

**HOLOCENE VARIABILITY OF  
SURFACE AND DEEP WATER ADVECTION TO THE ARCTIC OCEAN  
—  
A MULTIPROXY PERSPECTIVE  
FROM THE EASTERN FRAM STRAIT**

**Dissertation**

Zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

**Kirstin Werner**

Kiel, 2011

Referent

Korreferent

Tag der Disputation

Zum Druck genehmigt

Prof. Dr. Martin Frank

Prof. Dr. Ralph Schneider

28. November 2011

28. November 2011

---

gez. Prof. Dr. Lutz Kipp, Dekan

---

## SUMMARY

Micropaleontological, geochemical, and sedimentological parameters of two sediment cores from the eastern Fram Strait have been studied to reconstruct the variability of surface and deep water advection and related fluctuations of the marginal ice zone during the past ca ~9,000 years with multidecadal resolution. The Fram Strait between Greenland and Svalbard is the only deep connection between the Arctic and adjacent subpolar oceans and is often referred to as the ‘Arctic Gateway’. Fram Strait thus plays a crucial role for the energy budget and density pattern of the Arctic Ocean. Large amounts of warm and saline Atlantic Water derived from the North Atlantic Drift transport most of the heat through eastern Fram Strait to the Arctic basin, resulting in year-round ice-free conditions. Arctic sea ice and cold and fresh waters exit the western part of the strait southward along the Greenland shelf. Compared to the ice-covered Arctic Ocean, the strong east-west temperature gradient results in higher bioproductivity and sedimentation rates in the eastern Fram Strait which allows for suitably tracking Holocene variations of the heat flux to the Arctic Ocean in continuous high-resolution sediment sequences.

The multiproxy results presented in this thesis suggest that the Holocene climate and oceanographic development in the Fram Strait and possibly the Arctic Ocean was much more variable than previously assumed. The variation and interaction between warm and saline advection of Atlantic Water at the surface to subsurface into the Arctic Ocean and a correspondingly fluctuating sea ice margin characterise the eastern Fram Strait throughout the Holocene. The data imply that the transition from deglacial/Early Holocene to modern-like conditions occurred stepwise. Inferred from the high relative abundance of the subpolar planktic foraminifer species *Turborotalia quinqueloba*, intense advection of warm Atlantic Water to the Arctic Ocean marks the Early and Mid-Holocene interval (~9,000 to 5,000 years before present), concurrent with high insolation at that time. Superimposed on optimum climate conditions, repeated cold events such as the well-known ‘8,200 year cold event’ are observed. These cold events are likely related to repeated advances of the sea ice margin and the Arctic freshwater layer. A roughly 550-year cyclicity of bottom water inflow, indicated by benthic carbon isotope data, coincide with North Atlantic bottom sediment proxy records and may suggest that deepwater variations in the Fram Strait were linked to changes in thermohaline convection processes in the Nordic Seas.

Modern (pre-industrial) climate conditions evolved after 5,000 years before present, simultaneous to the decreasing insolation and postglacial sea level highstand which likely resulted in the onset of modern-like sea ice production on the shallow Siberian shelves. Dominance of the coldwater-indicating planktic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* and a significantly increasing amount of ice rafted material point to a weaker and/or cool subsurface Atlantic Water inflow and

advances of the Arctic Front during the Late Holocene Neoglacial phase. Strong southeastward advances of Arctic sea ice and polar water likely prevailed and caused heavy winter sea ice conditions and relatively short ice-free summer seasons in the eastern Fram Strait during this period.

Distinct changes linked to the variable Atlantic Water inflow and fluctuations of the sea ice margin occurred during the past ~2,000 years. More stable conditions and reduced influence of the sea ice margin characterise the well-known Medieval Climate Anomaly. Subsequently, colder conditions mark the onset of the Little Ice Age period which occurred in two phases in the eastern Fram Strait. A first phase from ~1350 to 1750 AD was characterised by frequent shifts of the marginal ice zone, indicated by high amounts of ice rafted material and highly fluctuating planktic foraminifer fluxes. After ~1750 AD a second, very cold phase with heavy sea ice conditions established, concomitant with an increased abundance of icebergs from advancing Svalbard glaciers. Changes in all studied proxies in the uppermost sediment layer confirm a strong climate shift during the past few decades. Highest relative abundance of subpolar planktic foraminifer species in the uppermost sediment layer and the application of two independent temperature reconstruction methods reveal a temperature increase of ~2°C within the past ~120 years.

