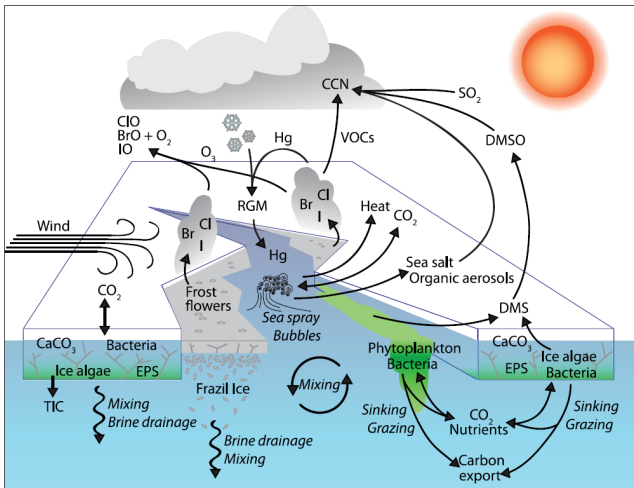


Wechselwirkungen an den Grenzflächen von Ozean, Eis und Atmosphäre

Lars Kaleschke

Vorstellung im Rahmen des Berufungsverfahrens für die
W2-Professur “Satellitengestützte Beobachtung des Meereises”

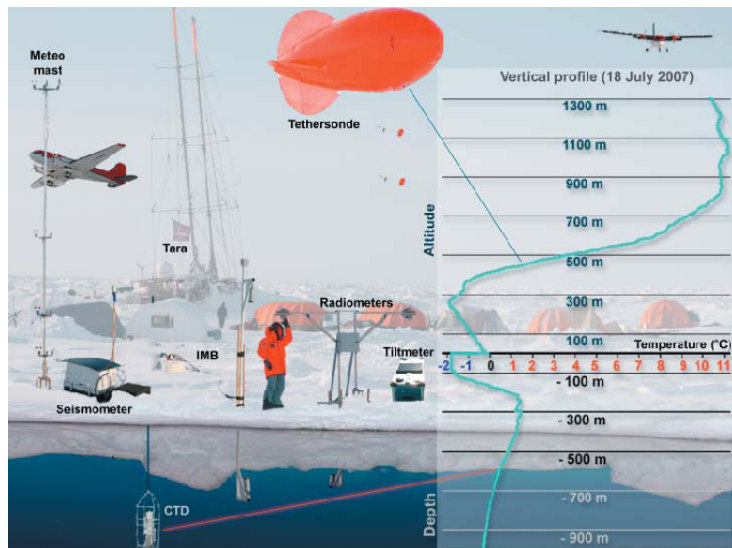
Eis-Ozean-Atmosphären-Wechselwirkungen



- **Energie**
 - Strahlung (kurzwellig, langwellig)
 - Wärmeaustausch (sensible, latente)
 - Phasenübergänge
- **Impuls**
 - Eisbewegung (Wind, Strömung)
 - Interne Kräfte
- **Masse**
 - Süßwasserflüsse
 - Aerosole
 - Spurengase

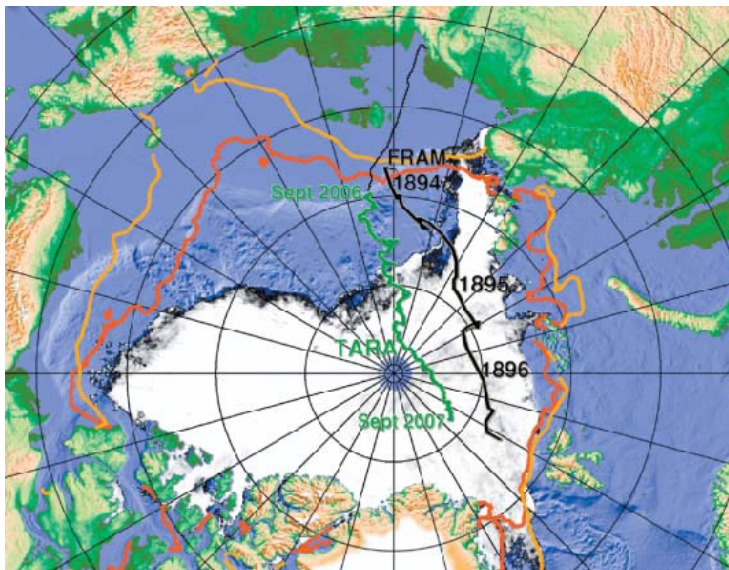
Shepson et al. (2012), *Changing Polar Environments: Interdisciplinary Challenges*, Eos

