

4.6 Verhaltens Warnsignal: Die Erwärmung des Nordpolargebietes während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

BIRGER TINZ & PETER HUPFER

Unheeded warning signal: The warming of the northern polar area during the first half of the 20th century - This warming from the 1920s to the 1940s has been noticed by a quick rise in air temperature, which was spatially and temporally different in the Arctic and by changes in the nature respectively. There were corresponding variations of the atmospheric circulation (increase of the southerly component). This climate change had remarkable consequences for the sea ice cover; the surrounding seas (incl. North Sea and Baltic Sea) and land surfaces. That's why this climate variation is about 80 years later still under discussion. The causes were non-anthropogenic. It can be assumed, that internal processes within the climate system, changes of solar activity and of atmospheric turbidity as well as variable convective processes in the North Atlantic Ocean played a role. This warming led to the strengthened interest of climatologists in recent climate changes.

Im Jahr 1932 ging eine Meldung um die Welt, nach der es dem sowjetischen Eisbrecher »Sibirjakow« erstmalig gelungen war, den nördlichen Seeweg zwischen Atlantischem Ozean und Pazifik entlang der Nordküsten Europas und Asiens ohne Überwinterung zu passieren. Ursachen dafür waren nicht nur die Einrichtung von Überwachungs- und Wetterstationen zur Erleichterung der Navigation, sondern vor allem eine sich insbesondere im Winter und Frühjahr vollziehende Erwärmung großer Teile des nördlichen Polargebietes.

Die Klimatologen nahmen sich dieser dramatisch anmutenden Erwärmung (auch verbunden mit einer Niederschlagszunahme) an und dokumentierten das Phänomen in vielen Einzelheiten. Als Beispiel sei hier nur die Arbeit des bekannten deutschen Meteorologen Richard Scherhag (1907–1970) über die Erwärmung des Nordpolargebietes genannt (SCHERHAG 1939). Aus ihr wurde bekannt, dass das Dezemberklima von Spitzbergen in den 1930er Jahren dem von Berlin im 19.

Jahrhundert entsprach. Entsprechend dieser Entwicklung reagierte das Meereis und nahm nach Ausdehnung und Dicke ab.

Aus der heutigen Sicht hat es sich dabei um die erste Phase einer große Teile der Erde betreffenden Erwärmung gehandelt, die um 1940 kulminierte und von einer Periode wechselnder, im Mittel negativer Temperaturanomalien (bezüglich der Referenzperiode 1961/90) abgelöst wurde. Danach kam es schließlich ab den 1970er Jahren zu der heute noch anhaltenden globalen Erwärmung, die in erster Linie auf die anthropogene Erhöhung der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen zurückzuführen ist. *Abb. 4.6-1* enthält den Verlauf der Anomalien der über die Nordhemisphäre jährlich gemittelten bodennahen Winterwerte der Lufttemperatur. Man erkennt, dass die zunächst noch negativen Abweichungen vom Mittelwert ab 1920 abnehmen und Ende der 1930er Jahre die Nulllinie erreichen und für einige Jahre überschreiten.

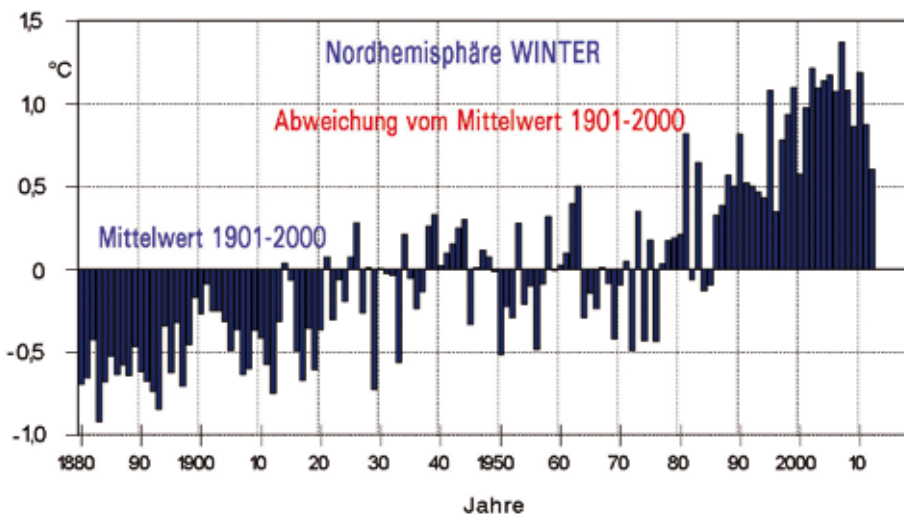


Abb. 4.6-1: Nordhemisphärische Wintermittelwerte der bodennahen Lufttemperatur, dargestellt als Anomalien zur Bezugsperiode 1901-2000. Daten NCDC (NOAA), Grafik Lozán 2013.

