

Einfluss von Meereisdeformation auf großskalige Eisdickenmessungen

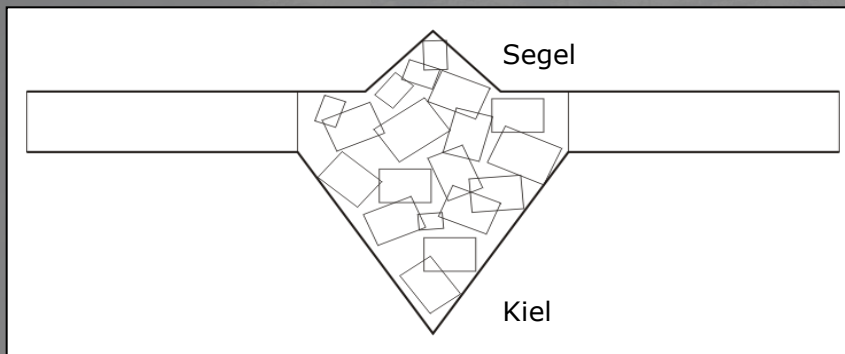
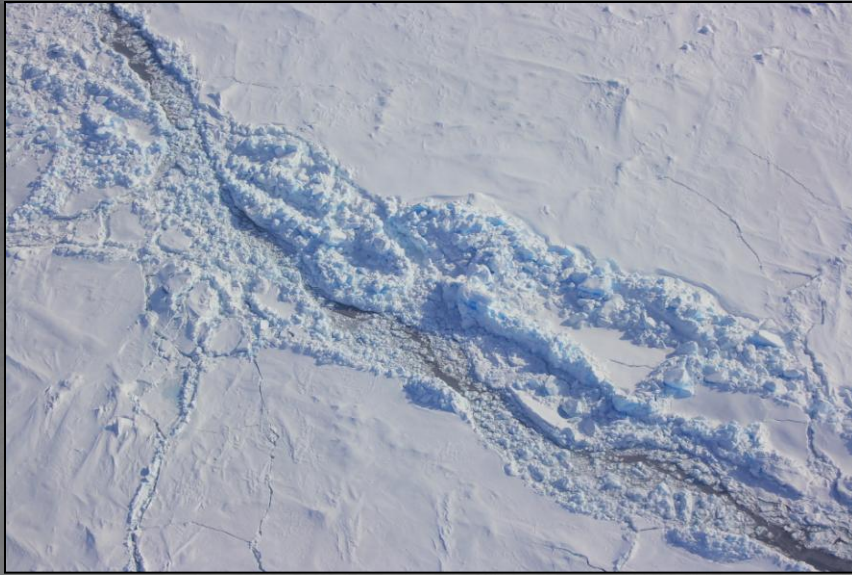
Geophysik Seminar
Sommersemester 2007

Stefan Hendricks

Meereis (*Ocean you can walk on*)

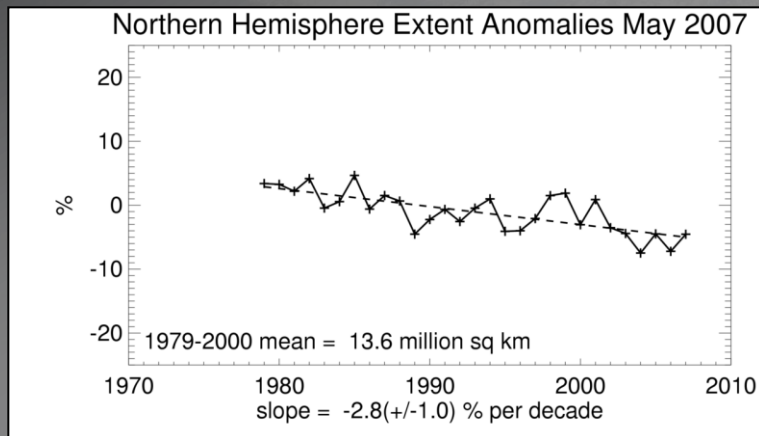


Meereisdeformation : Presseisrücken

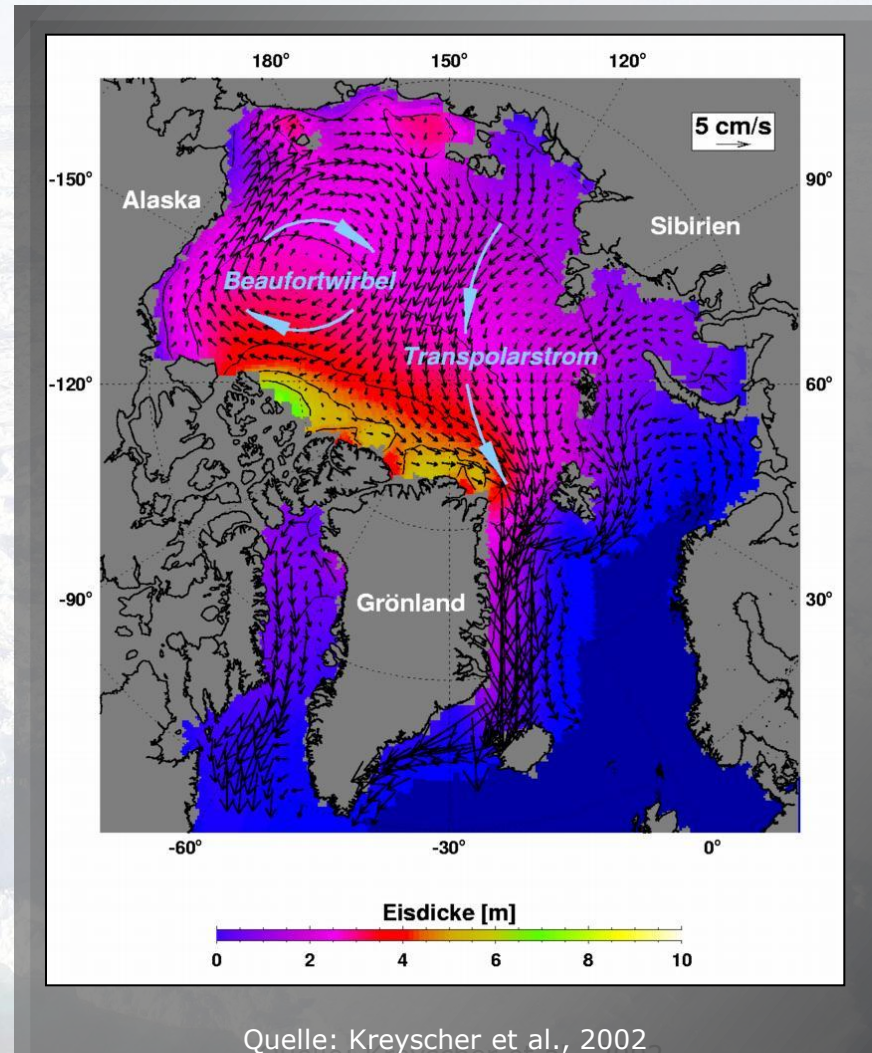


Arktisches Meereis

- Deutlicher Rückgang in Ausdehnung seit Beginn der Beobachtungen verzeichnet
- Wenig Messdaten der Eisdicke
- Mittlere Eisdicke in der Arktis weitestgehend bestimmt durch Drift
- ~20% Abnahme der modalen Eisdicke im Transpolarstrom zwischen 1991 und 2004 (Haas, 2004)



Quelle : NSIDC



Bedeutung von Meereis

- Klimaindikator
 - Starke Erwärmung in der Arktis verzeichnet
- Wechselwirkung Ozean – Atmosphäre
 - Thermische Isolation
 - Albedo Effekt
- Verändert lokal den Salzgehalt
 - Produktion von Salz beim Gefrieren
 - Frischwassereintrag durch Eisexport
- Wirtschaftliche Interessen
 - Schifffahrtswege
 - Abbau von Bodenschätzen
- Eisdickenmessung Schlüssel zum Verständnis des Gesamtvolumens