Seawater-derived neodymium and lead isotope compositions stored in ferromanganese oxyhydroxide coatings of sediment particles were investigated to reconstruct Holocene variations of deep water exchanges between the Nordic Seas and the Arctic Ocean through Fram Strait. Inflow of deep waters from the Nordic Seas into the Arctic Ocean can clearly be deduced for the period between 9,000 and 3,000 years before present. Thereafter, coeval with the Neoglacial cooling trend in the northern North Atlantic region and the onset of modern Arctic sea ice production, significantly more radiogenic neodymium isotope compositions may be related to the enhanced release of ice rafted material in the eastern Fram Strait during the Late Holocene.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Sedimentkerne vom westlichen Kontinentalhang Spitzbergens (östliche Framstraße) auf Veränderungen des Oberflächen- und Tiefenwassereinstroms in die Arktis sowie die damit in Verbindung stehenden Verschiebungen der Eisgrenze während der vergangenen 9000 Jahre untersucht. Die Untersuchungen wurden anhand von mikropaläontologischen, geochemischen und sedimentologischen Methoden in multidekadischer Auflösung durchgeführt. Die Framstraße liegt zwischen Grönland und Spitzbergen und ist die einzige tiefe Verbindung zwischen dem Arktischen Ozean und den anliegenden subpolaren Meeren. Für den Energiehaushalt und die Dichteverteilung im Arktischen Ozean spielt sie daher eine entscheidende Rolle. Warmes, salines Atlantikwasser wird aus dem Süden durch die östliche Framstraße in die Arktis transportiert. Das warme Atlantikwasser führt zu ganzjährig eisfreien Verhältnissen in der östlichen Framstraße. Im Gegensatz dazu bleibt die westliche Framstraße ganzjährig von Eis bedeckt, da hier kaltes, geringer salines Oberflächenwasser aus der Arktis entlang des Grönlandschelfs nach Süden ins Europäische Nordmeer transportiert wird. Im Vergleich zum Arktischen Ozean, wo aufgrund der permanenten Eisbedeckung nur geringe Sedimentationsraten vorherrschen, führt der Temperaturgradient zwischen östlicher und westlicher Framstraße zu höheren Sedimentationsraten und vermehrter Produktion von biogenem Material. Die in der Framstraße verfügbaren, kontinuierlichen Sedimentablagerungen mit hoher zeitlicher Auflösung bieten sich somit insbesondere für die Untersuchung der Holozänen Veränderungen des Wärmeeinstroms in die Arktis an.

Die verschiedenen in dieser Arbeit verwendeten Indikatoren zeigen, dass die klimatischen und ozeanographischen Entwicklungen im Holozän vielfältiger waren, als bisher angenommen. Der veränderliche Einstrom von warmem, salinem Atlantikwasser und die Verschiebungen der Meereisgrenze standen während des gesamten Holozäns in der östlichen Framstraße deutlich miteinander in Wechselbeziehung. Die Untersuchungen legen nahe, dass der Übergang von den Umweltbedingungen im Frühholozän (etwa 11700 bis 8000 Jahre vor heute, J. v. h.) zu modernen (vorindustriellen) Bedingungen schrittweise erfolgte. Hohe relative Häufigkeiten der subpolaren planktischen Foraminiferenart *Turborotalia quinqueloba* während des Früh- und Mittelholozäns (bis etwa 5000 J. v. h.) verdeutlichen einen starken Einstrom von warmem Atlantischen Wasser in die Arktis und sind zeitgleich mit der damaligen, relativ hohen Sonneneinstrahlung. Diesem warmen Trend überlagert waren zwischen 9000 und 5000 J. v. h. wiederholte vorübergehende Kälteereignisse, beispielsweise das weithin bekannte Abkühlungsereignis vor etwa 8200 Jahren. Diese temporären Abkühlungen sind sehr wahrscheinlich auf wiederholte südostwärts gerichtete Vorstöße des polaren, gering salinen Oberflächenwassers aus der Arktis zurückzuführen.