Den Temperaturanstieg seit dem frühen 20. Jahrhundert kann man als den Übergang von der so bezeichneten Kleinen Eiszeit (s. HUPFER & KUTTLER 2006) interpretieren. Detailliertere Untersuchungen (z.T. wiedergegeben in HUPFER 1991, S. 360/361) zeigen, dass diese Erwärmung mit der Annäherung an die hohen nördlichen Breiten immer stärker ausfiel und dass besonders die Winter und Frühjahr betroffen gewesen sind.

Die Entwicklung der Lufttemperatur

In *Abb. 4.6-2* ist eine Abschätzung der über fünf Jahre gemittelten Jahreswerte der bodennahen Lufttemperatur, räumlich gemittelt über die Breitenkreise 60°–90° N, für das 20. Jahrhundert dargestellt. Man erkennt ein stark verallgemeinertes Bild der hier diskutierten thermischen Klima-Anomalie, deren Beginn auf die Jahre um 1920 festgelegt werden kann. Nach einem bis in das Jahr fünf 1935/40 anhaltenden Anstieg um etwa 1 K erfolgte ein ähnlich rascher Rückgang, der allerdings die Ausgangswerte nicht ganz erreichte. In den 1970er Jahren setzte ein starker Temperaturanstieg ein, der ab der zweiten Hälfte der 1990er Jahre die 1935/40 eingetretenen Maximalwerte übertraf.

Die Entwicklung verlief in den Jahreszeiten unterschiedlich. Nach 1929 erfolgte eine Zunahme der Sommer- und Herbsttemperaturen, nachdem schon vorher die Wintertemperaturen angestiegen waren. Daher kam es in den 1930er Jahren zum größten Wärmezuwachs im Jahresdurchschnitt.

Wie unterschiedlich der Ablauf an einzelnen Regionen der Arktis war, sollen die Beispiele in *Abb. 4.6-3* zeigen. In DICKSON (73° 31' N, 80° 24' E), an der sibirischen Nordküste gelegen, stieg die Jahresmitteltemperatur nach 1925 allmählich unter Schwankungen an und erreichte erst 1944 das Maximum. Danach erfolgte mit Unterbrechungen ein schneller Abfall, der in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre noch nicht beendet war.

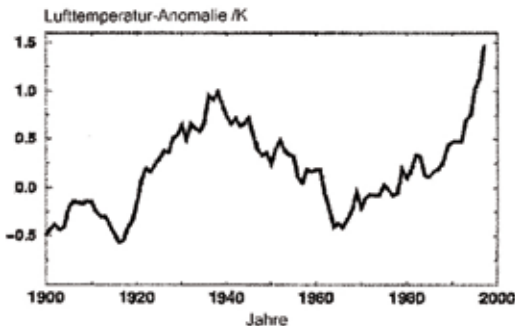


Abb. 4.6-2: Fünfjährig übergreifend über die Breitenkreise 60–90° N gemittelter Verlauf der Jahreswerte der bodennahen Lufttemperatur von 1900–2000. Datenquelle: Arktisches und Antarktisches Institut, St.Petersburg, aus BENGTISSON et al. (2004).

Ähnlich sieht die Winterkurve aus. Im Raum Norwegen dagegen erfolgt eine rasche Zu- und Wiederabnahme der jährlichen Lufttemperatur mit dem Maximum bereits in der zweiten Hälfte der 1930er Jahre, wobei auch hier die Wintertemperaturen sich ähnlich verhalten. An der Westküste Grönlands (Jacobshavn) ist der Anstieg der Jahreswerte ebenfalls steil mit dem Maximum um 1930, dem eine langsame, sich unter Schwankungen vollziehende Abnahme folgt. Die Winterwerte sind durch starke Schwankungen gekennzeichnet, der Erwärmungseffekt ist gegen 1950 als beendet anzusehen. Im Raum Island schließlich steigt die Temperatur in den 1930er Jahren rasch an und fällt langsam wieder ab. Im Winter ist in dieser Region der Prozess nach etwas späteren Zeitpunkten verschoben.

Die wenigen Beispiele zeigen, dass die Erwärmung der Arktis hinsichtlich Phasenlage und erreichten Beiträgen nicht einheitlich gewesen ist. Die Ursache für die unterschiedlichen Entwicklungen ist vermutlich in den zeitlich und räumlich veränderlichen Strukturen der sich korrespondierend verändernden atmosphärischen Zirkulation (s.u.) zu suchen, wodurch die Advektion wärmerer Luft- und Wassermassen zeitlich versetzt und in der Stärke differenziert erfolgte. Einzelheiten dazu bedürfen noch einer genaueren Untersuchung.