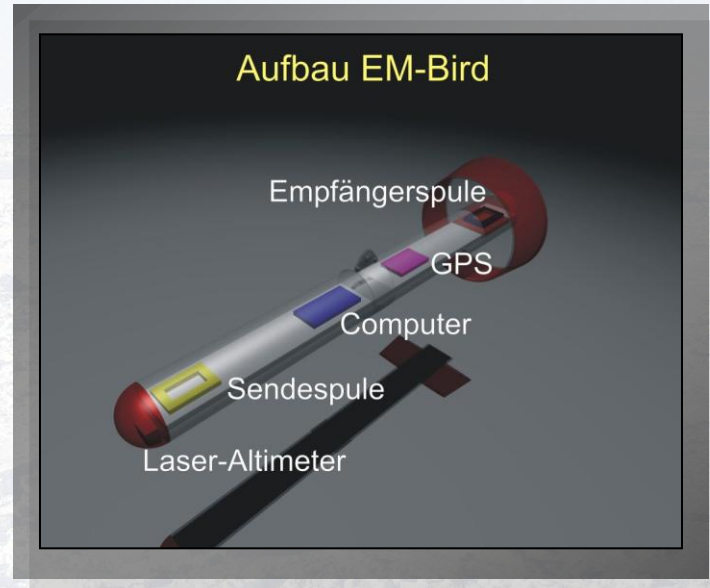
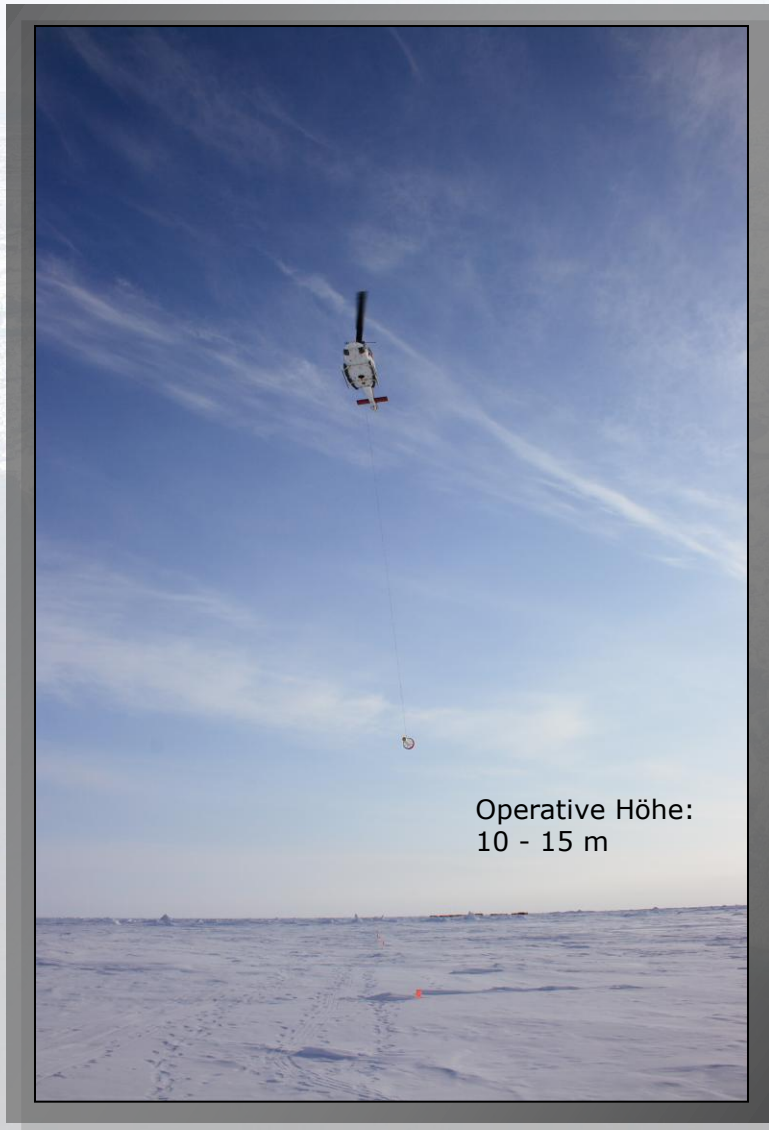
Ziel der Arbeit

- Abschätzung der möglichen Genauigkeit von globalen Eisdickenmessungen
 - **CryoSat Validation Experiment** für CryoSat - 2
 - Untersuchung der Eigenschaften von mehrdimensionalen Eisstrukturen
 - Hoher Deformationsgrad in Teilen arktischen Meereises
1. Einfluss auf Validierungsdaten
 2. Einfluss auf globale Eisdickenmessungen

Methoden zur Bestimmung der Eisdicke

- Manuelles Bohren Lokal
- Ausnutzung Isostasieprinzip
 - Upward looking Sonar (ULS) Eingeschränkt Arktisweit
 - Flugzeugaltimetrie (Laser/Radar) Regional
 - Satellitenaltimetrie Global
- Elektromagnetische Induktion Lokal/Regional

EM bird : Frequenzbereich EM



- 1 (2) Frequenzsystem
 - 3.68/4.09 kHz (112 kHz)
- Spulen : Horizontal Koplanar
- Gewicht : 100 kg
- Länge : 3.6 m
- Messfrequenz : 10 Hz

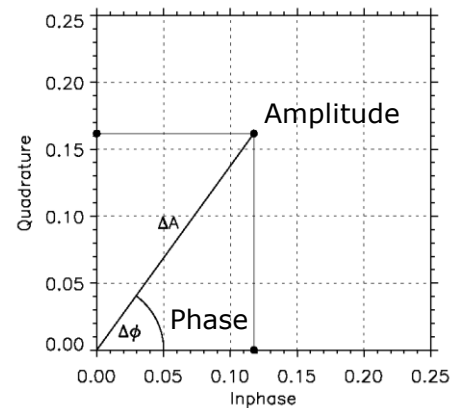
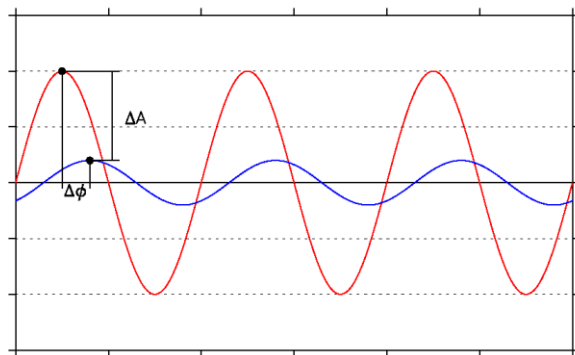
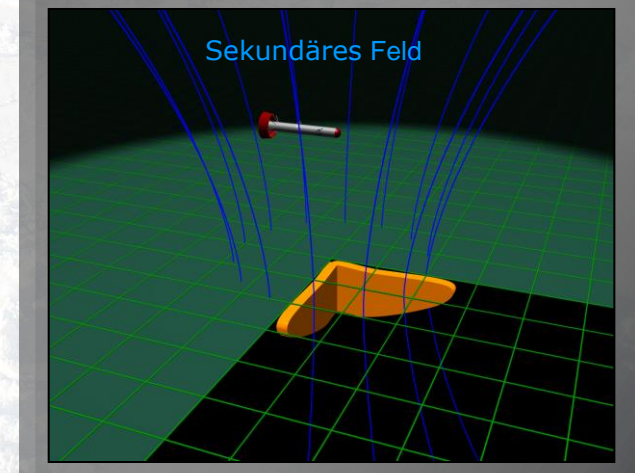
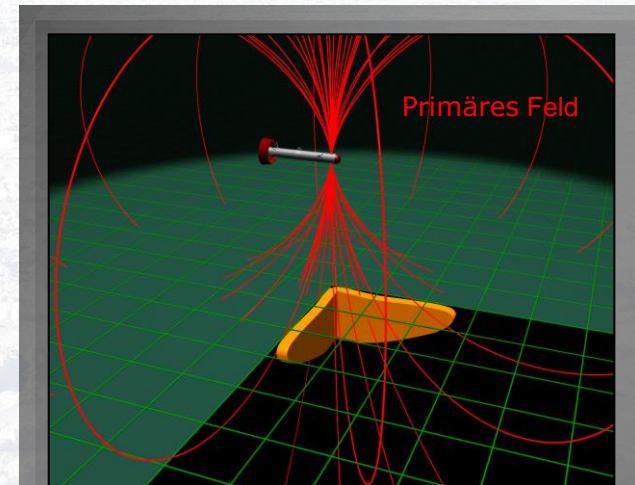
EM Bird - Messprinzip

- Messgröße : Relatives sekundäres Feld

$$\frac{H_s}{H_p} = -r^2 \int_0^{\infty} \lambda R_1 \cdot e^{-2\lambda h_0} \cdot f(\lambda r) d\lambda$$

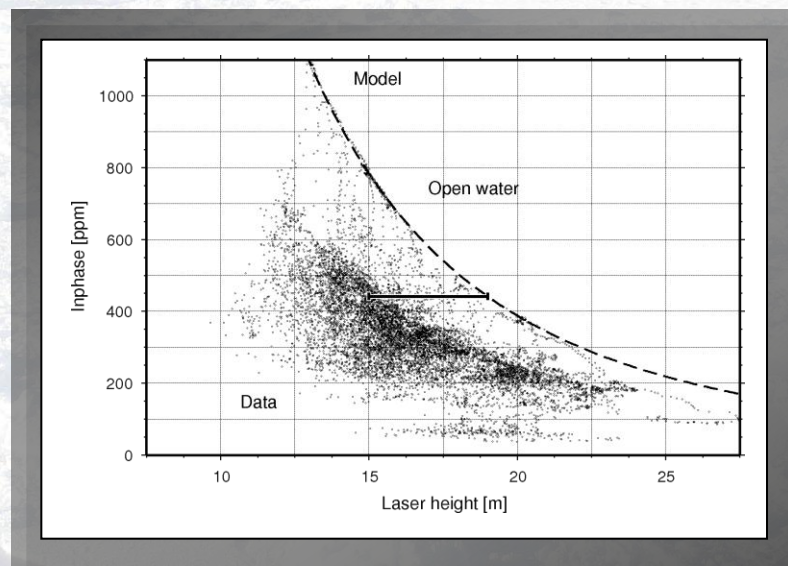
Hankeltransformation

- Annahme : Homogener Halbraum
 - Kontrast : Wasser ↔ Meereis, Schnee, Luft (Isolatoren)



