

Forschungsthema des Monats Februar 2013

REKLIM Forschungsthema 8: Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten

Schnelle Änderungen in der Ventilation des nordpazifischen Zwischenwasserstockwerks am Übergang der letzten Eiszeit in die heutige Warmzeit

Das Zwischenwasserstockwerk im Nord-Pazifik wird heute von Wassermassen ventiliert, die ihren Ursprung im Ochotskischen Meer haben (Abb. 1). Als treibende Mechanismen der Zwischenwasserbildung führen Meereisbildung und Austauschprozesse in Polynias während der Wintermonate zur Wärmeabgabe und Salzanreicherung in der ozeanischen Deckschicht. Absinkendes kaltes und dichtes Schelfwasser vermischt sich so mit einströmenden, nährstoffreichen und alten nordpazifischen Tiefenwässern und bildet das relativ sauerstoffreiche Ochotskische Zwischenwasser (SOIW). SOIW strömt in Wassertiefen von 200 – 1000 m über Passagen in den Pazifik und bildet die Hauptquelle des Nordpazifischen Zwischenwassers (NPIW). Eine Bildung von Tiefenwassermassen im Nord-Pazifik wird heute jedoch durch die Ausbildung einer permanenten Halokline verhindert. Im Gegensatz dazu schlugen zahlreiche Modellergebnisse für die letzte Eiszeitermination, während der Abkühlungsereignisse Heinrich 1 (17.5 – 15.7 ka) sowie der Jüngeren Dryas (12.8 – 11.5 ka), eine Bildung von Nordpazifischem Tiefenwasser (NPDW) vor (Okazaki et al., 2010), also zu einem Zeitpunkt, als die Bildung von Nordatlantischen Tiefenwasser nahezu zum Erliegen kam. Darüber hinaus postulierten diese Modellergebnisse im Zuge der Tiefenwasserbildung eine Erwärmung der nordpazifischen Wasseroberflächentemperaturen durch „Nachsaugen“ relativ warmer Oberflächenwässer aus dem subtropischen Nord-Pazifik.

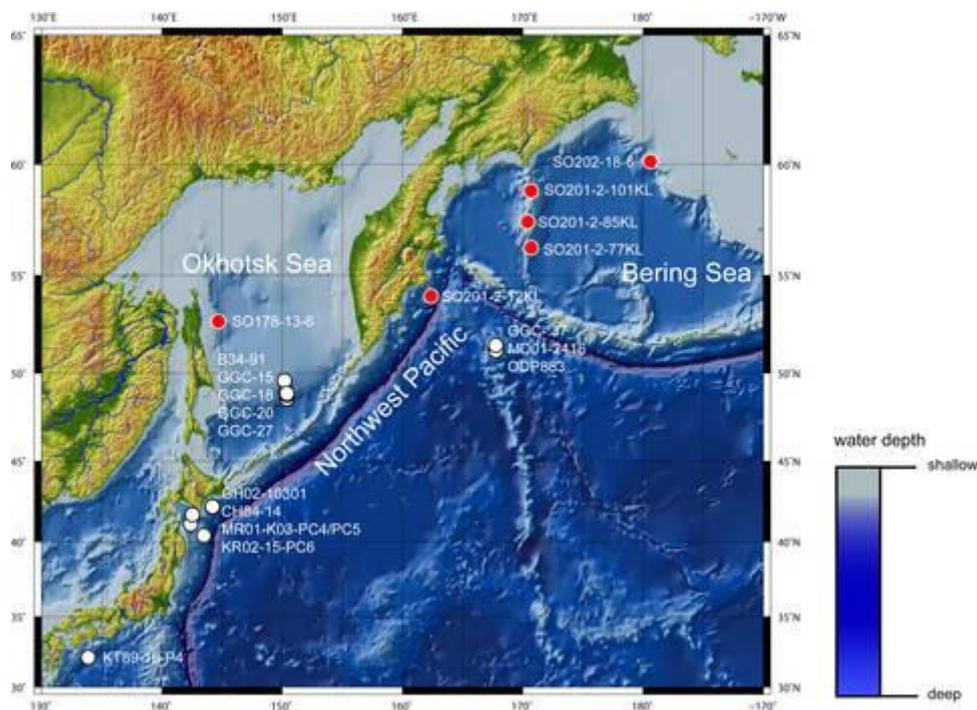


Abbildung 1: Untersuchungsregion und Lage der Sedimentkerne. Rote Kreise kennzeichnen eigene Daten. Weiße Kreise kennzeichnen einbezogene Literaturdaten.

