD-Rom-Version 1.0. Marine Environmental Data Service, Ottawa.
- Koch, L. (1945): The East Greenland Ice. København.
- Nautisk-Meteorologische Observationer 1897, Danske Meteorologiske Institut, Kjøbenhavn 1898.
- NSIDC (eds.) (2000): Sea Ice Atlas for the Arctic Ocean. Environmental Working Group, Joint U.S. Russian Sea Ice Atlas. Version 1.0, 1 September 2000, Boulder, Colorado.
- Ogilvie, A.E.J. & I. Jónsdóttir (2000): Sea Ice, Climate, and Icelandic Fisheries in the Eighteenth and Nineteenth Centuries. *Arctic* 53, 383-394.
- Ogilvie, A.E.J. & T. Jónsson (2001): „Little Ice Age“ Research. A Perspective from Iceland. *Climatic Change* 48, 9-52.
- Ogilvie, A.E.J. (1984): The Past Climate and Sea-Ice Record from Iceland. P. 1: Data to A.D.1780. *Climatic Change* 6, 131-152.
- Pflüger, B. (2001): Rekonstruktion von Meereisgrenzen aus historischen Logbüchern des 18. Jahrhunderts. *Bamberger Geographische Schriften* 20, 169-181.
- Pflüger, B. (2001a): Das Meereis der südlichen Davis Strait 1798-1801. *Hamburger vegetationsgeographische Mitteilungen* 14, 59-77. Hamburg.
- Pflüger, B. (2005): Das Meereis um Südgrönland 1777-2002. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg*, Band 97. Hamburg.
- Pflüger, B. & A. Dreves (2006): Is the Drift Ice at Cap Farvel Formed in the Central Arctic Basin? Check of a Hypothesis. Hamburg. (im Druck).
- Rahmstorf, S. & A. Ganopolski (1999): Long-Term Global Warming Scenarios Computed With an Efficient Coupled Climate Model. *Climatic Change* 43, 353-367.
- Sammlung der Eiskarten des DMI (Danske Meteorologiske Institut, Kopenhagen). Diese Karten wurden einzeln für die Schifffahrt als Navigationshilfe und synoptische Detail-Eiskarten publiziert.
- Speerschneider, C.I.H. (1931): The State of the Ice in Davis-Strait 1820-1930. København (Publikationer fra det Danske Meteorologiske Institut. Med. 8).
- Strübing, K. (1967): Die Eisführung des Ostgrönland-Stroms in Abhängigkeit von der Atmosphärischen Zirkulation über dem Nordpolarmeer. Dipl.-Arb. im Fach Geographie, Universität Hamburg, Math.-Nat. Fakultät.
- Thorndike, A.S. (1986): Kinematics of Sea Ice. In: Untersteiner, p. 489-551.
- Vinje, T. (2001): Anomalies and Trends of Sea-Ice Extent and Atmospheric Circulation in the Nordic Seas During the Period 1864-1998. *Journal of Climate* 14 (3).
- Wallevik, J.E. & H. Sigurjónsson (1998): The Koch Index. Formulation, Correction and Extension. Reykjavik.
- Walsh, J.E. & C.M. Johnson (1979): An Analysis of Arctic Sea Ice Fluctuations, 1953-77. *Journal of Physical Oceanography* 9, 580-591.

Adresse

Dr. Børge Pflüger
 Institut für Geographie
 Universität Hamburg
 Bundesstrasse 55
 D-20146 Hamburg

pflueger@colecc.de