EM Bird - Prinzip Eisdickenmessung

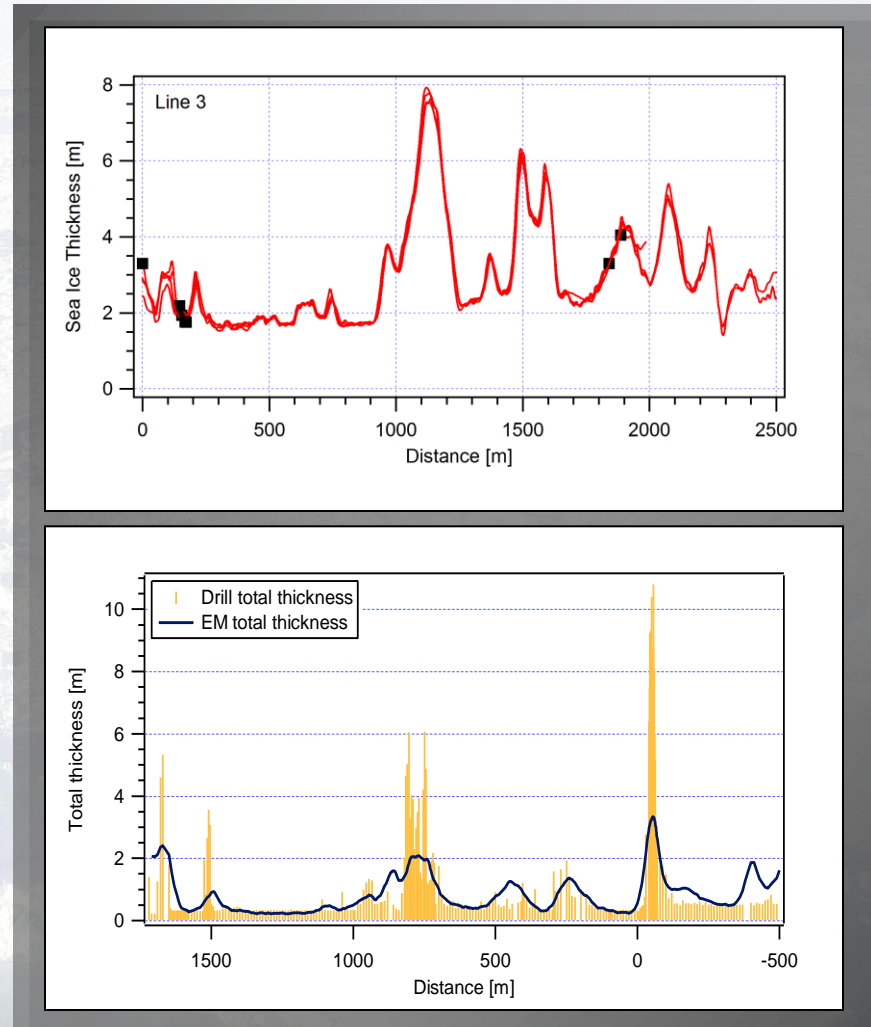
- Bestimmung des Abstandes des Instruments zur Wasser – Eisgrenzfläche separat für Inphase/Quadrature
- Differenz aus „EM-Abstand“ und Laser-Höhe ergibt Schnee + Eis Dicke



- Ergebnisse aus dieser empirischen Auswertung qualitativ vergleichbar mit formalen Inversionen (A. Pfaffling)

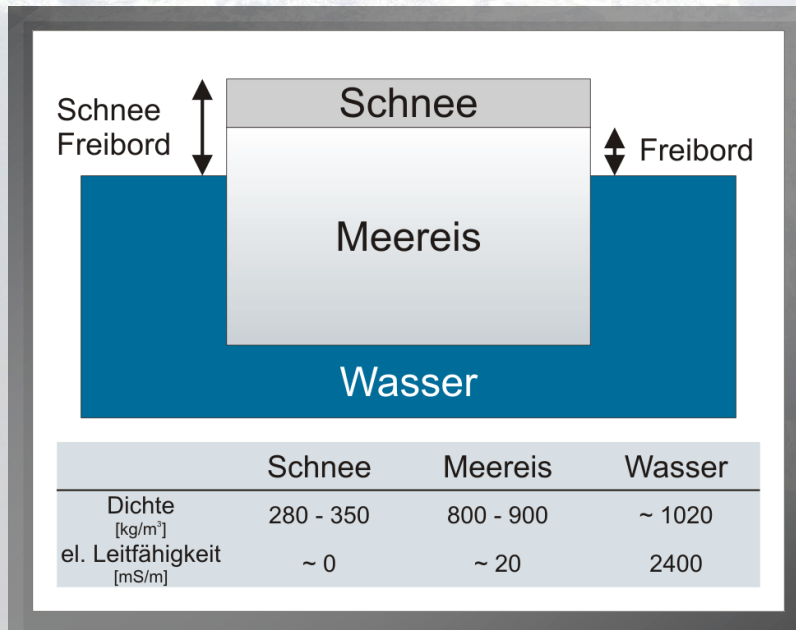
EM Bird - Genauigkeit

- Leitfähigkeitskontrast erlaubt Genauigkeit im cm-Bereich
- Ebenes Eis
 - Selbstkonsistenz : ± 5 cm
 - Absolute Genauigkeit : ± 10 cm
- Footprint : $\sim 4 \times$ Flughöhe
 - 90% des Induktionsvorgangs
 - Meereis-Topographie häufig kleiner
- Presseisrücken
 - Deutliche Unterschätzung der maximalen Dicke
 - Überschätzung der Breite der Rücken
 - Erhöhte Leitfähigkeit



Validierung Isostasie

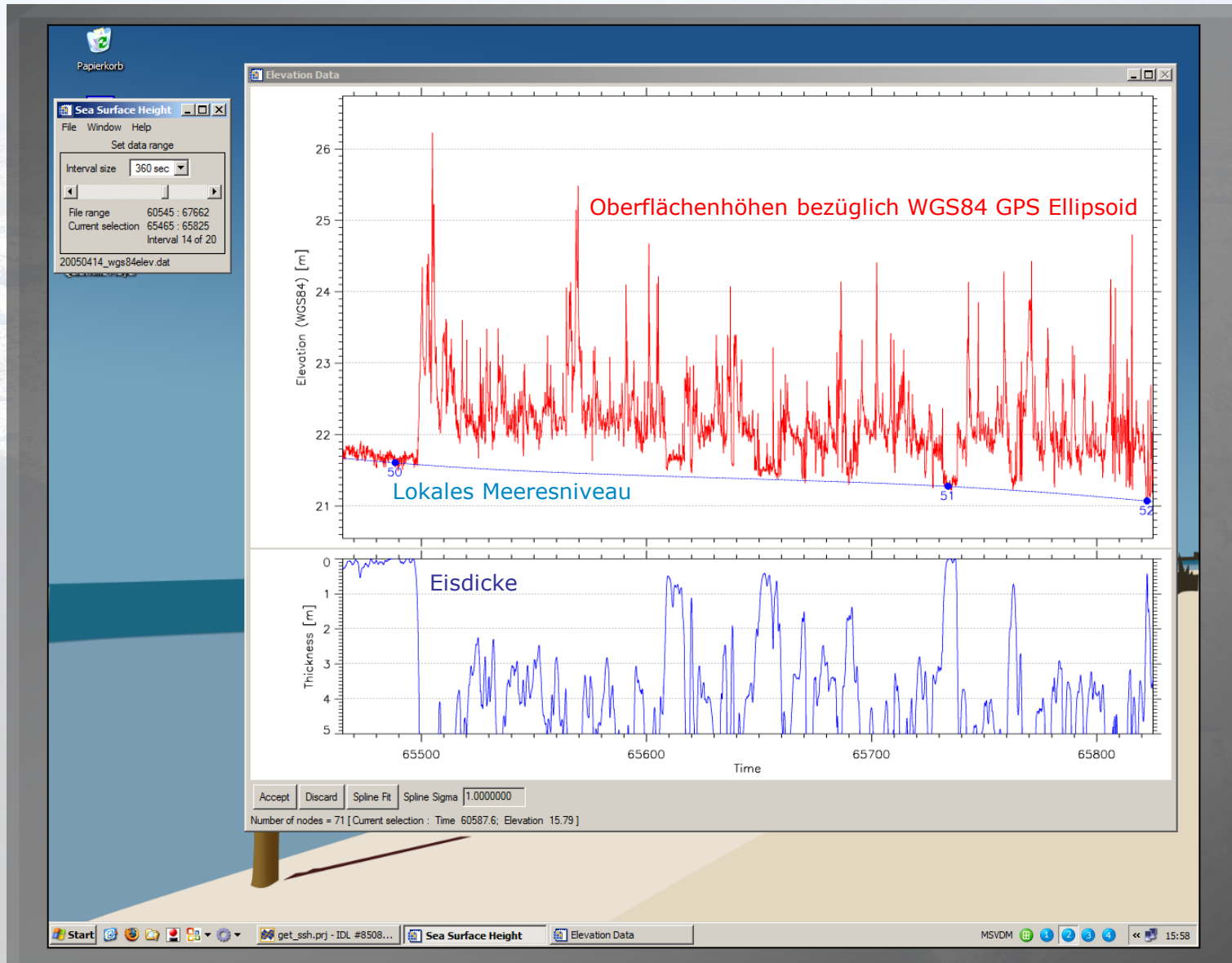
- Altimetrie mit Satelliten
 - Radar CryoSat-2 Footprint: 250 m
 - Laser ICESat Footprint: 70m
- Annahme : isostatische Kompensation
- Beide System können Schneedicke einzeln nicht erfassen
- Schneedicke sensitive Größe