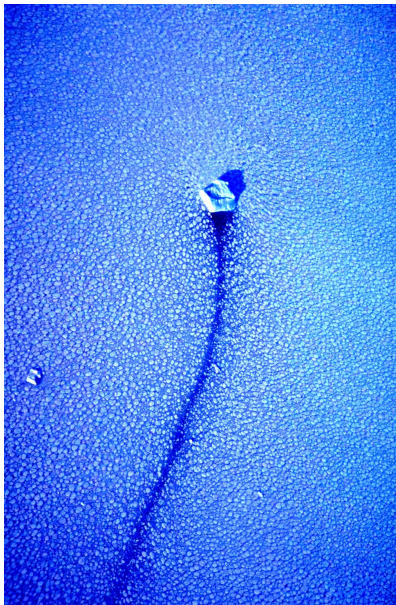
Übersicht über einige Messmethoden



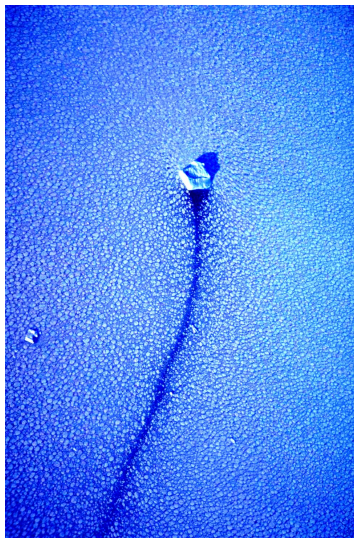
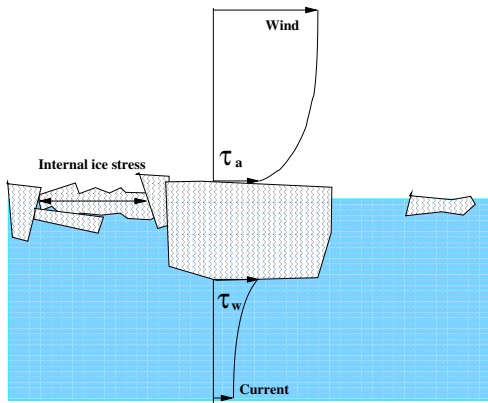
Gascard et al. (2008), *Exploring Arctic Transpolar Drift During Dramatic Sea Ice Retreat*, Eos

Drift der Fram und der Tara

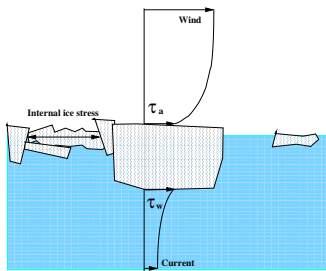




Meereisdrift



Meereisdrift

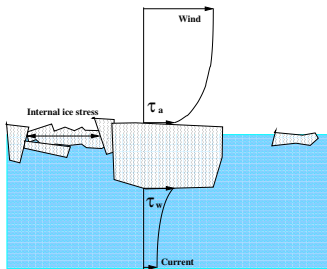


- Atm./Oz. Oberflächenschubspannung $\vec{\tau}_{a/w}$
- Atm./Oz. Oberflächenwiderstandsbeiwert $C_{da/dw}$
- Oberflächennahe Wind- bzw. Strömungsgeschwindigkeit $|\vec{v} - \vec{v}_a| \approx |\vec{v}_a|$
- Eisdriftgeschwindigkeit \vec{v}
- Luft/Wasser Dichte $\rho_{a/w}$