In manchen Regionen war der Ablauf noch dramatischer. In Finnland stieg bspw. die Temperatur im Winter und Frühjahr bis zum Ende der 1930er Jahre insgesamt um 5 K an, wobei die Erwärmung in den Jahren 1934 bis 1938 am stärksten war. Das führte dazu, dass der Winter 6-20 Tage kürzer war als früher und der Sommer bis zu 12 Tage eher begann. In diesen Jahren entsprach das Klima Südfinnlands etwa dem von Kiel. Der finale Rückgang der meist rasch erhöhten Temperaturen verlief ebenfalls unterschiedlich. Während in etlichen Gegenden auch im Jahrzehnt 1941/50 noch eine leichte Erwärmung vorherrschte, setzte danach ein häufig rapider Temperaturabfall ein. In *Abb. 4.6-4* ist der Vorgang für die Insel Franz-Josef-Land dargestellt.

Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation

Schwankungen der Klimatelemente (Lufttemperatur, Niederschlag u.a.) gehen stets mit korrespondierenden Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation einher. Wird dadurch für ein Gebiet stärkere Warmluftadvektion (Kaltluftadvektion) bewirkt, so kommt es zur Erhöhung (Erniedrigung) des Mittelwertes der Lufttemperatur. In *Abb. 4.6-5* sind die mittleren jährlichen Veränderungen der Zonal- (auch als »Arktische Oszillation« bezeichnet) und Meridionalzirkulation im Bereich des nördlichen Nordatlantiks auf der Grundlage von Luftdruckdifferenzen für das 20. Jahrhundert

dargestellt. Am auffälligsten ist das seit den 1960er Jahren erreichte hohe Niveau der beiden Komponenten, d.h. die starke Erwärmung der Gegenwart ist mit der Zunahme der Luftströmungen aus südwestlichen Richtungen verbunden. Im Zeitfenster der hier untersuchten frühen Erwärmung erkennt man vor allem eine auffällige Zunahme der südlichen Meridional Komponente. Betrachtet man die (hier nicht dargestellten) Verläufe in den Jahreszeiten, so kann man feststellen, dass diese Prozesse besonders im Winter gut ausgebildet sind. Mit der Verstärkung der Südkomponente

verbunden ist auch eine Wärme- und Salzadvektion im Ozean (DICKSON et al. 1988, 1996).

Zu den Folgen der Klimavariation

Wie schon einleitend festgestellt worden ist, reagierten die arktischen Eisverhältnisse rasch auf die Zunahme der Lufttemperatur. Allerdings war damals die Meereisfläche nicht in statistisch signifikanter Weise einer Veränderung unterworfen wie es in den letzten Jahrzehnten beobachtet werden konnte (Abb. 4.6-6). Sowohl im Sommer als auch im Winter werden in der Zeit der hier