Validierungsprinzip

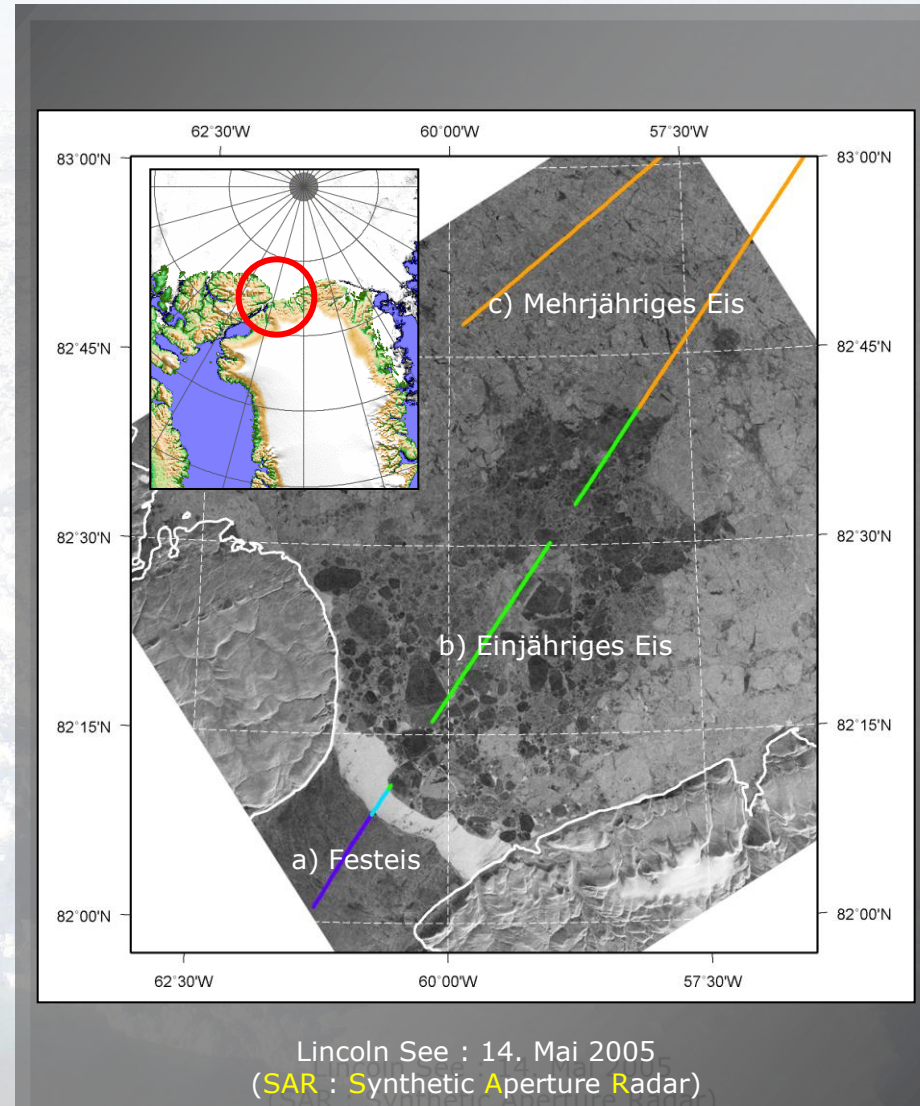
- Gesucht: $Dicke = \text{Faktor/Funktion} \times \text{Freibord/Schneefreibord}$
- EM Bird kann simultan Eisdicke und Schneefreibord bestimmen
 - Korrektur Laserabstand mit Differential-GPS
- Bestimmung des lokalen Meeresspiegels anhand von eisfreien Bereichen
 - Abweichungen vom Geoid durch Geoidfehler, dynamische Meerestopographie
- Untersuchung für verschiedene Eistypen : S. Goebell, 2007
 - Modale Eisdicken reproduzierbar
 - Hauptproblem : unbekannte Schneedicke
- Fehlerquellen bei deformiertem Eis
 - Veränderte Dichte durch Intrusion von Salzwasser
 - Lokale Abweichung von isostatischer Kompensation (Spannungsfelder)

Bestimmung des Schneefreibordes

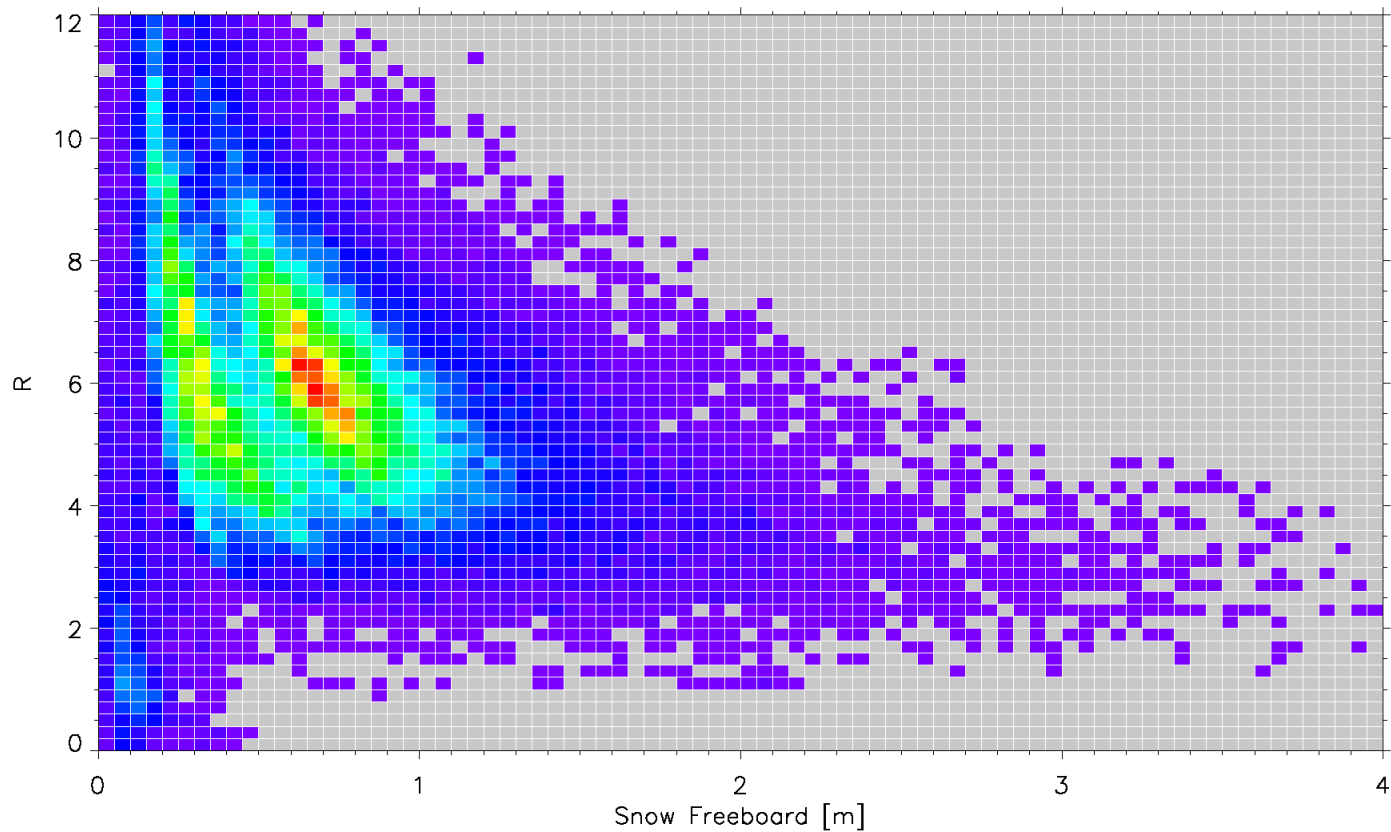


Beispiel : Lincoln See

- Messflug im Mai 2005
- DGPS Postprozessing möglich dank naher Basisstation
- Verschiedene Eistypen
 - Festeis: **eben, geringe Schneeauflage**
 - Einjähriges Eis: **geringe Dicke und Schneeauflage, moderat deformiert**
 - Mehrjähriges Eis: **dickes deformiertes Eis mit viel Schnee**