$$\vec{\tau}_a = \rho_a C_{da} |\vec{v}_a| \vec{v}_a$$

$$\vec{\tau}_w = \rho_w C_{dw} |\vec{v} - \vec{v}_w| (\vec{v} - \vec{v}_w)$$

Meereisdrift



Aufgabe: Berechnen Sie die stationäre Driftgeschwindigkeit für folgende Annahmen

- Oberflächennahe Windgeschwindigkeit $v_a = 5 \text{ ms}^{-1}$
- Ruhender Ozean
- Freie Drift (ohne interne Kräfte)
- Vernachlässigung der Coriolis-Kraft
- Oberflächenwiderstandsbeiwert der Luft $C_{da} = 1.9 \cdot 10^{-3}$
- Oberflächenwiderstandsbeiwert des Wassers $C_{dw} = 5.5 \cdot 10^{-3}$
- Dichte der Luft $\rho_a = 1.38 \text{ kg/m}^3$
- Dichte des Wassers $\rho_w = 1025.0 \text{ kg/m}^3$

$$\vec{\tau}_a = \rho_a C_{da} |\vec{v}_a| \vec{v}_a$$

$$\vec{\tau}_w = \rho_w C_{dw} |\vec{v} - \vec{v}_w| (\vec{v} - \vec{v}_w)$$

- Atm./Oz. Oberflächenschubspannung $\vec{\tau}_{a/w}$
- Atm./Oz. Oberflächenwiderstandsbeiwert $C_{da/dw}$
- Oberflächennahe Wind- bzw. Strömungsgeschwindigkeit $|\vec{v} - \vec{v}_a| \approx |\vec{v}_a|$
- Eisdriftgeschwindigkeit \vec{v}
- Luft/Wasser Dichte $\rho_{a/w}$

Meereisdrift

Lösung: Berechnung der Driftgeschwindigkeit

$$\begin{aligned}\vec{\tau}_a &= \rho_a C_{da} |\vec{v}_a| \vec{v}_a \\ \vec{\tau}_w &= \rho_w C_{dw} |\vec{v} - \vec{v}_w| (\vec{v} - \vec{v}_w)\end{aligned}$$

Ansatz: $|\vec{\tau}_a| = |\vec{\tau}_w|$

$$\begin{aligned}\rho_a C_{da} v_a^2 &= \rho_w C_{dw} v^2 \\ v &= v_a \sqrt{\frac{\rho_a C_{da}}{\rho_w C_{dw}}}\end{aligned}$$

Mit $C_{da} = 1.9 \cdot 10^{-3}$, $C_{dw} = 5.5 \cdot 10^{-3}$, $\rho_a = 1.38 \text{ kg/m}^3$, $\rho_w = 1025.0 \text{ kg/m}^3$ folgt

$$v \approx 0.02 v_a$$

Ergebnis: Das Meereis bewegt sich mit $v \approx 0.1 \text{ m/s}$ bei einer Windgeschwindigkeit von $v_a = 5 \text{ m/s}$.

Oberflächenwiderstandsbeiwert in Abhängigkeit von der Eiskonzentration

240

S. MAI ET AL.

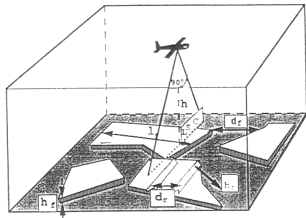


Figure 1. Geometrical parameters of ice fields, measured from the aircraft. The following abbreviations are used in the text and the equations. l_j : length of the ice floe secant, h_f : free-board height, d_r : distance between the floes; h_r : height of ice ridges and d_r : distance between them.