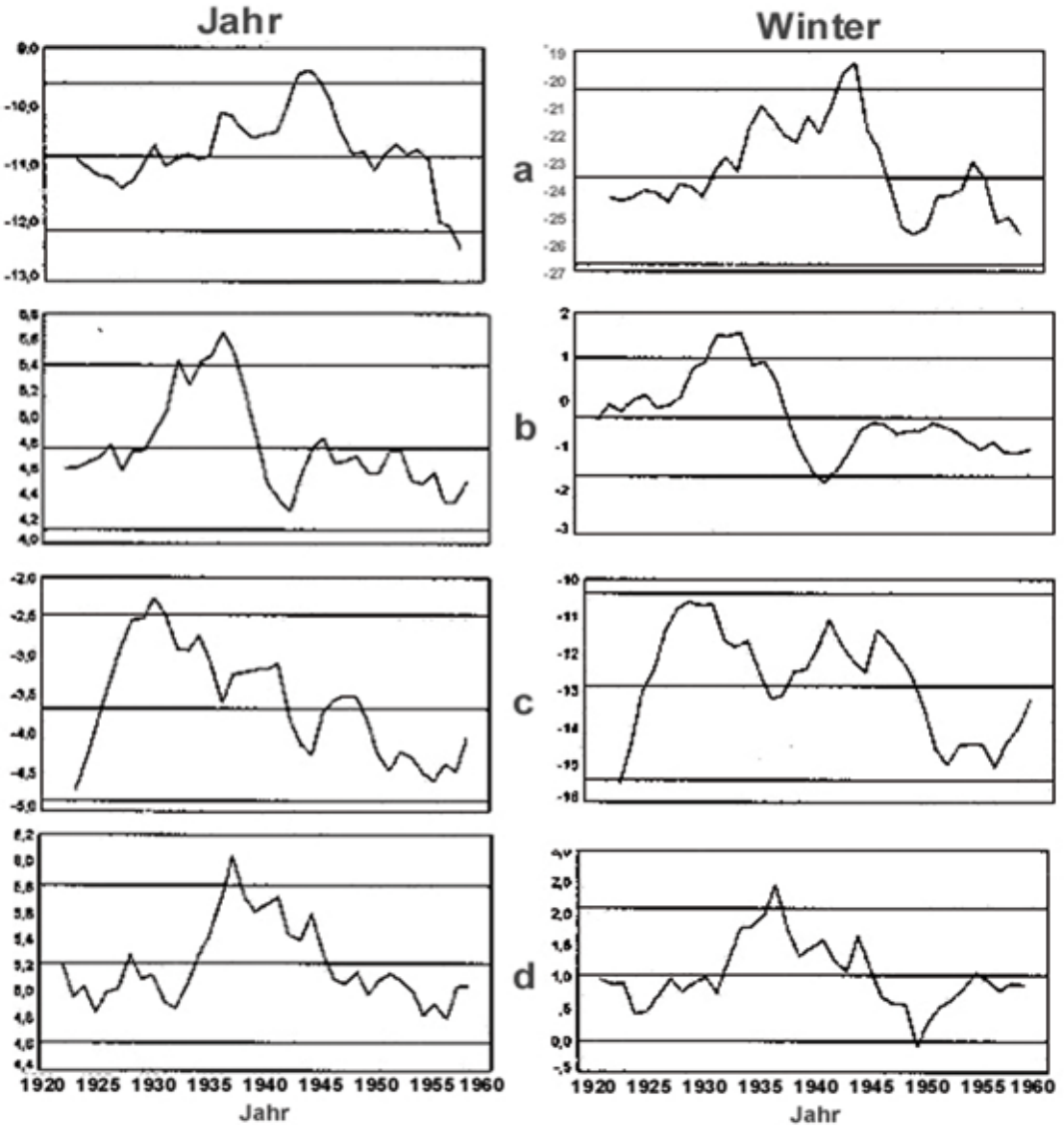


Abb. 4.6-3: Fünffährig übergreifend gemittelte Jahres- (links) und Winterwerte (rechts) der bodennahen Lufttemperatur in Dickson (nordsibirische Küste) (a), im Raum Norwegen (b), in Jakobshavn (Westküste Grönlands) (c) und im Raum Island (d) von 1920 bis 1960. Datenquelle: World Weather Records, Smithsonian Institution, Washington D.C. und andere.

untersuchten Erwärmung die Mittelwerte der Meereisfläche nur geringfügig unterschritten. Allerdings kann aus dieser Feststellung nicht auf Eisparameter wie Festigkeit, Farbe, Stärke u.a. geschlossen werden.

Eindrucksvoller sind die Veränderungen der Meereisverhältnisse um Island herum. Für diese Seegebiete existiert eine lange Index-Reihe (KOCH 1945), die bis 800 Jahre zurück gebildet werden konnte. Der Eisindex wird aus dem Produkt Zahl der Wochen mit Meereis/Jahr x Zahl der isländischen Küstenabschnitte mit Eis im betreffenden Jahr gebildet. Man erkennt, dass die Eisverhältnisse seit dem mittelalterlichen Kli-

ma-Optimum noch nie wieder so gering waren wie zwischen ca. 1920 bis 1960 (Abb. 4.6-7a). Danach kam es analog zum Lufttemperaturverlauf wieder zur Eiszunahme, zur Gegenwart setzte erneute Abnahme ein. In Abb. 4.6-7b ist die Eisentwicklung in stärkerer Auflösung dargestellt. Dadurch werden die für Schifffahrt und Fischerei sehr günstigen Eisbedingungen in der Zeit der frühen Erwärmung im Detail deutlich.

Im Zuge der Erwärmung erhöhten sich vor allem die Wassertemperaturen der nördlichen Meere im oberflächennahen Bereich. Als ein Beispiel ist der Verlauf der Jahreswerte der Oberflächentemperatur im Bereich der Färöer-Inseln zusammen mit der korrespondierenden Lufttemperatur dargestellt. Man sieht die prinzipielle Gleichartigkeit der Vorgänge in Atmosphäre und Meer, wobei im dargestellten Beispiel die Meereserwärmung etwas eher einsetzte. Ähnliche Verhältnisse zeigte die Entwicklung in den einzelnen Monaten (Abb. 4.6-8). Für die Wärmeabgabe vom Meer an die Luft ist die Differenz der beiden Größen maßgebend (HUPFER 1988). Bei höherer Wassertemperatur wird fühlbare Wärme an die Atmosphäre abgegeben, wodurch sich das Wasser abkühlt und aufgrund der dann höheren Dichte in tiefere Schichten des Meeres absinken kann (thermohaline Konvektion). Die begleitende Zunahme des Salzgehaltes trägt zur Erhöhung der Meerwasserdichte bei. Die veränderten Temperatur- und Salzgehaltsverhältnisse in dieser Zeit beeinflussten die Flora und Fauna im Meer, wodurch es zu einer bemerkenswerten biologischen Umstimmung der nördlichen Meere kam, was sich auch auf die Fischerei auswirkte (dazu und zu anderen Auswirkungen s. HUPFER 1962, S. 475-482).