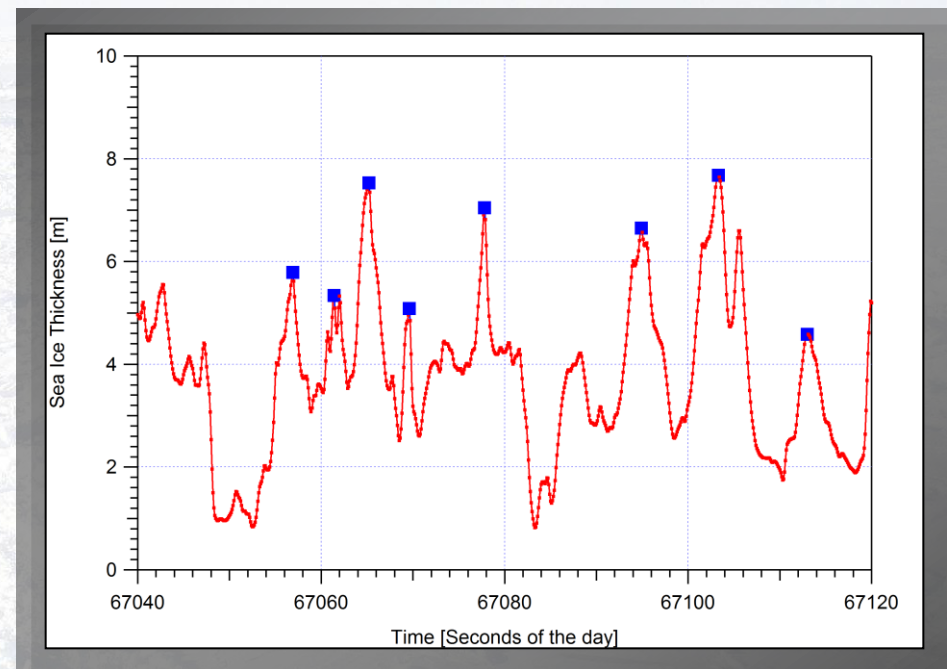
Konvertierung Schneefreibord



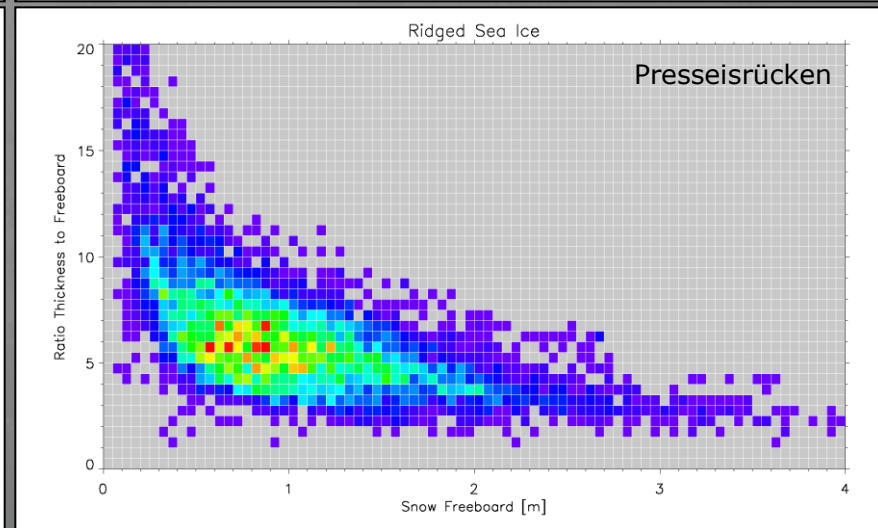
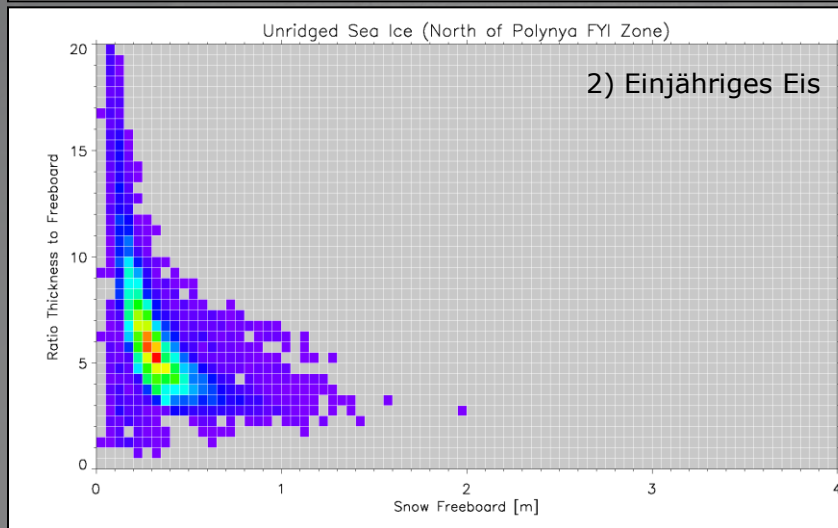
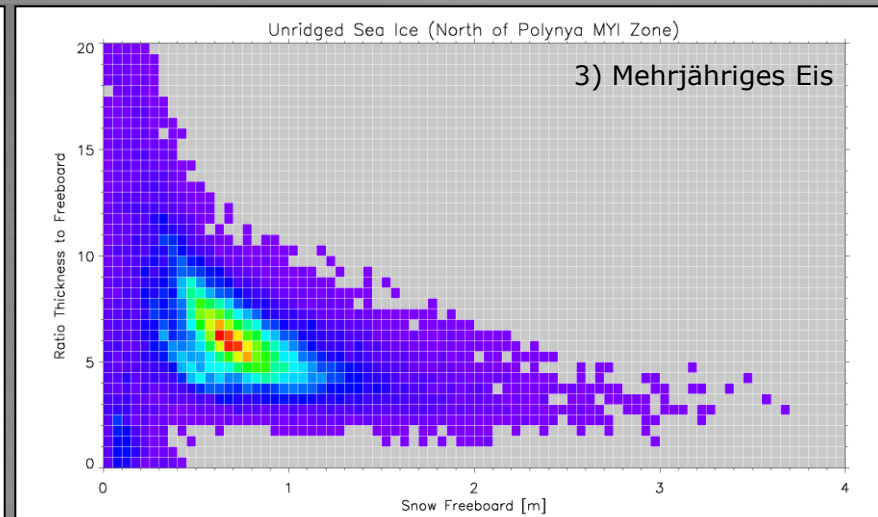
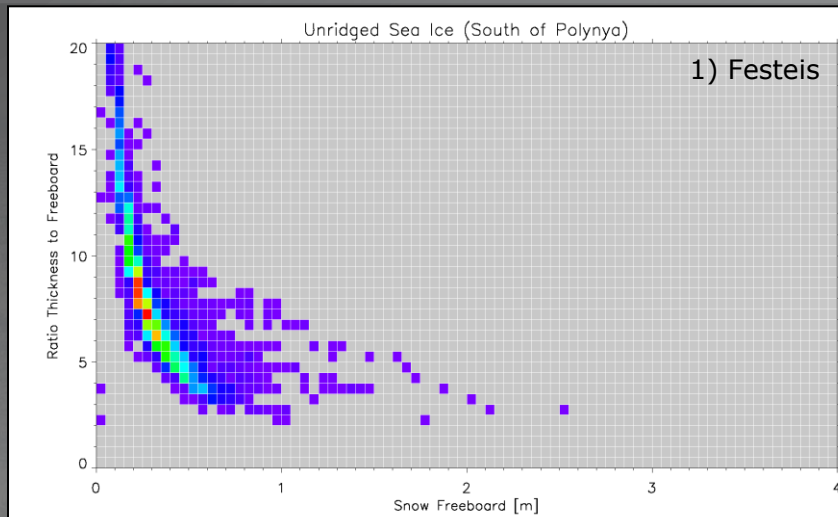
$t = R(s) \times s$
R: Verhältnis Schneefreibord s zu Eisdicke t

Klassifikation von Presseisrücken

- Bestimmung durch Rayleigh-Kriterium
 - Ursprünglich angewandt auf Laser Daten
 - Lokales Maxima mit zwei Werten unterhalb einer Grenze auf beiden Seiten in einem definierten Fenster
 - Mindestabstand um einzelne Rücken klar zu identifizieren
 - Lokale Minima an beiden Seiten bestimmen die Breite des Rückens
- Getrennte Betrachtung von R bei Presseisrücken & Rest in verschiedenen Zonen