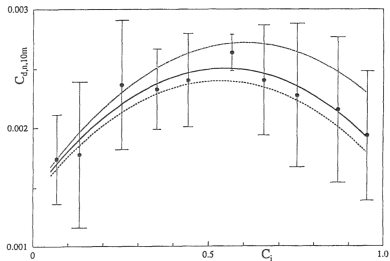


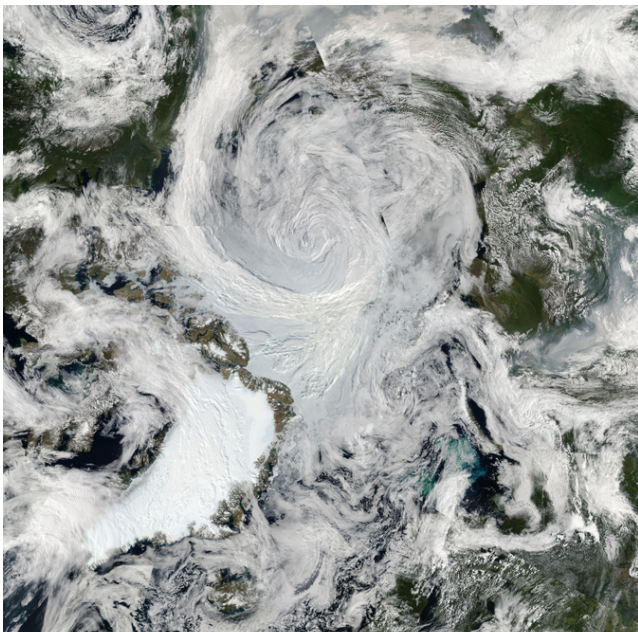
Figure 6. The neutral drag coefficient as a function of the ice concentration modelled under consideration of the form drag of floe edges and pressure ridges (solid curve), under consideration of the form drag of floe edges only (dashed). The dotted curve considers the form drag of floe edge and ridges but neglects the reduction of surface drag due to shadowing effects.

- Oberflächenwiderstandsbeiwert hängt vom Zustand des Meereises ab: Eiskonzentration, -rauigkeit, Schmelztümpelbedeckung

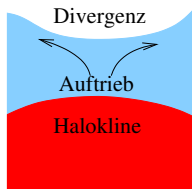
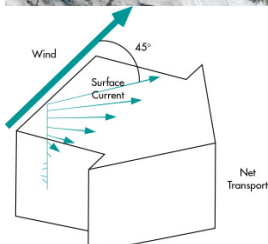
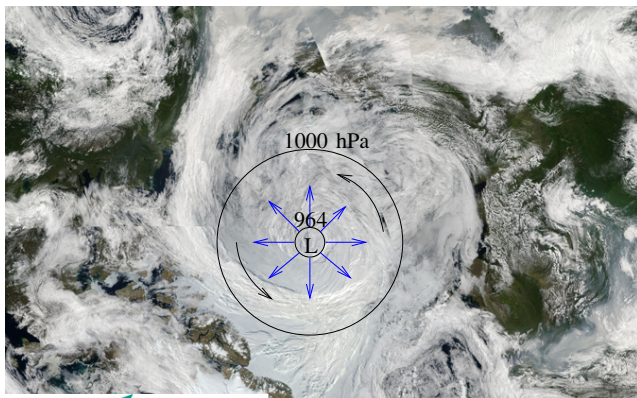
Mai et al. (1996), *Geometric and aerodynamic roughness of sea ice*, Boundary Layer Meteorology

Lüpkes et al. (2012), *Effect of Sea Ice Morphology during Arctic Summer on Atmospheric Drag Coefficients Used in Climate Models*, Geophys. Res. Lett. (submitted)

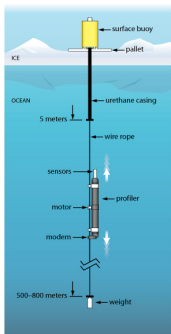
“The Great Arctic Cyclone 2012” - MODIS-Bild Aug. 6, 2012



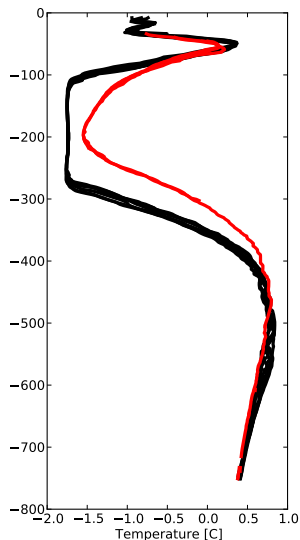
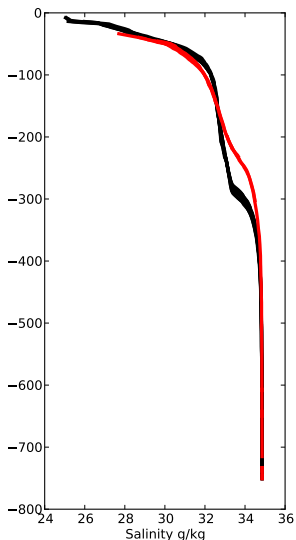
“The Great Arctic Cyclone 2012” - MODIS-Bild Aug. 6, 2012



Auftrieb durch den arktischen Sturm?