Interessante Effekte gab es als Folge dieser klimatischen Erwärmung auch für die Nordsee (z.B. GOEDECKE 1952) und die Ostsee (z.B. HUPFER 1962). Auch

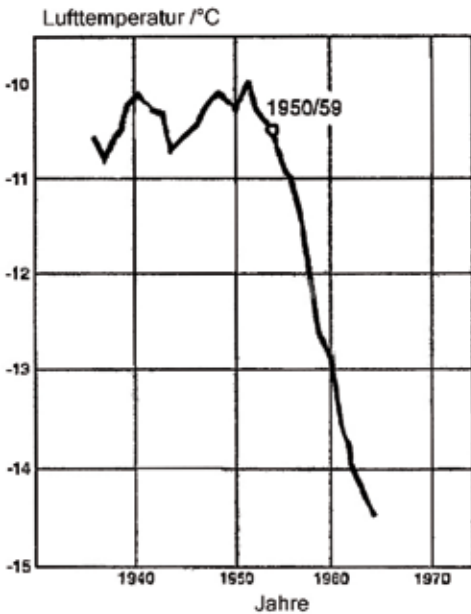


Abb. 4.6-4: Zehnjährig übergreifend gemittelte Jahreswerte der bodennahen Lufttemperatur für Franz-Josef-Land zwischen 1930 und 1970, nach SCHERHAG (1970).

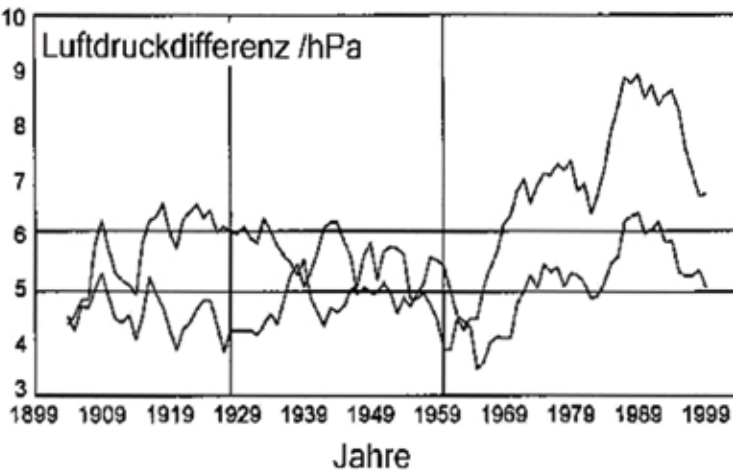


Abb. 4.6-5: Elfjährig übergreifend gemittelter Verlauf von Jahreswerten der meridionalen Luftdruckdifferenz (hPa, untere Linie) 40°N , 20°W minus 80°N , 10°W und der zonalen Luftdruckdifferenz (hPa, obere Linie) 0° minus 40°W (auf 60°N). Positive (negative) Werte der meridionalen Luftdruckdifferenz entsprechen Winden aus westlicher (östlicher) Richtung. Positive (negative) zonale Luftdruckdifferenzen bedeuten Winde aus südlicher (nördlicher) Richtung. Die waagerechten Linien markieren die Lage der Mittelwerte. Datenquelle: Gitterpunktdatensatz ds010.1, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA.

in der Westlichen Ostsee kam es um 1930 zur Erwärmung, die im Sommer mit einer deutlichen, vorübergehenden Erhöhung der Länge der Badesaison in den Küstenorten verbunden gewesen ist. Die ebenfalls nachweisbare Salzgehaltszunahme führte zum Auftreten von für das Gebiet neuen Planktonarten sowie Änderungen im Fischbestand. So wurden in der Ostsee wärmeliebende Anchovis und Sardellen gefangen, begleitet von einer starken Entwicklung des Dorsches. Als Besonderheit der thermischen Entwicklung in diesem Seegebiet geht aus *Abb. 4.6-9* hervor, dass nach Abklingen der hier untersuchten Erwärmung es zu einem nochmaligen Maximum in den 1970er Jahren kam, während danach sogar eine abnehmende Temperatur zu beobachten ist.

Schließlich sind Folgen für die Landgebiete zu erwähnen, wo sich u.a. die Vegetationsperiode deutlich verlängerte. Dementsprechend verschoben sich die Vegetationsgrenzen mit der Lufttemperaturerhöhung nach Norden. Die komplexen Beziehungen zwischen Temperaturzunahme und Landnutzungsparametern konnten von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen studiert werden (s. Kap. 3.1 - DANIEL et al.).