Zur Überprüfung der bestehenden Hypothesen wurden die Entwicklung der Wasseroberflächentemperaturen (SST) und der Meereisverbreitung sowie der Zwischen- und Tiefenwasserventilation anhand von Sedimentkernen aus dem Ochotskischen Meer, der Beringsee und dem Nordpazifik (Abb. 1) für den Zeitraum des letzten Deglazials rekonstruiert. Die SSTs wurden dafür über den temperaturabhängigen Sättigungsgrad von Alkenonen (UK₃₇, organischer Biomarker) rekonstruiert, Veränderungen in der Meereisverbreitung über einen weiteren Biomarker, den IP₂₅ (fossile organische Überreste von im Meereis lebenden Algen) abgeschätzt. Die Tiefenwasserventilation wurde einerseits aus den $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalten benthischer Foraminiferen rekonstruiert, andererseits wurden die Ventilationsalter aus der Altersdifferenz von ^{14}C -Datierungen an planktischen und benthischen Foraminiferen aus identischen Proben bestimmt. Hohe $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und geringe Ventilationsalter kennzeichnen gut ventilerte, junge und nährstoffarme Wassermassen. Die heutige vertikale $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilung in den Wassermassen des Nord-Pazifiks, der Bering See und dem Ochotskischen Meer (Abb. 2) kennzeichnet die Signatur und Ausbreitung des relativ gut ventilertem SOIW/NPIW und seine Wassermassengrenze zum nährstoffreicheren und älteren NPDW (ca. 1800 Jahre).

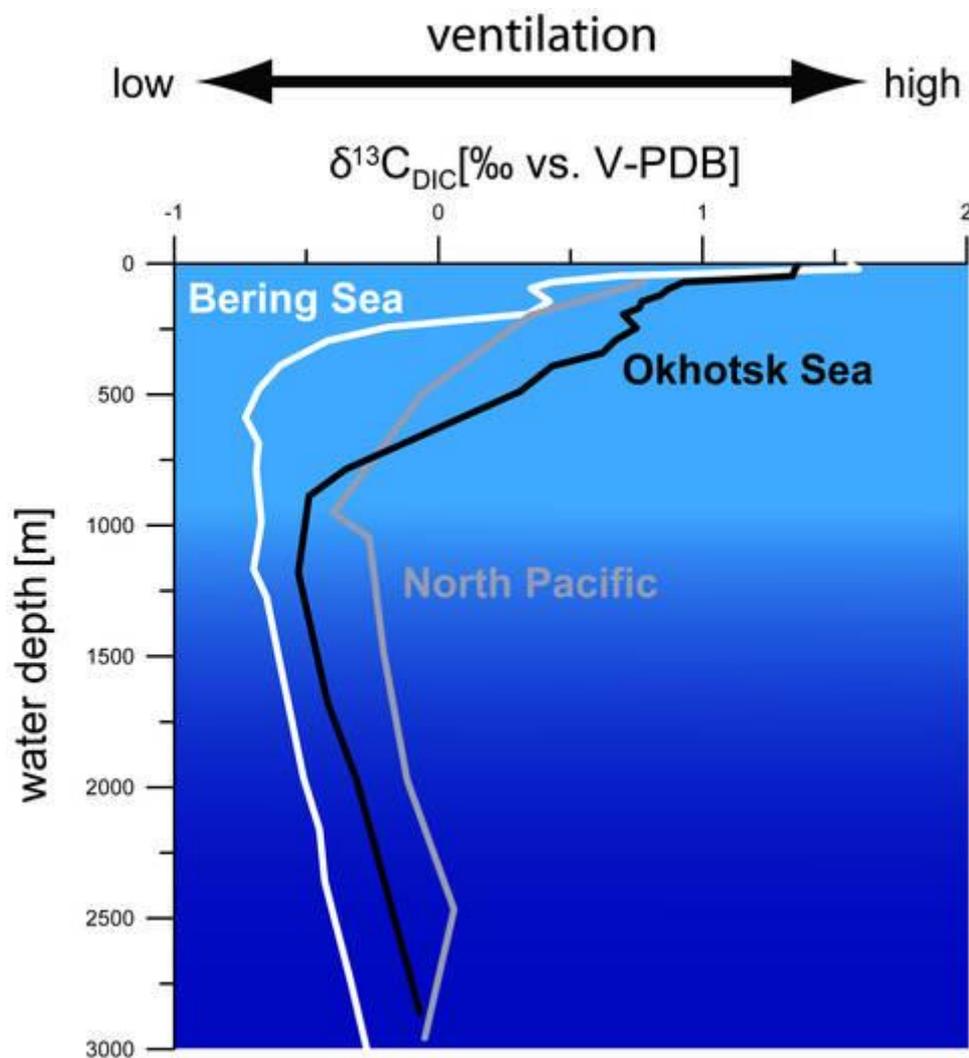


Abbildung 2: Vertikale Verteilung der heutigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der Wassersäule der Beringsee, dem Ochotskischen Meer und dem Nordwest-Pazifik. Während der Zwischenwasserbereich im Ochotskischen Meer und im Nordwest-Pazifik gut ventiliert ist, bildet die Beringsee dort eine Sauerstoffminimumzone aus.

