

Elektromagnetik in den Polargebieten: Wie dick ist das Meereis ?

S. Gerland, H. Eicken, C. Haas und H. Miller

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 120161, D-27515 Bremerhaven

Einleitung

Die Dickenverteilung arktischen und antarktischen Meereises spielt im globalen Klimasystem eine wichtige Rolle. Gemeinsam mit anderen physikalischen Parametern steuert und beeinflusst das Meereis bzw. dessen Dicke die Wechselwirkung (z.B. Energieaustausch) zwischen Ozean und Atmosphäre wesentlich. Meereisdickendaten werden bisher i. A. mit Hilfe von direkten Messungen an Bohrlöchern ermittelt. Fernerkundungsverfahren zur Eisdickenbestimmung sind zwar in der Entwicklung (z. B. Kovacs et al., 1987; Kovacs und Morey, 1991), jedoch noch nicht als Standard etabliert.

Während dreier Expeditionen mit dem Forschungsschiff "Polarstern" zu verschiedenen Jahreszeiten in die Arktis (ARK-IX/1a im Winter 1993; Eicken und Meincke, 1994, und ARK-IX/4 im Sommer 1993, Fütterer, 1994) und die Antarktis (ANT-XI/3 im Süd-Sommer 1994, Miller und Grobe, 1994) konnten ausführlich indirekte, elektromagnetische Eisdickenmessungen mit einem Geonics EM-31 Gerät gemeinsam mit konventionellen direkten Dickenmessungen (Bohrungen durch das Meereis) vorgenommen werden. Außerdem wurden Eiskerne mit einem Kernbohrer (4 Zoll Durchmesser) an ausgewählten Profilpunkten erbohrt, um später bessere Aussagen über die Eiseigenschaften machen zu können.

Der Vergleich von elektromagnetischen Messungen (indirekte Meereisdickenbestimmung) und Bohrungen (direkte Meereisdickenbestimmung) unter verschiedenen Randbedingungen (Jahreszeiten) sollte die Möglichkeiten und Grenzen der Elektromagnetik für diese Anwendung aufzeigen.

Elektromagnetik

Das Prinzip aktiver induktiver elektromagnetischer Messungen kann in Kürze folgendermaßen beschrieben werden: Das von der Sendespule erzeugte primäre Magnetfeld induziert Wirbelströme im Eis und Meerwasser, die proportional zur Entfernung und zur elektrischen

Leitfähigkeit dieser Medien (Meerwasser: ca. 2500 mS/m; Meereis: einige mS/m) sind. Das hieraus resultierende sekundäre Magnetfeld wird gemeinsam mit dem primären an der Empfängerspule gemessen. Über das Verhältnis von primärem und sekundärem Magnetfeld kann die scheinbare Leitfähigkeit des Untergrundes berechnet werden (Keller und Frischknecht, 1966; Geonics Ltd., 1992). Diese scheinbare Leitfähigkeit setzt sich anteilig aus der spezifischen Leitfähigkeit von Meereis und Ozeanwasser zusammen. Der Anteil des Meereises kann aufgrund der um mehrere Größenordnungen kleineren spezifischen Leitfähigkeit i.A. vernachlässigt werden. Je dicker das Meereis ist, desto größer ist die Entfernung zwischen Gerät und Ozeanwasser, und desto niedriger ist deshalb die gemessene scheinbare Leitfähigkeit.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf Messungen mit einem tragbaren Geonics EM-31 Gerät (Geonics Ltd., 1992), bei dem zwei Spulen von einigen Zentimetern Durchmesser koplanar orientiert sind. Diese Spulen sind mit einem Abstand von 3.66 m im stangenförmigen Gerät untergebracht. Die Messung wird bei einer Arbeitsfrequenz von 9.8 kHz durchgeführt.

Speziell im Zusammenhang mit Messungen bei sehr kalten Umgebungstemperaturen (-35°C bis -40°C) sei hier noch auf zwei Probleme bei den Messungen mit dem EM-31 hingewiesen: Zum einen zeigte es sich, daß die Leitfähigkeitsanzeige (LCD-Display) des Gerätes mit zunehmender Kälte träge (im günstigen Fall) bis nicht mehr ablesbar (im ungünstigen Fall) wird. Mit Hilfe alternativer Datenerfassungsvarianten (Nutzung des Analogausgangs am Gerät, automatische Aufzeichnung) läßt sich dieses Problem umgehen bzw. beheben. Desweiteren weist die vom EM-31 angezeigte scheinbare Leitfähigkeit eine Drift auf, wenn das Gerät in der kalten Luft abkühlt. Erst nach ca. einer Stunde Kälteexposition ist wieder eine stabile Anzeige erreicht und erfolgreiche Messungen sind dann möglich.

Meßergebnisse

Generell korrelieren die Profile scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit sehr gut mit Eisdickenmeßdaten, die anhand von Bohrungen ermittelt wurden. Die gemessenen scheinbaren elektrischen Leitfähigkeiten entlang eines 200 m - Profils (gemessen während der Winterexpedition ARK-IX/1a) sind in Abb. 1 dargestellt. Der Meß- und Bohrpunktabstand beträgt 4 m. Zudem wurden detaillierte höhenabhängige Messungen mit Hilfe einer Leiter bis zu einer Höhe von 4 m vorgenommen (Abb. 2).