Benthische Kohlenstoffisotopendaten deuten eine Zyklizität von etwa 550 Jahren im Tiefenwasser an, und lassen, in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Sedimentanalysen im Nordatlantik, auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Veränderungen im Tiefenwasser der östlichen Framstraße und Prozessen der Thermohalinen Konvektion im Europäischen Nordmeer schließen.

Moderne (vorindustrielle) Verhältnisse entwickelten sich nach 5000 J. v. H., zeitgleich mit einer verringerten Sonneneinstrahlung und dem postglazialen Meeresspiegelhöchststand, der vermutlich die moderne Meereisproduktion auf den flachen Schelfen Sibiriens einleitete. Im Spätholozän, das wegen der wieder einsetzenden Vergletscherungen in der nördlichen Hemisphäre oftmals auch als Neoglazialphase bezeichnet wird, verursachten starke südostwärts gerichtete Vorstöße der Meereisgrenze sowie ein abgeschwächter Einstrom von Atlantikwasser strenge winterliche Meereisbedingungen und relativ kurze eisfreie Sommer, wie aus der Dominanz der polaren planktischen Foraminiferenart *Neogloboquadrina pachyderma* und dem deutlichen Anstieg von eistransportiertem Material abzuleiten ist.

Die klimatischen und ozeanographischen Veränderungen während der letzten 2000 Jahre sind ebenfalls durch die Wechselwirkung der Intensität des Atlantikwassereinstroms mit Verschiebungen der Meereisgrenze gekennzeichnet. Die planktischen Foraminiferendaten weisen auf stabile Verhältnisse und geringen Einfluss der Meereisgrenze während der Mittelalterlichen Warmzeit im Untersuchungsgebiet hin. Die darauf folgende Abkühlung markiert den Beginn der Kleinen Eiszeit, die in der östlichen Framstraße in zwei Phasen verlief. Der hohe Anteil von eistransportiertem Material und deutliche Schwankungen der planktischen Foraminifenhäufigkeiten in der ersten Phase (zwischen 1350 und 1750 AD, AD = anno domini) deuten auf starke Schwankungen der Eisrandlage hin. Nach etwa 1750 AD setzte eine zweite, sehr kalte Phase mit strengen winterlichen Eisbedingungen ein, an denen verstärkt auch in den Fjorden Spitzbergens gebildete Eisberge beteiligt waren. Die in den obersten Sedimentschichten beobachteten signifikanten Veränderungen in allen untersuchten Indikatoren markieren einen deutlichen Wandel der klimatischen und ozeanographischen Verhältnisse in den vergangenen Jahrzehnten. Sehr hohe relative Häufigkeiten von subpolaren planktischen Foraminiferenarten und die Anwendung von zwei voneinander unabhängigen Temperaturrekonstruktionen belegen einen Temperaturanstieg des in die östliche Framstraße einströmenden Atlantikwassers von etwa 2°C innerhalb der vergangenen etwa 120 Jahre.

Um weitere Hinweise auf Holozäne Veränderungen des Tiefenwasseraustauschs zwischen dem Europäischen Nordmeer und dem Arktischen Ozean zu erhalten, wurden an beiden Sedimentkernen zusätzlich die Isotopenverhältnisse von Neodym und Blei in Eisenmanganüberzügen an Sedimentpartikeln untersucht. Die Neodym- und Bleiüberzüge

werden durch Meerwasser erzeugt und geben daher Auskunft über die Signaturen der Quellgebiete. Für den Zeitabschnitt vor 3000 J. v. h. konnte der Einstrom von Tiefenwasser aus dem Europäischen Nordmeer in die Arktis nachgewiesen werden. Signifikant höher radiogene Neodym-Isotopenverhältnisse wurden für die Zeit nach 3000 J. v. h. ermittelt. Sie stehen möglicherweise mit der verstärkten Ablagerung von eistransportiertem Material in der Framstraße während des Spätholozäns in Verbindung.