Ice-Tethered Profiler
(whoi.edu)

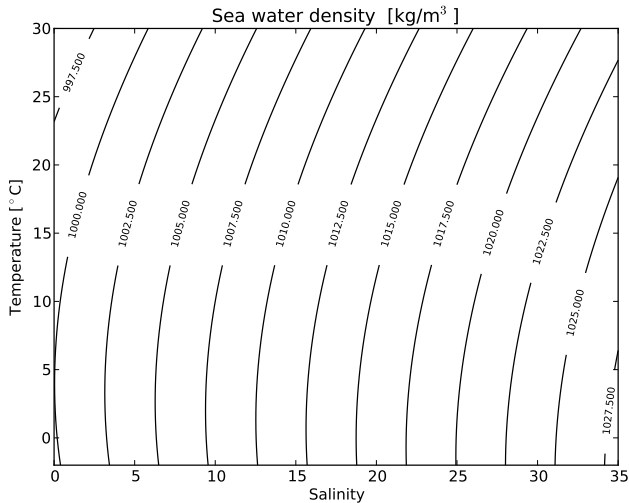


Messungen vor (schwarz) und nach (rot) Durchzug des Sturmes (2-13 August); 2 Profile/Tag

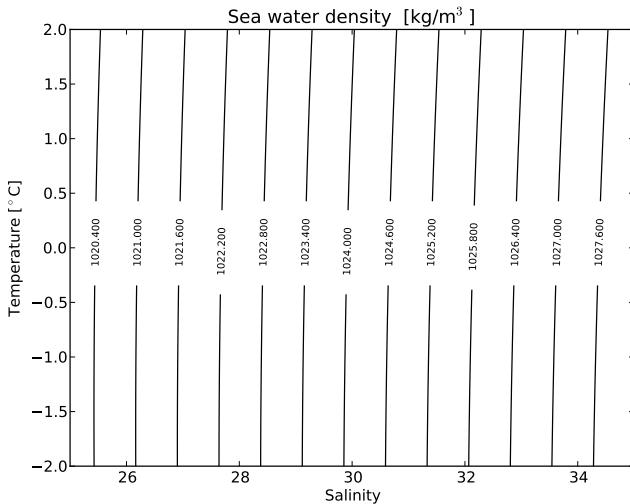
Zusammenfassung

- Meereis ist in komplexer Weise an einer Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre beteiligt
- Messmethoden: Driftstationen und Eisbojen für atmosphärische und ozeanische Parameter
- Meereis driftet mit etwa 1-2 Prozent der Windgeschwindigkeit
- Maximum des Oberflächenwiderstandsbeiwertes für mittlere Eiskonzentrationen

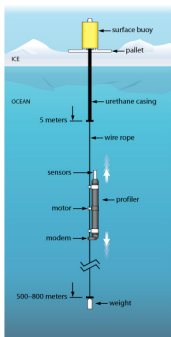
Dichte von Meerwasser



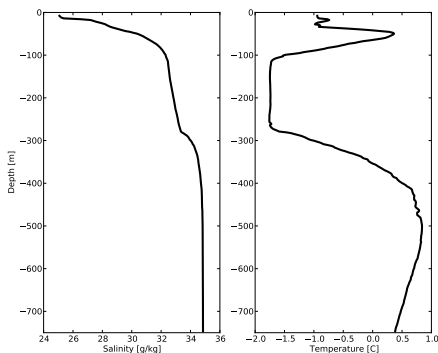
Dichte von Meerwasser



Temperatur- und Salzgehaltsprofil im Beaufort-Wirbel



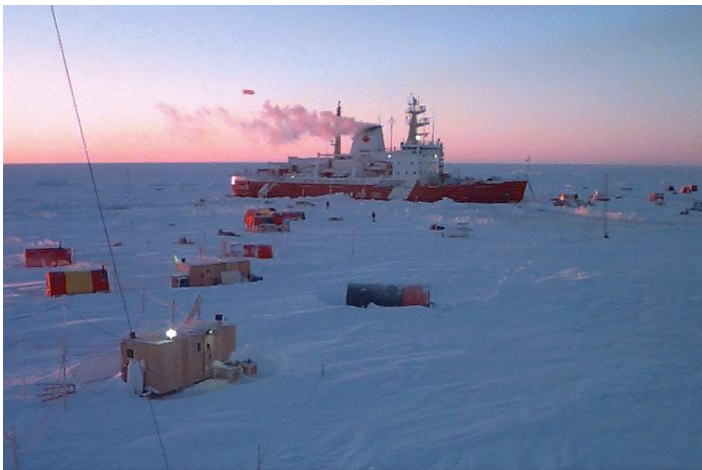
Ice-Tethered Profiler
(whoi.edu)