Ursachen für Entstehen und Vergehen der Anomalie

JOHANNESSEN et al. (2004) und BENGTSSON et al. (2004) kommen auf der Grundlage der Analyse von Beobach-

tungsdaten und der Ergebnisse von Klimamodellierungen für die Lufttemperatur und Meereisparameter für das 20. Jahrhundert zu der begründeten Auffassung, dass die hier diskutierte frühe Erwärmung der Arktis ebenso wie die darauffolgende Abkühlung nicht oder nur in sehr geringem Maße auf die Tätigkeit des Menschen zurück zu führen ist (die gesamte Kohlenstoffemission betrug 1920 wenig mehr als 15% des Wertes von 1990). Sie favorisieren die Auffassung, dass die frühe Erwärmung ohne äußere Einflüsse aus dem Klimasystem selbst entstanden ist. So wird darauf verwiesen, dass in Langzeitsimulationen mit Hilfe fortgeschrittener gekoppelter Atmosphäre-Ozean-Eis-Modelle derartige Klimaereignisse vorkommen, die somit als chaotische Fluktuationen gedeutet werden können. Im Gegensatz dazu wird belegt, dass die Erwärmung der Arktis und die damit verbundene Veränderung der Eisverhältnisse in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts primär auf äußere Einflüsse, d.h. auf die zunehmende Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen zurückzuführen ist.

Als primäre Ursachen für die hier diskutierte Klima-Anomalie können jedoch auch globale Einflüsse auf das Klimasystem in Betracht gezogen werden. So existierte in der fraglichen Zeit möglicherweise ein temperaturwirksamer solarer Einfluss, der sich durch eine signifikante negative Korrelation zwischen der Länge der Sonnenfleckenzyklen und der nordhemisphärischen Mitteltemperatur ausdrückte (»Sonnenmelodie« nach STELLMACHER & MENDE 1992, s. dazu *Abb.* in HUPFER 1996, S. 70). Mit dem Erreichen des Temperaturmaximums um 1940 kam es zum Minimum der Zyklenlänge. Einen Überblick zum Problem Solaraktivität und Klimaschwankungen gibt CUBASCH (2002). Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass KONDRAT'EV (1985) eine globale Kurve der Trübung der Atmosphäre infolge vulkanogener Aerosolteilchen und ihrer Derivate vorgestellt hat (s. *Abb.* in HUPFER 1991, S. 104). Danach nahm die atmosphärische Trübung seit etwa Anfang des 20. Jahrhunderts ab und erreichte um 1940 ihr Minimum und nahm danach wieder zu. Diese äußeren Einflüsse auf das Klimasystem könnten die globale Erwärmungstendenz begünstigt haben.

Die starke Erwärmung des Nordpolargebietes kann zum einen auf die zirkulationsbedingte Wärmedevktion in Atmosphäre und Meer zurückgeführt werden (s.o.). Die Veränderung der Eisverhältnisse führte zur Auslösung der Eis-Albedo-Rückkoppelung. Dieser Prozess besteht darin, dass eine abnehmende Albedo (Rückstrahlvermögen für Sonnenstrahlung) zu einer Erhöhung der Strahlungsabsorption, zur Erwärmung und damit zur weiteren Verringerung der Eisalbedo führen kann. Schließlich sei vermerkt, dass vor allem im An-

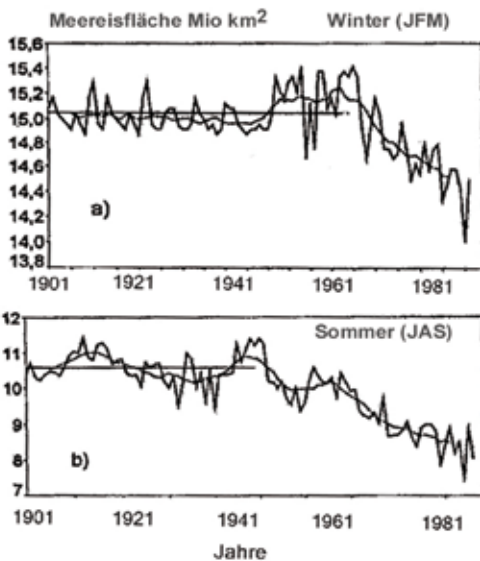


Abb. 4.6-6: Entwicklung der Meereisfläche in der Arktis (in 10^6 km²) im Winter (a) und Sommer (b) für 1901–1997 (ausgezogene Kurven) sowie die elfjährig übergreifend gemittelten Werte, nach WALSH & CHAPMAN (2000). Die waagerechten Linien markieren das Mittel 1901/70 (a) und 1901/50 (b).

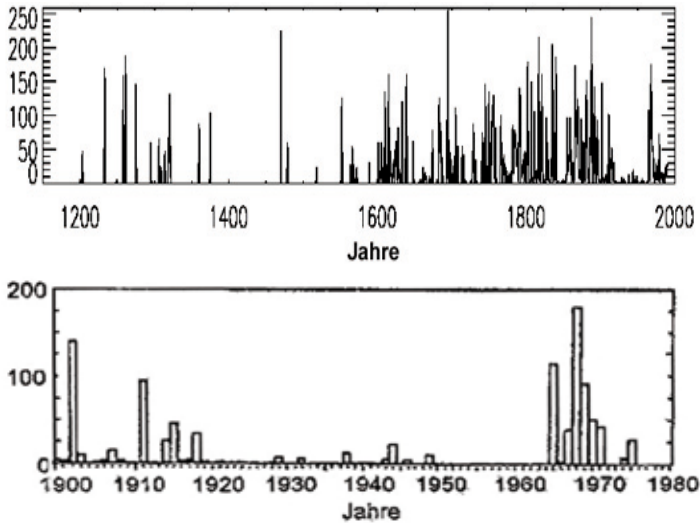


Abb. 4.6-7: KOCH-Index des Vorkommens von Eis vor den Küsten Islands seit 1200 (a) nach LASSEN & THELJLL 2005) und in höherer zeitlicher Auflösung von 1901–1975 (b) nach DICKSON et al. 1988).