Profilmessungen, die während des arktischen Sommers durchgeführt wurden, zeigen generell eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Winterreise. In Abb. 3 sind die scheinbaren Leitfähigkeiten, die während beider Expeditionen gemessen wurden, gegen die entsprechenden Dicken aus Bohrungen aufgetragen. Für beide Datensätze wurden exponentielle Funktionen angenähert, um empirische Beziehungen zwischen scheinbarer Leitfähigkeit und Dicke zu erhalten (gestrichelte und durchgezogene Linie in Abb. 3). Welche

Einflüsse für den leichten Versatz beider Funktionen letztlich ausschlaggebend sind, soll in Zukunft noch untersucht werden. Sowohl die unterschiedliche Leitfähigkeit des Eises im Sommer und Winter, als auch die Geräte- und Spuleneigenschaften bei verschiedenen Lufttemperaturen können hierbei eine Rolle spielen. Abb. 4 zeigt die erbohrten Dicken gemeinsam mit den aus EM-Messungen berechneten Dicken. Abgesehen vom Profilbereich um 90 m liegt der relative Fehler unter $\pm 10\%$ (Abb. 5). Der Abschnitt mit größeren Abweichungen liegt über einem Preßeisrücken mit hoher Variation der Eisdicke; hier bewirken die unterschiedlichen "Footprints" bzw. Übertragungsfunktionen beider Verfahren unterschiedliche Ergebnisse.

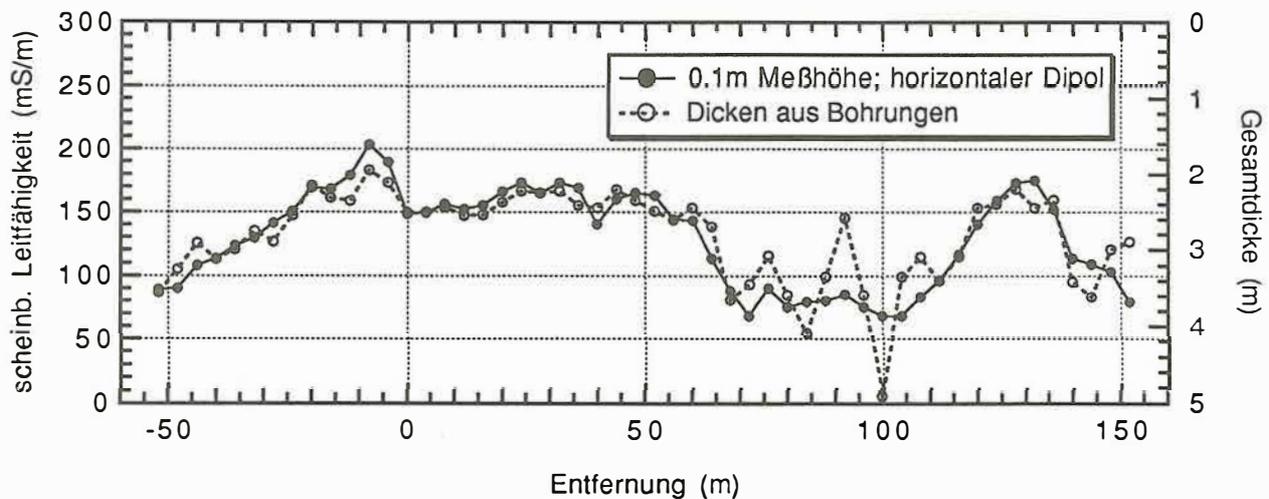


Abbildung 1: Ergebnisse entlang eines 200 m - Profils (Winterexpedition ARK-IX/1a). Dargestellt sind die scheinbare Leitfähigkeit (horizontaler Dipol, 0.1 m Meßhöhe) und die Eisdickendaten aus den Bohrungen.

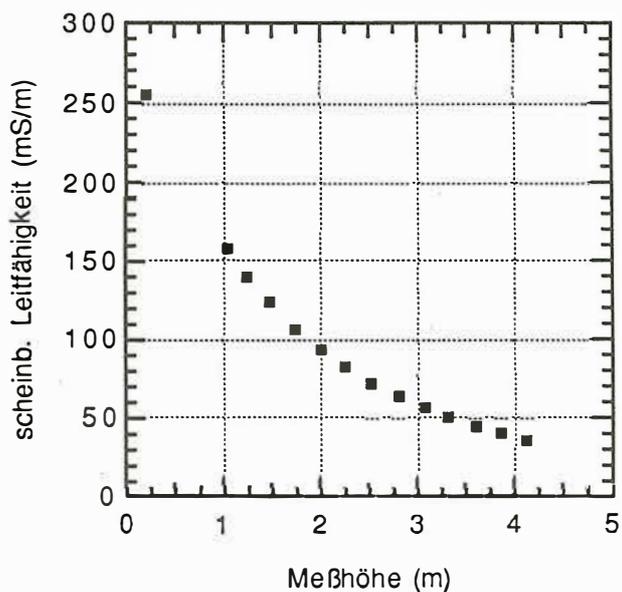


Abbildung 2: Höhenabhängige Messungen mit vertikaler Dipolorientierung. Die Abnahme der scheinbaren Leitfähigkeit bei ansteigender Meßhöhe ist deutlich erkennbar.