Unsere Rekonstruktionen weisen für das letzte Deglazial auf SST-Minima und verstärkter Meereisausdehnung während Heinrich 1 und der Jüngerer Dryas hin. Die dazwischen liegende Warmphase des Bölling/Alleröds und das frühe Holozän sind hingegen durch höhere SSTs und eine reduzierte Meereisausbreitung gekennzeichnet. Diese Veränderungen verlaufen damit auf Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden nahezu synchron mit den an Eiskernen gemessenen raschen Temperaturumschwüngen auf Grönland (Abb. 3). Solche Umschwünge werden auch von Änderungen in der Zwischenwasserventilation des Nord-Pazifiks begleitet, die jedoch asynchron zur nordatlantischen Tiefenwasserbildung verlaufen. Demnach deuten die Ventilationsalter und $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven aus dem Zwischenwasserbereich des Ochotskischen Meeres, der Beringsee und dem Nordwest-Pazifik auf eine verstärkte Zwischenwasserbildung bis in 1400 m Wassertiefe während Heinrich 1 und der Jüngerer Dryas hin. Sedimentkerne aus dem Tiefenwasserstockwerk des Nord-Pazifiks zeigen aber, dass die Konvektionszunahme maximal bis 2170 m gereicht haben könnte, jedoch nicht bis in das Tiefenwasserstockwerk hineinreichen. Während des warmen Bölling/Alleröds und im frühen Holozän verschlechterte sich die Zwischenwasserventilation bis in den suboxischen Bereich, welches sich in der Ausbildung laminiertes Sedimentabfolgen an den Kontinentalrändern des Nord-Pazifiks und der Beringsee widerspiegelte.

Unsere Studien stehen daher im Widerspruch zur Hypothese einer nordpazifischen Tiefenwasserbildung und eines erhöhten oberflächennahen Wärmetransfers in den Nord-Pazifik während Heinrich 1 und der Jüngerer Dryas. Allerdings waren diese Zeitintervalle von einer verstärkten Zwischenwasserbildung gekennzeichnet, die ihren Ursprung, wie heute auch, im Ochotskischen Meer hatte. Insbesondere im Ochotskischen Meer weisen die extrem positiven $\delta^{13}\text{C}$ -Werte während Heinrich 1 und der Jüngerer Dryas auf eine Änderung der Quellwässer für die Zwischenwasserbildung hin. Die hohen Werte schließen eine Vermischung mit einströmenden nährstoffreichen und alten nordpazifischen Tiefenwässern eher aus, da diese sehr geringe $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen. Da der Wasseraustausch auf Passagen mit maximalen Schwellentiefen von 1800 – 2300 m limitiert ist, könnte die verstärkte Bildung von Zwischenwasser bis in 2000 m Wassertiefe den Einstrom nordpazifischer Tiefenwässer geblockt haben. Im Gegenzug sollte der Einstrom nordpazifischer Oberflächenwässer zugenommen haben. Diese neuen Erkenntnisse stehen im Widerspruch zu bisher existierenden Modellvorstellungen über die Ventilation des Nordpazifiks während des letzten Deglazials (Okazaki et al., 2010). Solche Veränderlichkeiten und deren Auswirkungen auf das globale Klima sollen nun mit Klimamodellen im Verlauf des REKLIM-Projektes untersucht und weiter verifiziert werden.