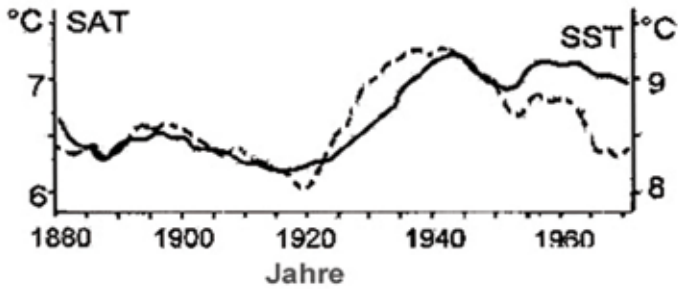


Abb. 4.6-8: Gang der zehnjährig übergreifend gemittelten Jahreswerte der Oberflächenwassertemperatur (ausgezogene Kurve, SST) in der Region der Färöer-Inseln (ICES-Gebiet J) und der bodennahen Lufttemperatur von Thorshavn (gestrichelte Linie, SAT). Datenquelle: SMED (1983), aus HUPFER (1985).

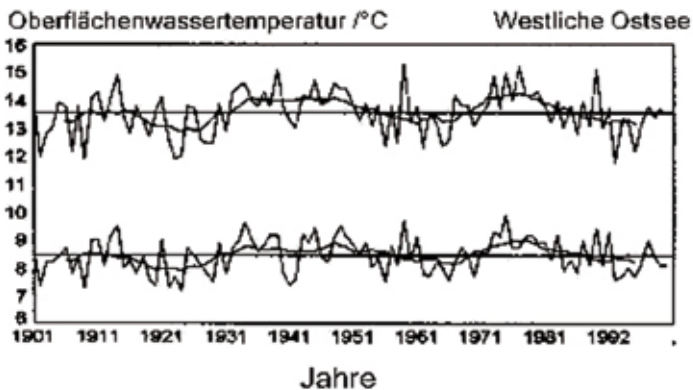


Abb. 4.6-9: Jahres- (unten) und Sommersaisonwerte (Mai bis September; oben) der Oberflächenwassertemperatur für die Westliche Ostsee im 20. Jahrhundert. Aus TINZ (2000). Die elfjährig übergreifenden Mittelwerte sind punktiert. Die waagerechten Linien markieren die Mittelwerte.

fangsstadium der Klima-Anomalie gute Bedingungen für die Vertikalkonvektion im Ozean bestanden haben, wodurch die Heranführung weiterer warmer Wassermassen begünstigt worden ist. Schon nach Abklingen der Erwärmung änderten sich diese Verhältnisse infolge der Mischung des Meerwassers mit kaltem Schmelzwasser (DICKSON et al. 1988, 1996).

So könnten ganz verschiedene Prozesse im Ozean und in der Atmosphäre sowie Einflüsse von außen diese zeitlich begrenzte Erwärmungsperiode bewirkt haben.

Schlussbemerkung

Die hier behandelte Erwärmung im Polargebiet in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wird bis heute anhaltend in einer relativ umfangreichen Spezialliteratur diskutiert. Es war die erste Gelegenheit für die Klimatologen und andere interessierte Wissenschaftler, Verlauf und Folgen einer rezenten Klimaschwankung zu studieren (so auch während des Internationalen Polarjahres 1932/33, an dem Wissenschaftler aus 15 Ländern teilnahmen). Rückblickend kann der Ablauf einer zeitlich begrenzten, jedoch tiefgreifenden und mit Folgen verschiedener Art behafteten Klimaänderung auf der Basis von Daten und Modellrechnungen genau untersucht und Schlussfolgerungen gezogen werden. Seit Erkennen und Verfolgen dieser Klimavariation stieg das Interesse der Wissenschaft an den rezenten Klimaschwankungen stark an, was schließlich zu relativ sicheren Erkenntnissen über einen anthropogenen globalen Klimawandel mit seinen vielfältigen Konsequenzen für Natur und Gesellschaft im ausgehenden 20. Jahrhundert geführt hat.

Es wäre indes ein fataler Irrtum anzunehmen, dass über das Klima und seine Schwankungen heute im Wesentlichen alles bekannt ist. Ständig werden neue Erkenntnisse gewonnen, durch die bisherige Vorstellungen revidiert werden müssen. Ein Beispiel ist die Neubewertung der Bedeutung des zurückgehenden Nordpolareises im Sommer für die darauffolgenden europäischen Winter, wie das in diesem Band von K. Dethloff et al. beschrieben worden ist. Das wirft neue Fragen auf. So hat es den Anschein, dass in der Zeit der hier betrachteten Erwärmung des Polargebietes ein Zusammenhang mit der Winterstrenge in Europa nicht bestanden hat.

