

Terminology

- Marginal ice zone:** where open ocean processes dominate
- Shear zone:** are where much shearing deformation has been concentrated
- Polynya:** non-linear shaped opening enclosed in ice. Open ocean (SH)/coastal (LH)
- Lead:** Fracture/passage through ice too wide to jump
- Nila:** Thin elastic crust upto 10cm. Bends easily
- Fast ice:** Ice staying fast(attached) to coast/object
- New ice:** Recently formed -frazil/grease/slush/shuga
- Young ice:** Ice in transition stage between nila - 1st year ice

Ice climatology

- Sea ice area (**extent**) in 10⁶ km:
- Arctic: Min (Sept): 5 (6.5); Max (Mar): 14 (15)
- Antarctic: Min (Feb): 2 (3); Max (Sept): 16 (19)
- Extent: calculated by perimeter only (border at 15% sea ice concentration)
- Area: takes ice concentration into account throughout

ice growth & equilibrium thickness

- Meereisdichte**
- Salzgehalt von Meerwasser unter 27,5‰ (z.B. Ostsee):
 - Wasser am Gefrierpunkt ist weniger dicht als Wasser bei der maximalen Dichte
 - Oberflächenabkühlung kreiert stabiles vertikales Dichteprofil → Oberfläche gefriert ($T_{p,max} > T_f$)
- Gefrierpunkt höher als die Temperatur der maximalen Dichte (z.B. Nordsee):
 - Oberflächenabkühlung schafft instabiles vertikales Dichteprofil → konvektives Mischen, je kälter das Wasser, desto dichter ist es ($T_{p,max} < T_f$)
 - Einige Meter dicke Schicht, unterkühlt ~ 1/10°C unter Gefrierpunkt

Meereiswachstum

Angaben aus Aufgabe:

$$T_f = -2^\circ C \quad T_a = -10^\circ C \text{ \& \ } -20^\circ C \quad dt = 1 \text{ Tag}$$

Formeln:

$$d = 1.33\theta^{0.58} [cm]$$

$$\theta = \int (T_f - T_a) dt [^\circ C \text{ Tage}]$$

Rechnung Beispiel:

$$d(-10^\circ C) = 1.33 \cdot (-2^\circ C - (-10^\circ C))^{0.58} = 4 \text{ cm}$$

$$d(-20^\circ C) = 1.33 \cdot (-2^\circ C - (-20^\circ C))^{0.58} = 7 \text{ cm}$$

Gleichgewichts-Meereis-Dicke

Angaben aus Aufgabe:

$$k_i = 2.1 \frac{W}{mK} \quad T_0 = -32^\circ C \quad h_i = 10 \text{ cm}$$

$$k_s = 0.2 \frac{W}{mK} \quad T_0 = -2^\circ C \quad h_s = 30 \text{ cm}$$

Formel:

$$F = \frac{k}{H} \cdot (T_0 - T_f) \text{ ohne Schnee} \quad F = \left(\frac{h_i}{k_i} + \frac{h_s}{k_s} \right)^{-1} \cdot (T_0 - T_f) \text{ mit Schnee}$$

Mit:

$$k = \text{Wärmeleitfähigkeit} \quad H = \text{Eisdicke} \quad T_0 - T_f = \Delta T$$

Reziproke Addition:

$$\frac{h}{k} = \frac{h_i}{k_i} + \frac{h_s}{k_s}$$

Wenn d_i gesucht:

$$d_i = \left(\frac{\Delta T}{F} - \frac{h_s}{k_s} \right) k_i \quad \frac{\Delta T}{F} > 0$$

phase diagram & latent heat

- $Q_{\text{Schmelz}} = L = 330 \text{ kJ/kg}$
- $C_p = \frac{dQ}{dT}$
- Sea ice growth: $h = \frac{F \cdot \Delta t}{L \cdot \rho_{\text{Ice}}}$ [F: energy flux]
- Phase diagram -> Gibbs phase rule: $F = C + 1 - P$
- [F: degree of freedom, C: number of components, P: number of phases]

Surface heatbalance&albedo

- radiative energy balance: $(1 - \alpha) \cdot S = \sigma \cdot \epsilon + T^4$ [$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$]
- $F_{\text{longwave}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_a^4$ [T_a : temperature @ 2m height]
- bulk albedo -> Liste (siehe Skript-Vorlesung 5, Folie 27)
- thermal emission: $F = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4$ [T_0 : radiative temperature]
- wavelength bands: solar radiation: visible $\lambda_{max} = 0,5 \mu\text{m}$, earth radiation: infrared $\lambda_{max} = 12 \mu\text{m}$