- Salzarme polare Deckschicht
- Warmes pazifisches Wasser
- Kalte Halokline
- Warmes atlantisches Wasser

Dichtekontrast verhindert Vermischung

SHEBA



Surface Heat Budget of the Arctic Ocean (SHEBA)

SHEBA-Drifftrajektorie und Radarsat-Szenen

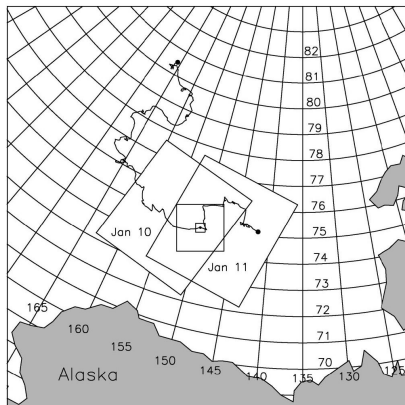
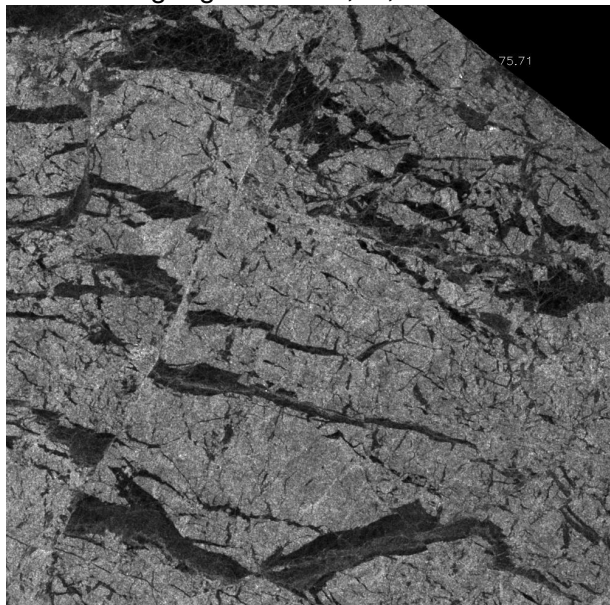
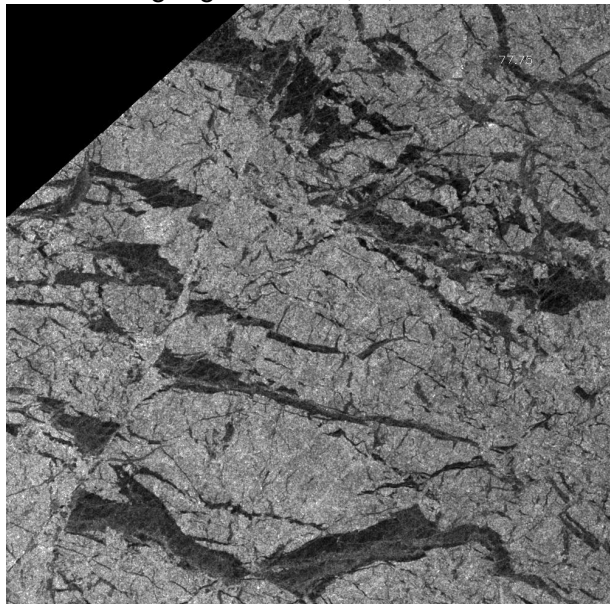