Literatur

BENGTSSON, L., V. A. SEMENOV & O. M. JOHANNESSEN (2004): The early twentieth-century warming in the Arctic - a possible mechanism. *Journal of Climate* 20, 4045-4057.
 CUBASCH, U. (2002): Variabilität der Sonne und Klimaschwankungen. *promet* 28. H. 34, 123-132 (Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M.).
 DICKSON, R. R., J. MEINCKE, S.-A. MALMBERG & A. J. LEE

(1988): The „Great Salinity Anomaly“ in the Northern North Atlantic 1968-1982. *Prog. Oceanog.* 20, 105-151.
 DICKSON, R. R., J. L. LAZIER, J. MEINCKE, P. RHINES & J. SWIFT (1996): Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Prog. Oceanog.* 38, 241-295.
 GOEDECKE, E. (1952): Das Verhalten der Oberflächentemperaturen in der Deutschen Bucht während der Jahre 1872 – 1950 und der Zusammenhang mit dem der nordwesteuropäischen Gewässer. *Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch., N.F.*, 13:1.
 HUPFER, P. (1962): Meeresklimatische Veränderungen im Gebiet der Beltsee seit 1900. *Veröff. Geophys. Inst. Univ. Leipzig*. 2. Ser., 17:4, 355-512
 HUPFER, P. (1985): Atmosphäre und Ozean. *Abh. Meteorol. Dienstes DDR* Nr. 134, 75-84.
 HUPFER, P. (1988): Beitrag zur Kenntnis der Kopplung Ozean/ Atmosphäre in Teilgebieten des Nordatlantischen Ozeans. *Abh. Meteorol. Dienstes DDR* Nr. 140, 89-100.
 HUPFER, P. (Hrsg. 1991): Das Klimasystem der Erde. Akademie Verlag, Berlin, 464 S.
 HUPFER, P. (1996): Unsere Umwelt.: Das Klima. Globale und lokale Aspekte. B. G. Teubner, Stuttgart und Leipzig, 335 S.
 HUPFER, P. & W. KUTTLER (2006): *Witterung und Klima*. 12. Auflage. B.G. Teubner, Wiesbaden, 554 S.
 JOHANNESSEN, O. M., L. BENGTSSON, M. W. MILES, S. I. KUZMINA, V. A. SEMENOV, G. V. ALEKSEEV, A. P. NAGURNYI, V. F. ZAKHAROV, L. P. BOBYLEV, L.H. PETERSSON, K. HASSELMANN & H. P. CATTLE (2004): Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus* 56A, 328-341.
 KOCH, L. (1945): The east Greenland ice. *Meddeleser om Grønland* 130:3, Kopenhagen, 375 S.
 KONDRAT'EV, K. J. A. (1985): Vulkane und Klima. Wege der Wissenschaft und Technik. Serie Meteorologie und Klimatologie. 14(1985), 203 S. (in russischer Sprache).
 LASSEN, K. & P. THEIJLL (2005): Multi-decadal variation of the East Greenland sea-ice extent: AD 1500-2000. *Scientific Report of the Danish Meteorological Institute* 05-02, 13 S.
 SCHERHAG, R. (1939): Die Erwärmung des Polargebiets. *Ann. d. Hydogr. u. maritim. Meteor.* 67:11, 57-67.
 SCHERHAG, R. (1970): Die gegenwärtige Abkühlung der Arktis. *Berliner Wetterkarte (Freie Universität Berlin)* SO 31/70, Berlin.
 SMED, J. (1983): Monthly anomalies of the sea surface temperature of the northern North Atlantic 1876-1975. *ICES Oceanographic Data Lists and Inventories*. Charlottenlund.
 SMITHSONIAN INSTITUTION: *World Weather Records*. Washington D.C., einschlägige Jahrgänge.
 STELLMACHER, R. & W. MENDE (1992): Sonnenaktivität und Klimaänderungen. *Wiss. Z. Humboldt-Universität zu Berlin, Math. Naturwiss. R.*, 41:2, 37-41.
 TINZ, B. (2000): Der thermische Impakt von Klimaschwankungen im Bereich der deutschen Ostseeküste. *Dissertation, Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften* 1999. Shaker-Verlag, Aachen, 172 S.
 WALSH, J. E. & W. L. CHAPMAN (2000): Twentieth-century sea ice variations from observational data. *Annals of Glaciology* 22.

Kontakt:

Prof. Dr. Peter Hupfer
 Humboldt Universität zu Berlin
 up.hupfer@freenet.de
 Dr. Birger Tinz
 Deutscher Wetterdienst, Hamburg
 birger.tinz@dwd.de