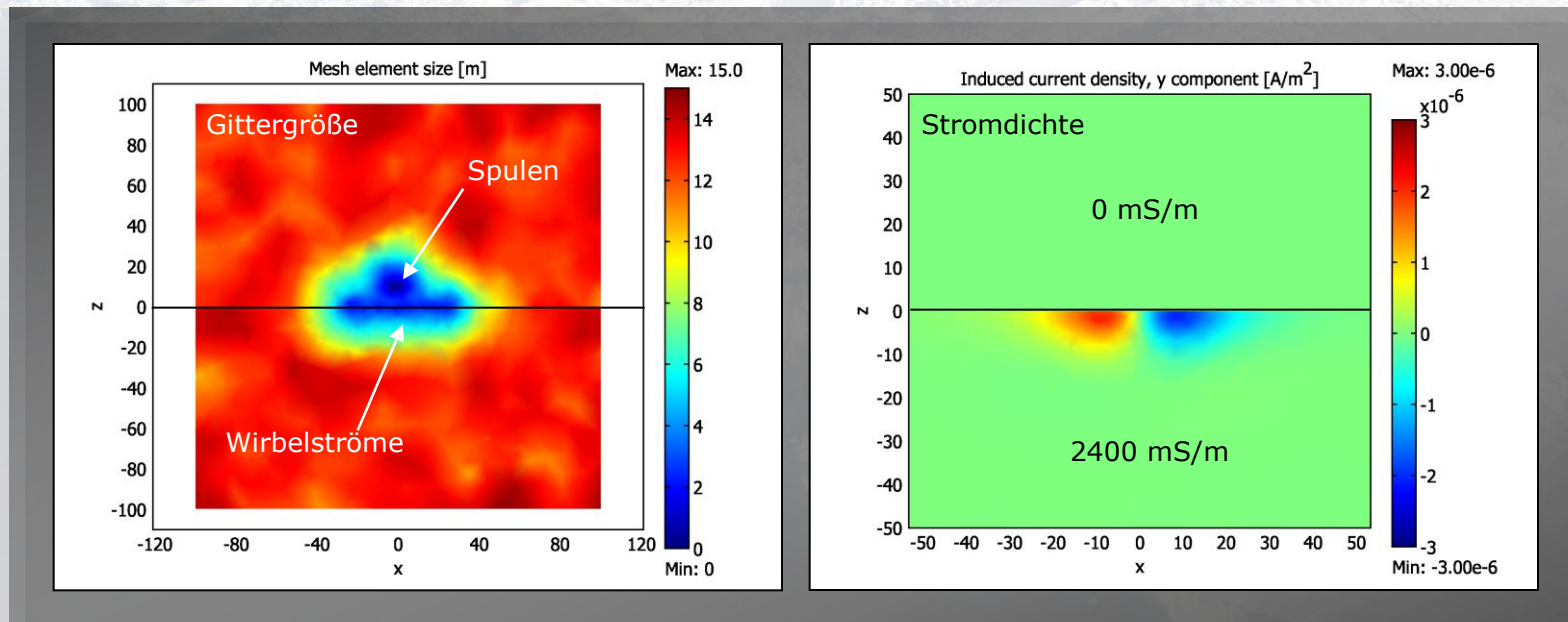
Verschiedene Eistypen



R : Verhältnis Eisdicke / Schneefreibord

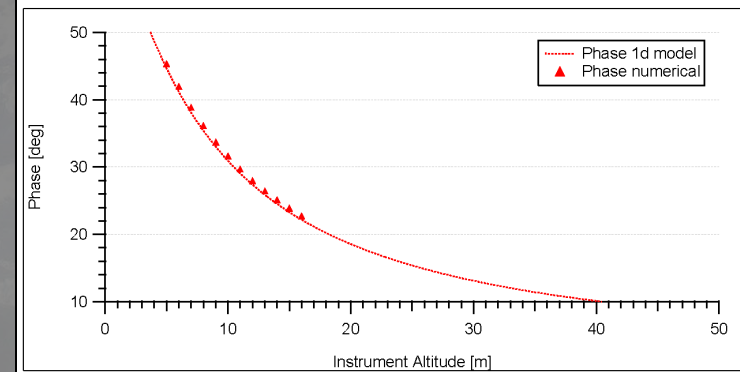
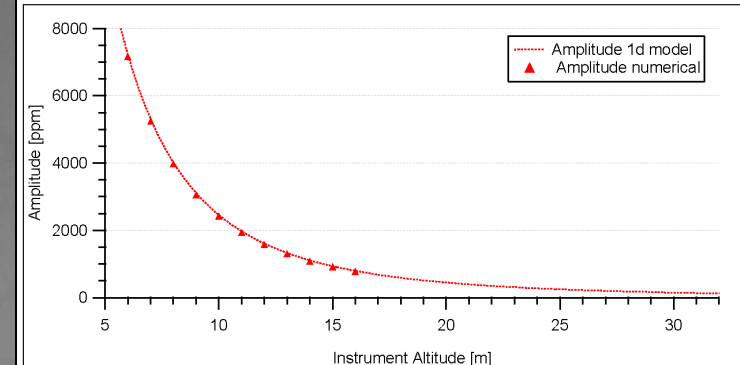
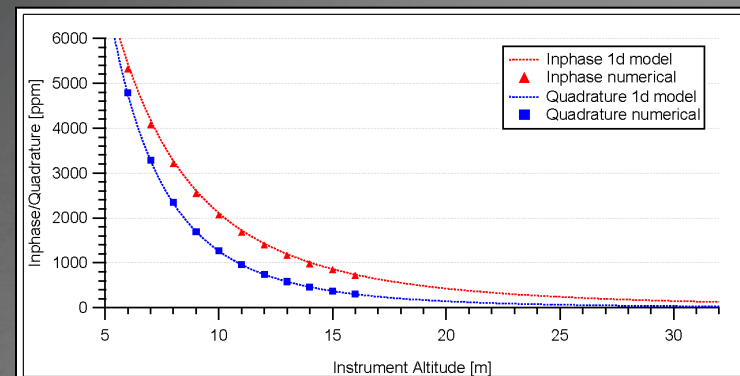
EM Problem : Finite Elemente Modellierung (FEM)

- Software : Comsol Multiphysics (Testversion)
 - Andere geophysikalische Anwendungen : Magnetotellurik, Minendetektion
- Quasistatische Ansatz, keine elektrischen Potentiale
- Beliebige Geometrien simulierbar
- Spulen durch stromführende Rechtecke realisiert



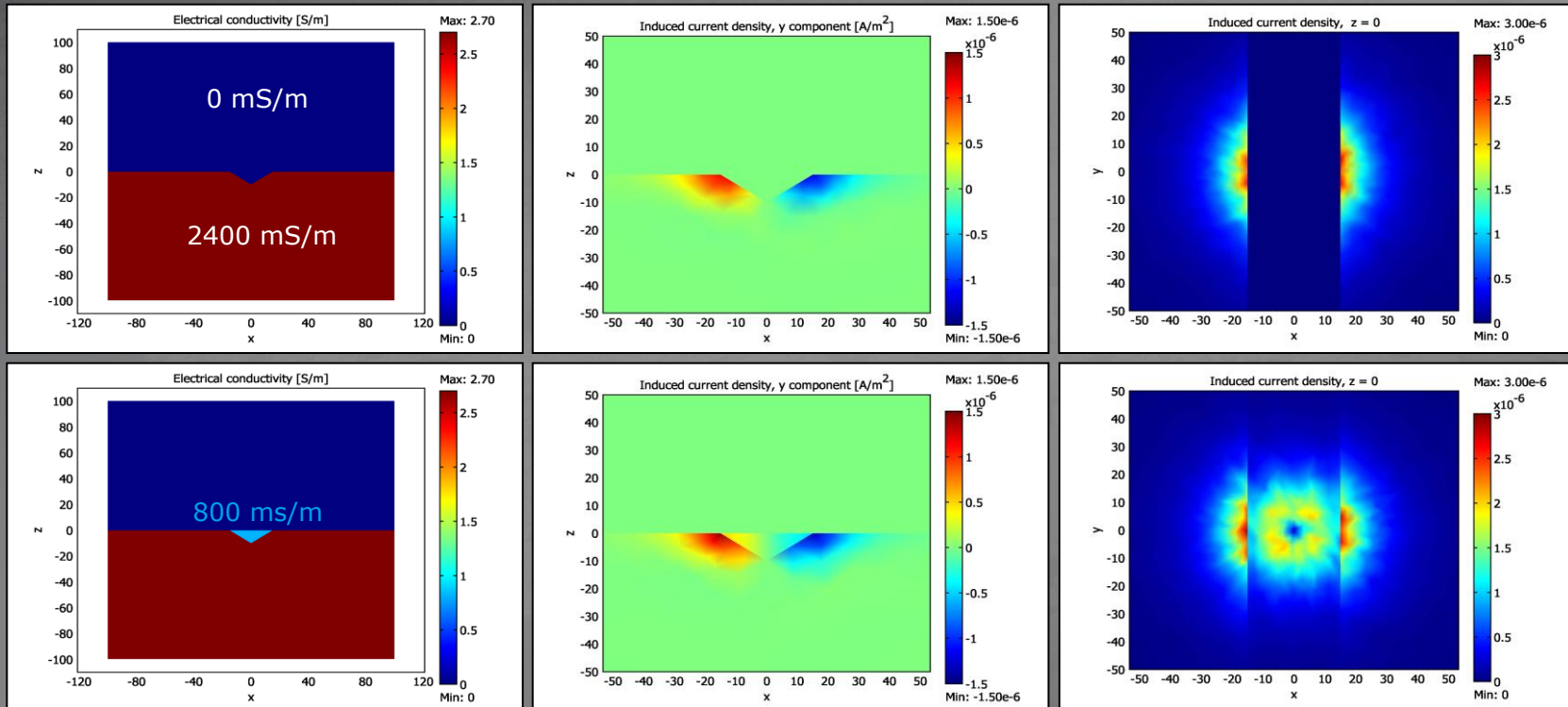
FEM : Validierung

- Validierung anhand analytische Lösung im 1D Fall
- Genauigkeit : $\sim 2\%$
- Modellraum eventuell nicht groß genug gewählt (Hauptspeicher auf Testsystem limitiert)
 - Randeffekte vom Primärfeld