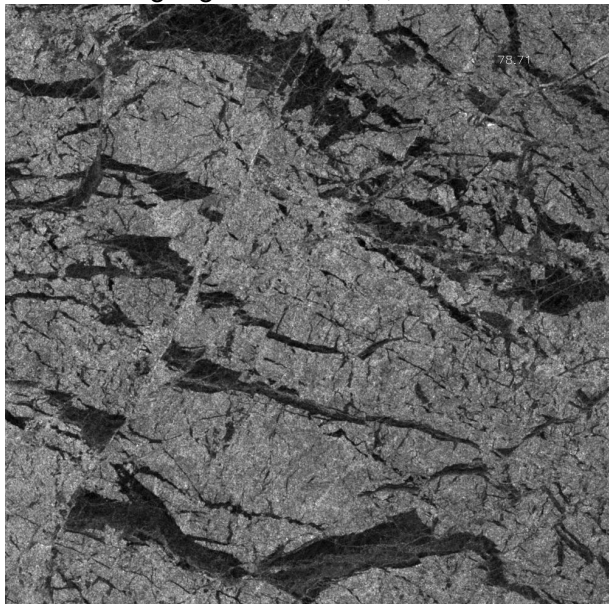
Figure 1. RADARSAT SAR image frames of 10 and 11 January 1998, illustrating the overlap that allows features in the first image to be tracked in the second image. The SHEBA drift track is also shown, with the position on 11 January marked by a small dot. Centered on the dot are two squares, 40×40 km and 200×200 km, showing the extent of the subimages that have been extracted from the original SAR image.

Scherbewegung - März **16,18,19** 1998

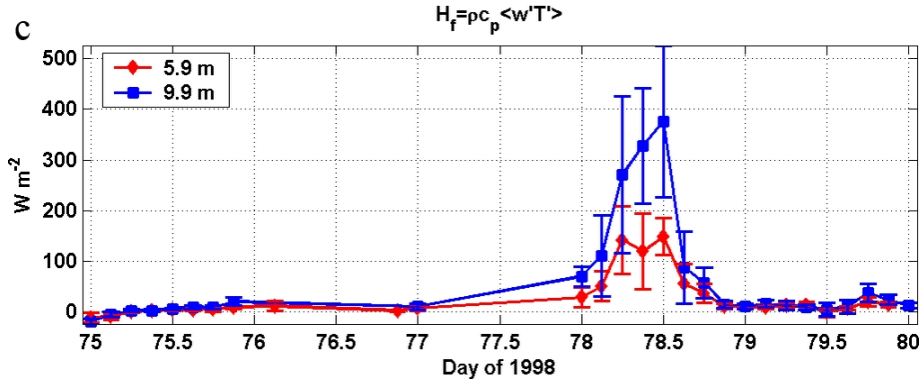
Scherbewegung - März 16,18,19 1998



Scherbewegung - März 16,18,19 1998

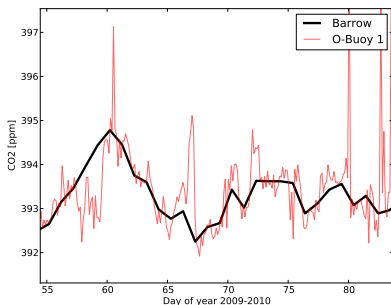
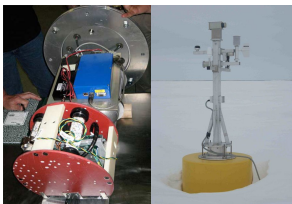


Messung des turbulenten Wärmeflusses unter dem Eis



- Stabile Schichtung führt zu geringen Wärmeflüssen ($\ll 5 \text{ W/m}^2$)
- Auftrieb durch Scherbewegung des Meereises
- Turbulente Wärmeflussspitzen ($100\text{-}400 \text{ W/m}^2$)
- Allgegenwärtige Rinnenbildung ursächlich für Austausch zwischen kalter Deckschicht und darunterliegenden warmen Schichten