Sea ice drift

Sea ice drift – surface stress

Atmospheric and ocean surface stress
 $\vec{\tau}_a = \rho_a C_{da} |\vec{v}_a| \vec{v}_a$ und $\vec{\tau}_w = \rho_w C_{dw} |\vec{v} - \vec{v}_w| (\vec{v} - \vec{v}_w)$
 Near surface wind/current velocity = $|\vec{v} - \vec{v}_w| \approx |\vec{v}_a|$
 Air(water density $\rho_{a/w}$)

Ice drift velocity calculation:

Ansatz: $|\tau_a| = |\tau_w|$

$$v = v_a \sqrt{\frac{\rho_a C_{da}}{\rho_w C_{dw}}}$$

Surface stress

$\vec{\tau} = \vec{F} + \vec{S}$ mit \vec{F} = form drag und \vec{S} = skin drag



Antarctic: Clockwise (cyclonic) circulation around island

Polynjas

Unterschied zwischen Küsten- und „open-ocean“-Polynjas
 Küste: durch Wind (vom Land)
 Offenes Meer: entstanden durch Konvektion

Prominente Polynjas und ihre Lage

Offenes Meer	Küste
Weddell Polynja	Størfjorden Polynja (Spitzbergen)
	North-East Water Polynja
	(Ostgrönländische Küste, durch Wind- und Ozeanströme)
	Flow Polynja System (Laptev Sea)

Eis(dicke)produktion in einer Polynja pro Jahreszeit (season)

Arktis: 5 m
 Antarktis: 10 m

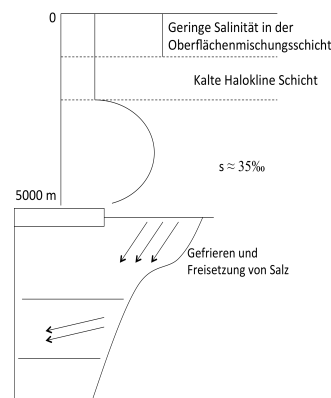
Einfluss von Polynjas auf Sedimenttransport

- Sedimente sind in Eis eingefroren → Werden mit Eis transportiert
- ↳ Upwelling: Sedimente werden an die Oberfläche transportiert aufgrund geringer Dichte → verringert Albedo

Biologische Bedeutung von Polynjas

- Primärproduktion im Sommer
- Luftlöcher für Säugetiere
- Wichtig für das Überleben während der Wintermonate für in der Arktis lebende Arten

Wie beeinflussen Polynjas den arktischen Ozean

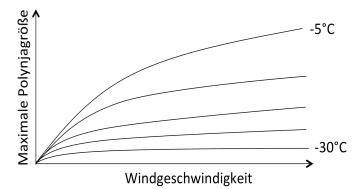


(siehe auch Hydrology)

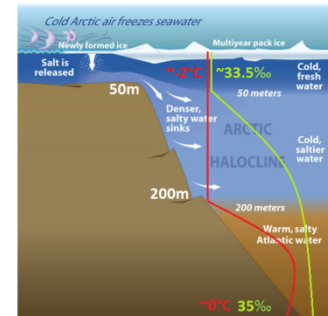
Maximale Größe einer Polynja durch die Balance von:

- Temperaturdifferenz
- Windgeschwindigkeit

Schematische Skizze: Beziehung zwischen der maximalen Größe und der Windgeschwindigkeit für verschiedene Temperaturen



Arctic Hydrology



Remote Sensing

- SSM/I = passive microwave, low resolution, conically scanning, multy frequency (7 channels), polarisation
- MODIS = optical passive, moderat resolution, infrared to visible (32 channels), no polarization
- SMOS = passive microwave, one frequency, multiple angles, different polarizations
- ICESAT = optical active, laser-altimeter, 2 frequencys
- CryoSat-2 = radar altimeter, microwave range

Observations and sensors

- Thickness – altimeter
- Sea ice concentration – passive microwave (SSM/I or AMSR-E for higher resolution)
- Sea ice drift – high resolution images

Brightness temperature: $T_B = \epsilon \cdot T$ emissivity * Temperature
 Emissivity: between 0-1 where 1=black body

Reflectivity and emissivity

$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$ mit $n = \sqrt{\epsilon}$ mit n = refractive index und $\sqrt{\epsilon}$ = dielectric constant/ permativity und R = refractivity
 $\epsilon = 1 - R$ mit ϵ = emissivity

Dielectric properties

- $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$
- Relative liquid brine volume depends on salinity of brine and temperature
- High conductivity = electromagnetic waves reflect at ice
- Low conductivity = electromagnetic waves penetrate the ice