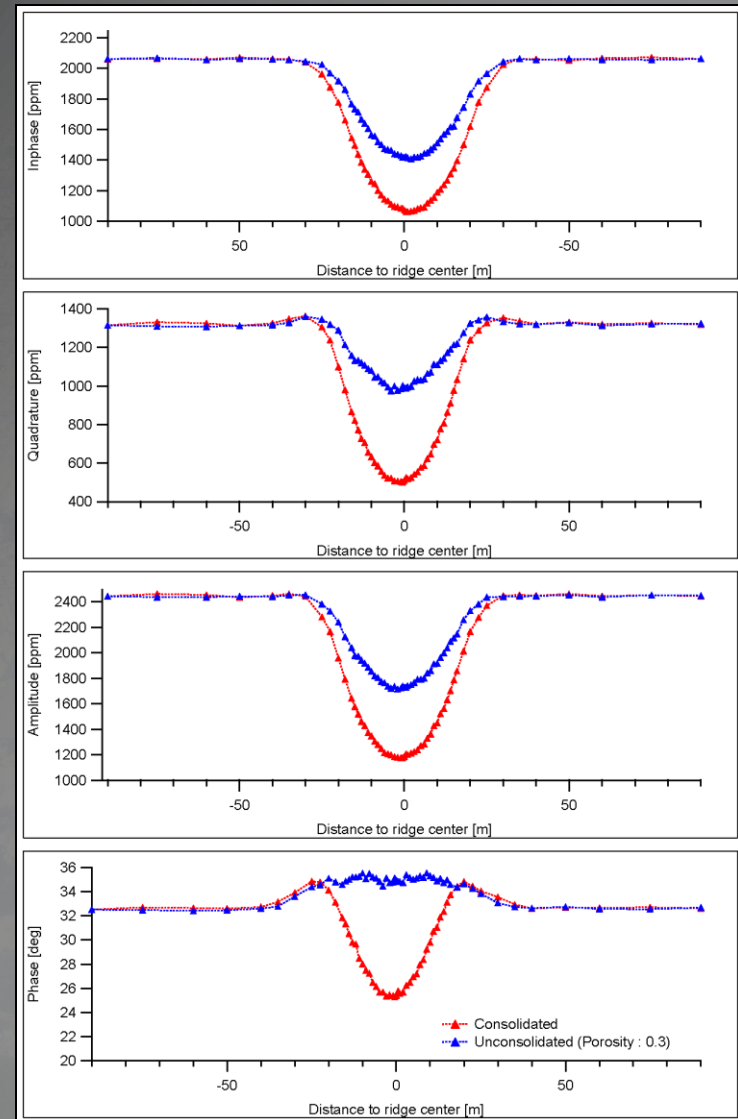
FEM : Mehrdimensionaler Fall

- Modellierung eines idealisierten Presseisrückens



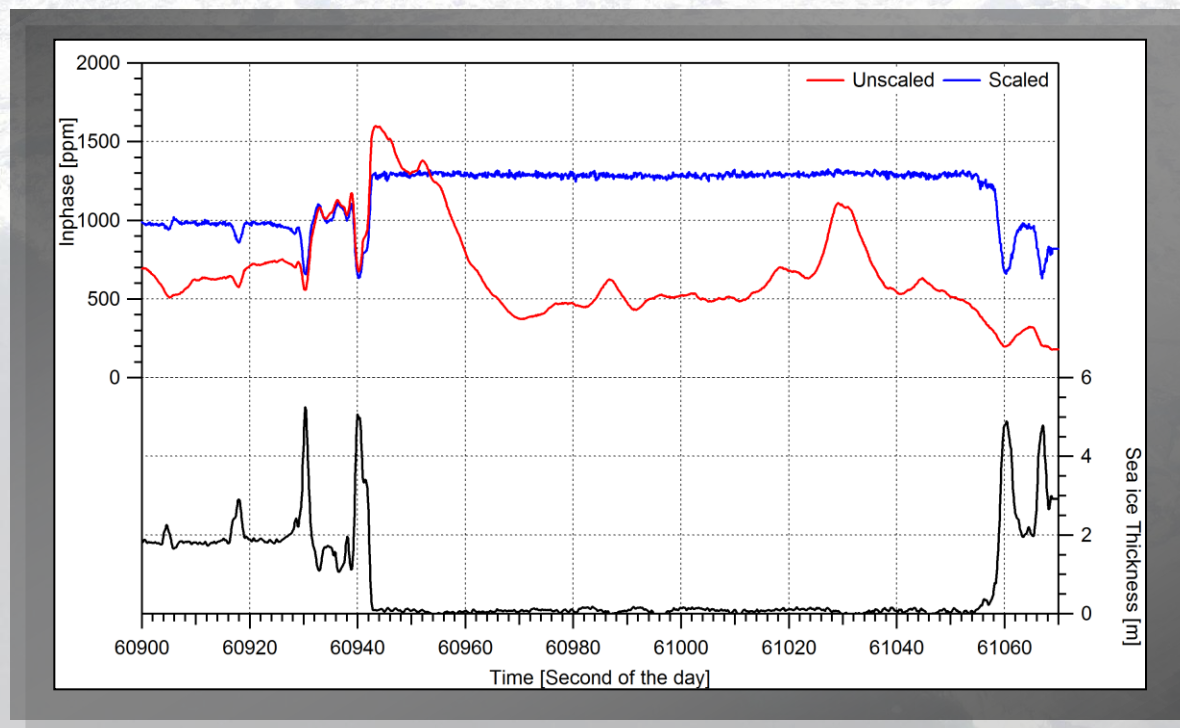
FEM : Mehrdimensionaler Fall

- Deutlicher Unterschied in der EM-Phase zwischen unterschiedlichen Presseisrückenmodellen
- Klassifizierung unterschiedlicher Presseisrückentypen möglich?
- Weitere Anwendungen
 - Empirische Korrekturalgorithmus für Presseisrückenkantur
 - Bessere Abschätzung Deformationsgrad von Meereis

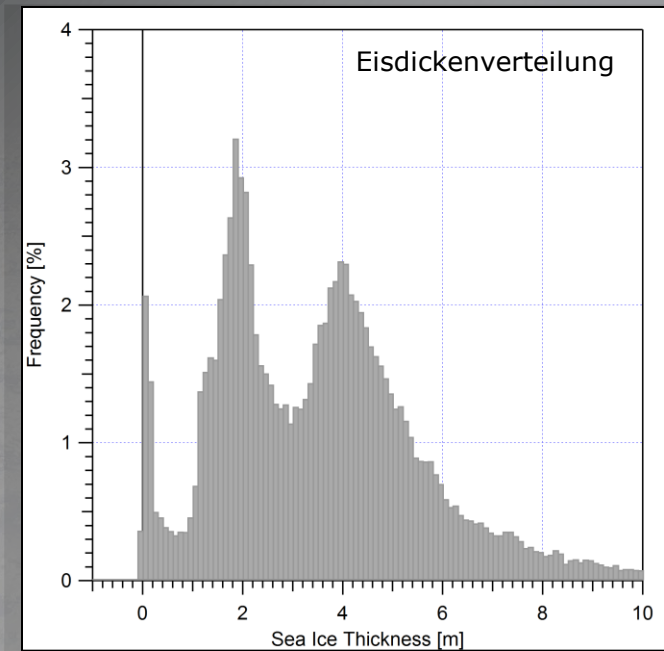
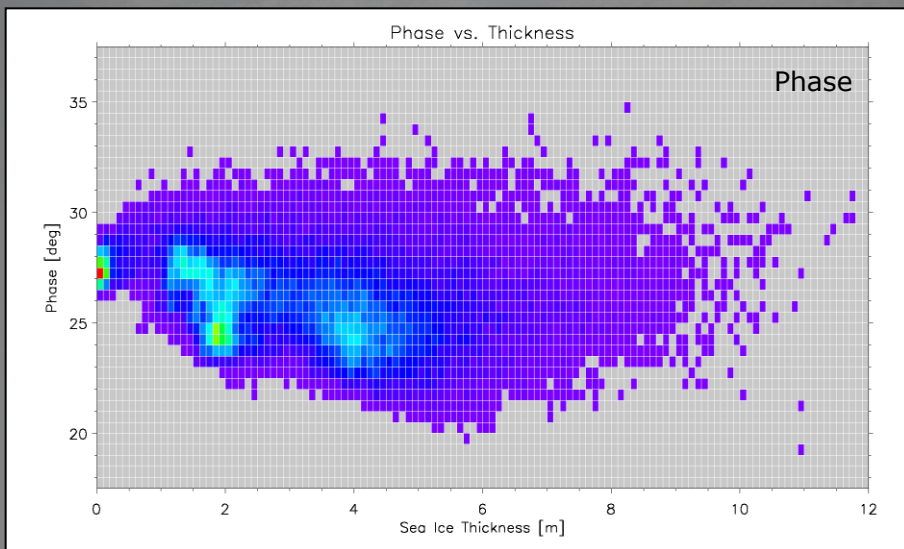
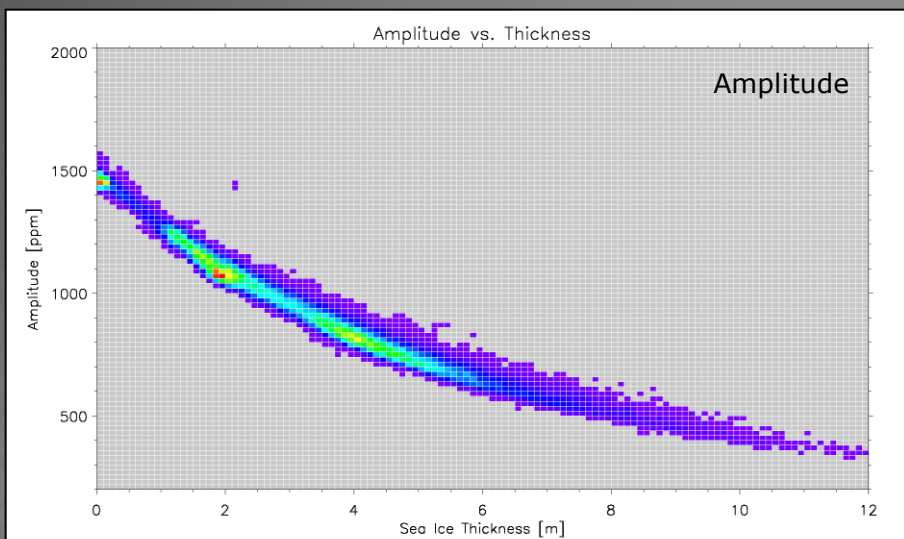


Skalierung EM Signal

- Variation in der Höhe verursachen große Änderungen in der gemessenen EM-Phase
- Höhe über Meeresspiegel mit DGPS bekannt
 - Skalierung des EM Signals auf einheitliche Höhe