O-BUOY Messbojen

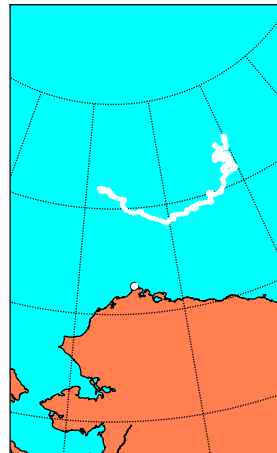
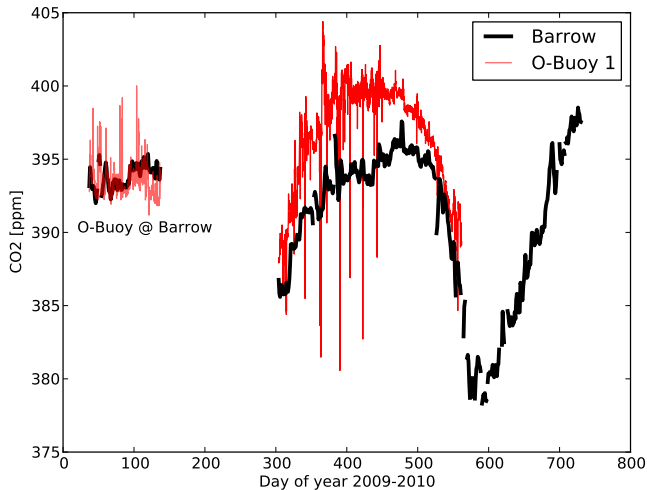


- Autonomer CO₂-Sensor (Licor 820 IR)
- Präzision 0.1 ppm
- Genauigkeit hängt von Stabilität der Kalibrationsgase ab (0.02 ppm/Jahr)
- 8 Messungen und 4 Kalibrationen pro Tag
- Test im Festeis in der Nähe von Barrow

<http://www.o-buoy.org/>

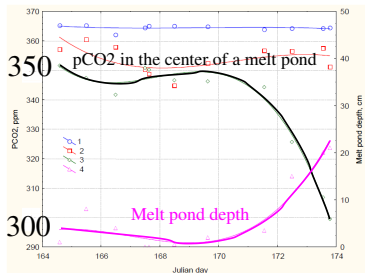
Unveröffentlichte Ergebnisse basierend auf O-BUOY Daten mit Erlaubnis von Paty Matrai

Atmosphärisches CO₂ über dem Meereis

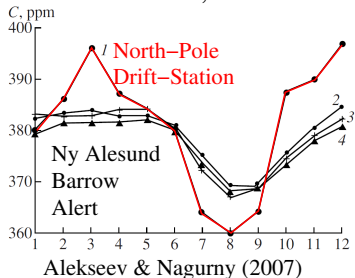


Unveröffentlichte Ergebnisse basierend auf O-BUOY Daten mit Erlaubnis von Paty Matrai

Meereis und der Kohlenstoffkreislauf



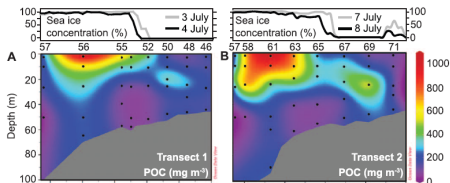
Semiletov et al., GRL 2004



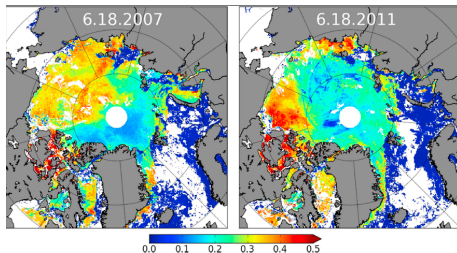
- Bisherige Annahme: Meereis unterbindet Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre
- Neue Untersuchungen: Hinweise auf einen aktiven Gasaustausch (Rygsgaard et al, 2011)
- Semiletov et al. (2004) schätzen, dass die Netto-CO₂-Aufnahme der terrestrischen Biosphäre nur 5× größer ist als die des Meereises
- Papakyriakou und Miller (2011) messen über dem Meereis CO₂-Flüsse in der selben Größenordnung wie über terrestrischen Biosphären (1 bis -3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)



Schmelztümpel und Primärproduktion in der Arktis



Arrigo et al. (Science, 2012), *Massive Phytoplankton Blooms Under Arctic Sea Ice*



Rösel and Kaleschke (JGR, 2012), *Exceptional melt pond occurrence in the years...*

- Höchstwerte der partikulären organischen Kohlenstoff-Biomasse (32 g C m^{-2}) wurden unter Schmelztümpeln mitten in der Packeiszone in der Nähe des Kontinentalabhangs gefunden
- Gegenwärtige Abschätzungen der arktischen Primärproduktionsrate sind möglicherweise viel zu gering, da sie auf Messungen im offenen Ozean basieren
- Eisrückgang könnte eine Abnahme der Primärproduktion zur Folge haben