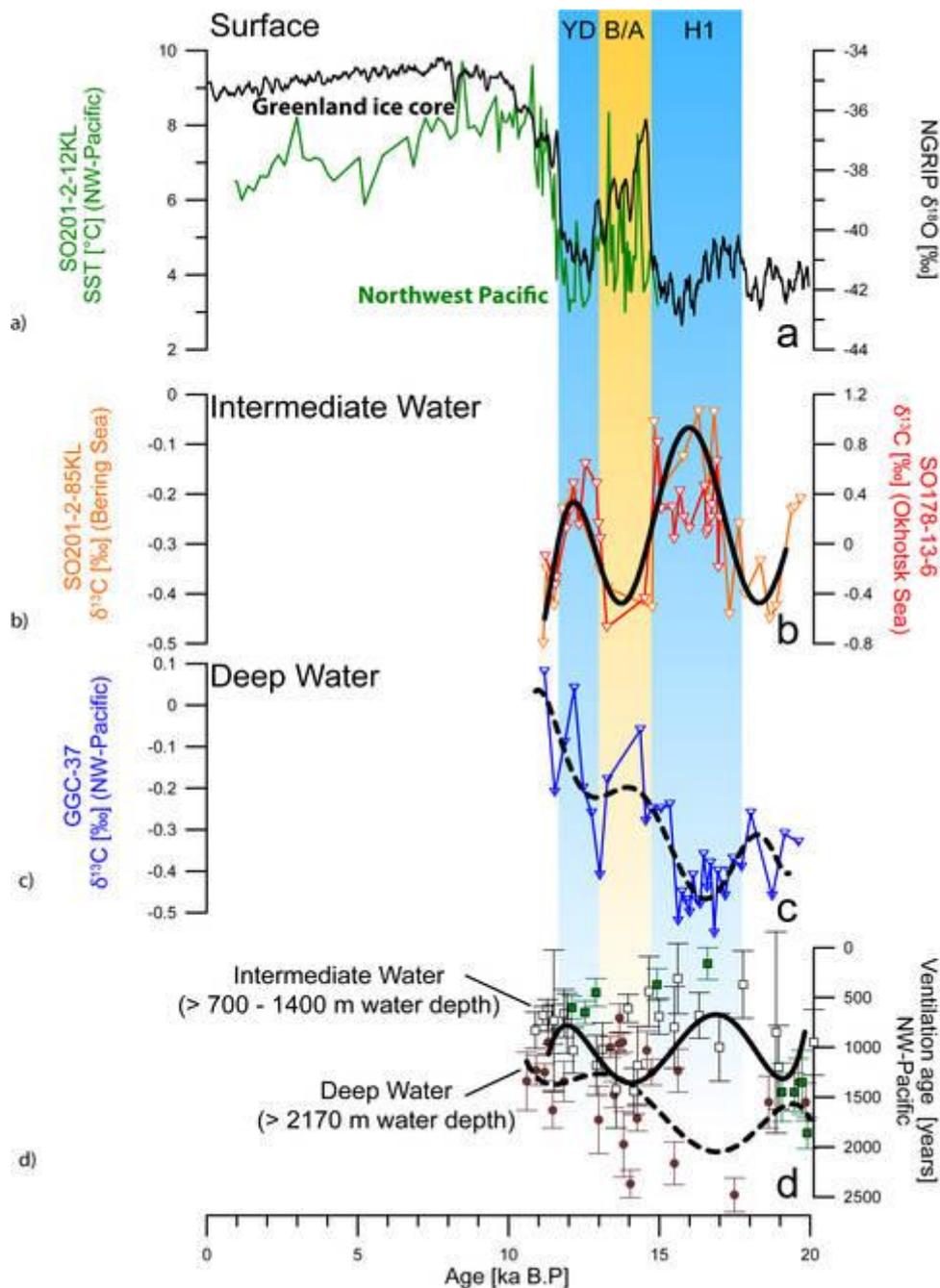


Abbildung 3: Vergleich von Proxydaten aus dem nordwestpazifischen Raum. (A) $\delta^{18}O$ -Kurve von Grönland kennzeichnet Variationen in der Lufttemperatur. Grüne Kurve zeigt die Entwicklung der Wasseroberflächentemperaturen im Nordwest-Pazifik. (B) Vergleich von benthischen $\delta^{13}C$ Kurven aus den Zwischenwasserstockwerken der Beringsee (orange) und dem Ochotskischen Meer (rot). (C) Benthische $\delta^{13}C$ -Kurve aus dem Tiefenwasserbereich des Nordwest-Pazifiks. (D) Entwicklung der Ventilationsalter im Zwischenwasser- und Tiefenwasserbereich im subarktischen, nordwestpazifischen Raum.

Referenzen

Max, L., J.-R., Riethdorf, R., Tiedemann, M., Smirnova, L., Lembke-Jene, K., Fahl, D., Nürnberg, A., Matul, and G. Mollenhauer, 2012. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic northwest Pacific during the past 15,000 years. *Paleoceanography* 27: PA3213.

Okazaki, Y., A. Timmermann, L. Menviel, N. Harada, A. Abe-Ouchi, M. O. Chikamoto, A. Mouchet, and H. Asahi, 2010. Deep water formation in the North Pacific during the Last Glacial Termination, *Science*, 329(5988), 200-204. Doi 10.1126/Science.1190612

Riethdorf, J.-R., L. Max, D. Nürnberg, L. Lembke-Jene, and R. Tiedemann, 2013, Deglacial development of (sub) sea surface temperature and salinity in the subarctic northwest Pacific: Implications for upper-ocean stratification, *Paleoceanography*, (in press), 10.1002/palo.20014