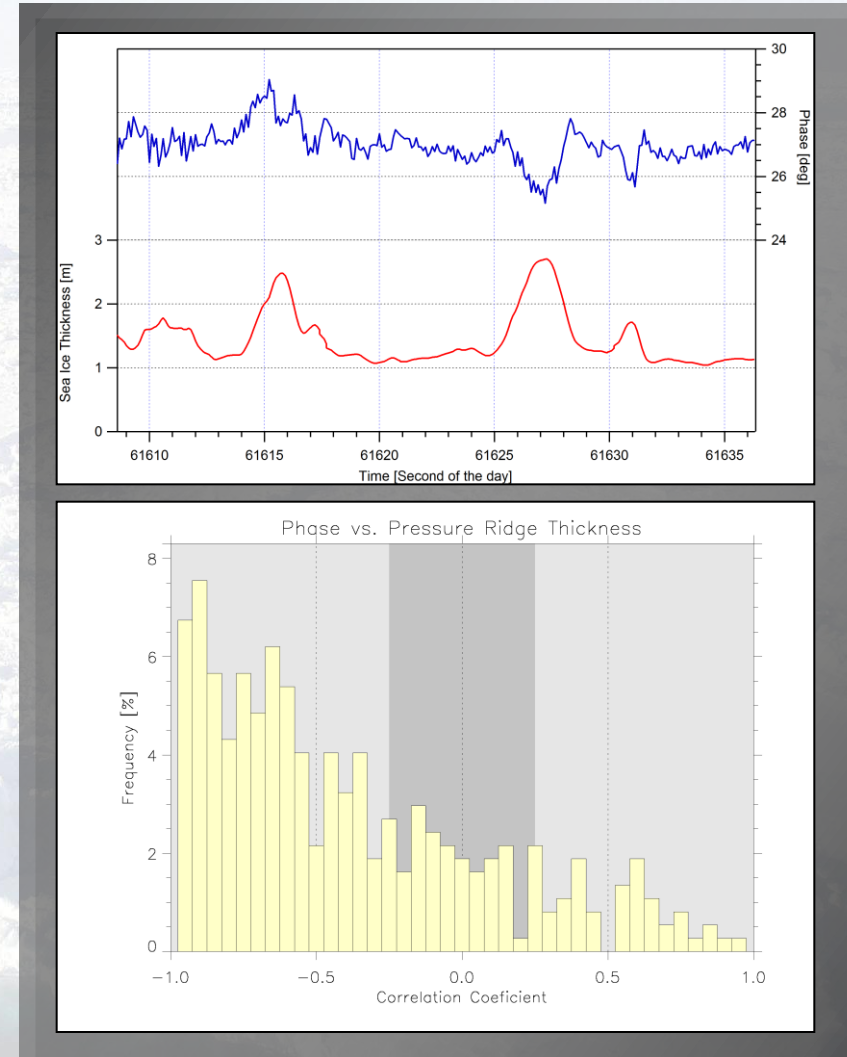
Amplitude und Phase



- Amplitude weitestgehend 1D Fall entsprechend
- Phase mit komplexerem Verhalten

Phasenverhalten über Presseisrücken

- Unterschiedliches Phasenverhalten wird beobachtet
- Bestimmung des linearen Korrelationskoeffizienten von Phase vs. Dicke
- Klassifizierung in 3 Kategorien
 - Negative Abhängigkeit $c < -0.25$
 - Nicht bestimmbar $-0.25 < c < 0.25$
 - Positive Abhängigkeit $c > 0.25$
- Kategorien
 - Negativ : 66 %
 - undefiniert : 20 %
 - Positiv : 14 %

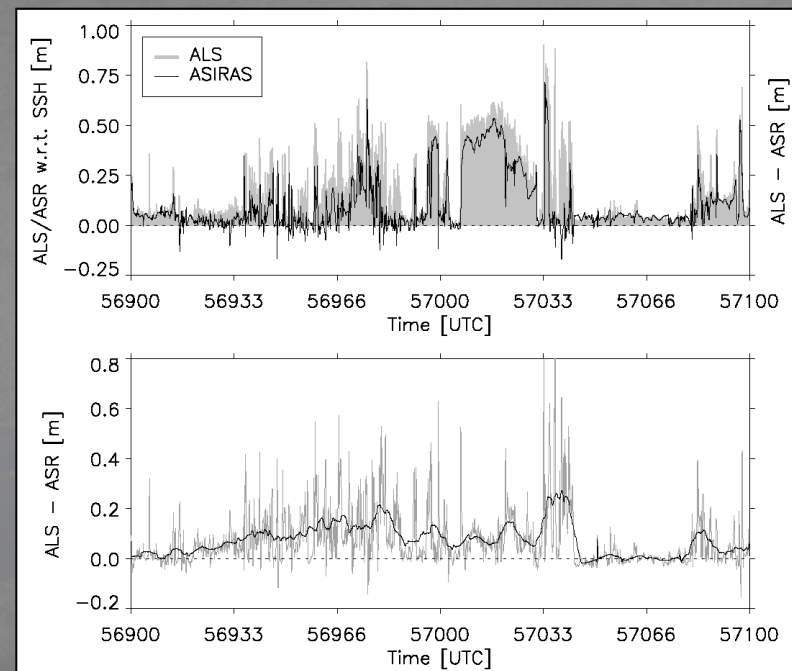
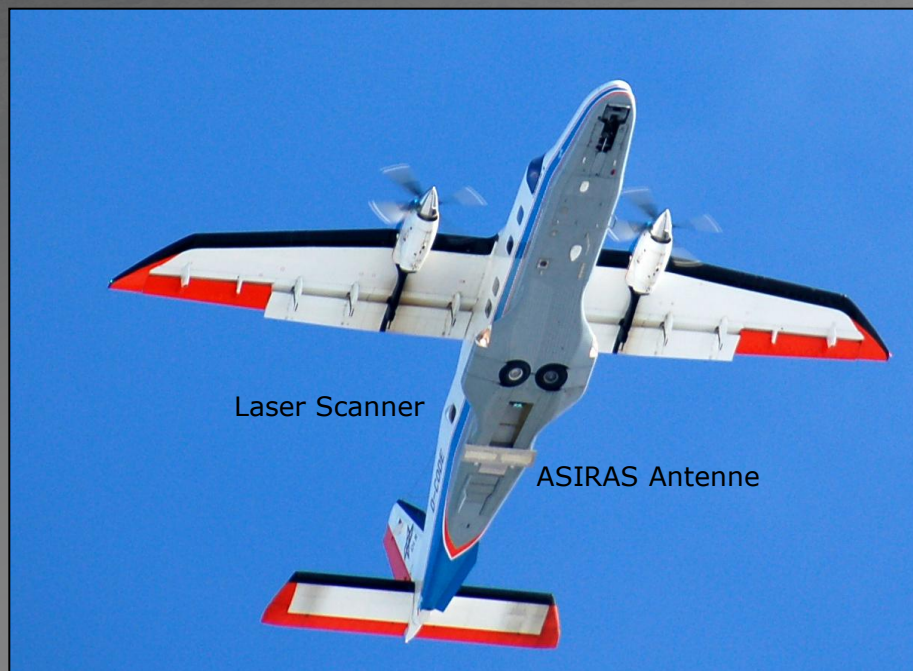


Zusammenfassung / Ausblick

- Aufspaltung in deformiertes/undeformiertes Eis bedeutsam für Validierung von Eisdicken aus Schneefreibordmessungen
- Weitere EM Daten aus der Beaufortsee stehen mit DGPS Prozessing bald zur Verfügung
 - Weiterer Datensatz : Antarktis mit größerer Schneeauflage
- EM Modellierung gibt Signaturen von Presseisrücken wieder
 - Großteil verhält sich wie simulierter 2D Fall in Testdatensatz
- Wesentlich verbesserte EM Modellierung demnächst möglich
 - Untersuchung 3D Fall
 - Empirische Korrektur der Eisdicke für Presseisrücken
- Herausforderung: Unbekannte Schneedicke
 - Kombinierte Laser/Radar Flugzeugmessungen in verschiedenen Stellen der Arktis

Erfassung Schneedicke

- Validierungsmessungen mit Flugzeug-gestützten Radarsystem
(Airborne Synthetic Aperture and Interferometric Radar Altimeter System, ASIRAS)
- Vergleichende Messungen mit Laserscanner



Vergleichmessung : Ostsee 2005

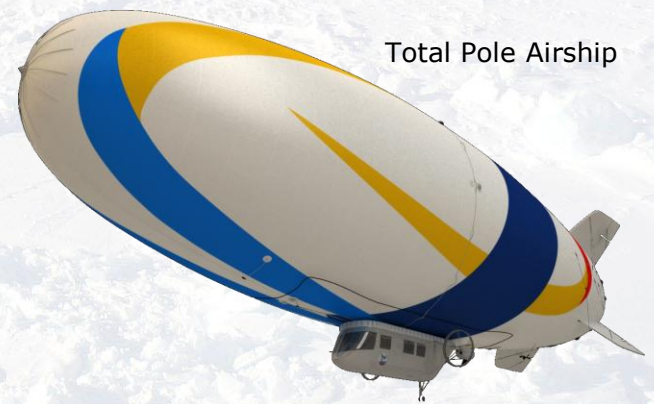
EM Systeme



Fixed Wing EM System



Polarflugzeug : Polar 5



Total Pole Airship

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!