Abbildung 3: Scheinbare Leitfähigkeit gegen Eisdickendaten (Bohrungen). Dargestellt sind Daten von der Expedition ARK-IX/1a (Winter, "+") und ARK-IX/4 (Sommer, "·"). Für beide Datensätze wurden exponentielle Funktionen angenähert, um später die Eisdicke anhand der Leitfähigkeitsdaten zu berechnen (gestrichelte bzw. durchgezogene Linie).

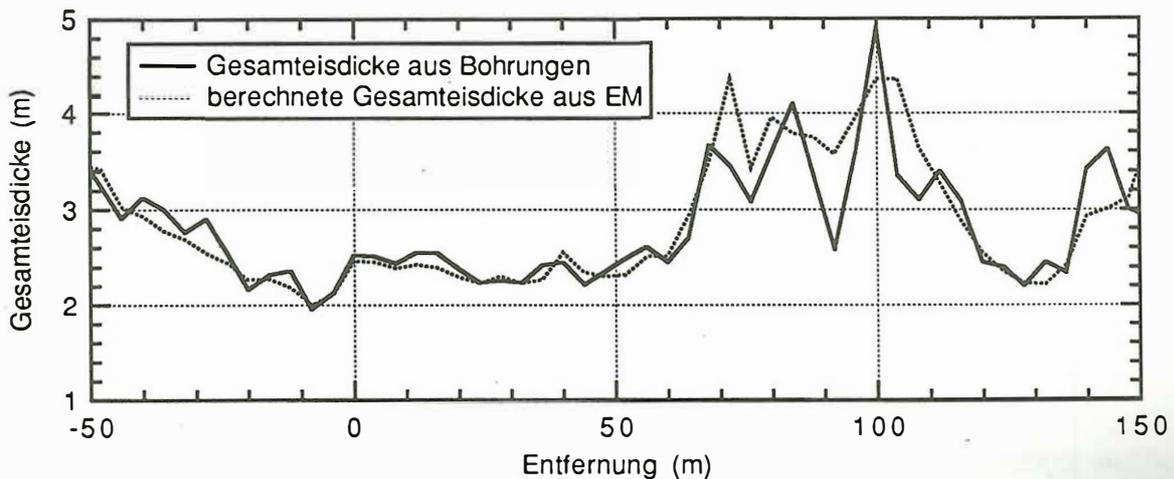
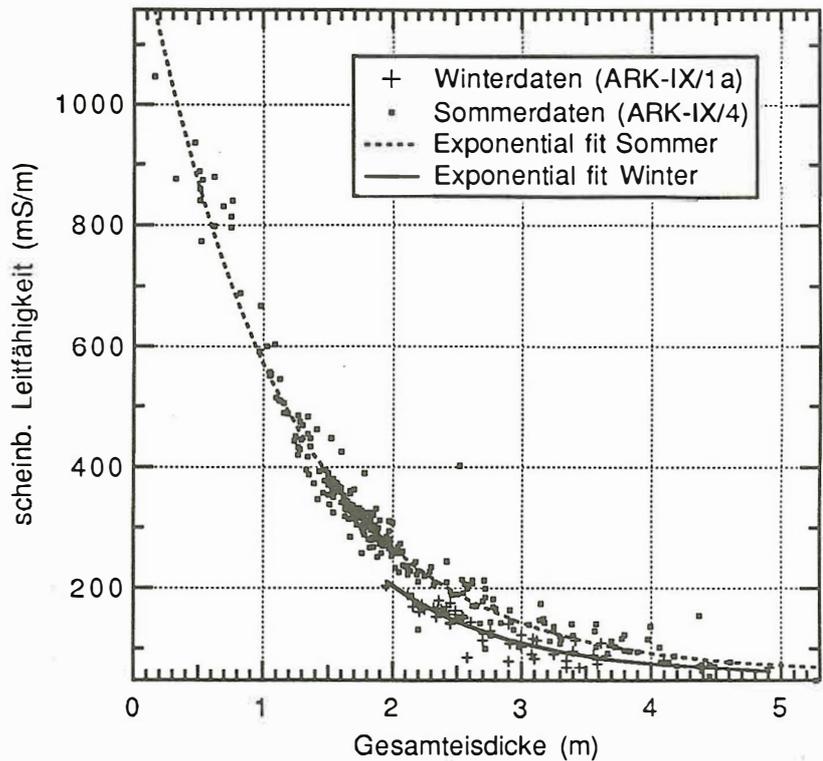


Abbildung 4: Erbohrte (durchgezogene Linie) und aus Leitfähigkeitsmessungen berechnete Eisdicken (gepunktete Linie) für das 200 m - Profil (s. Abb. 1).

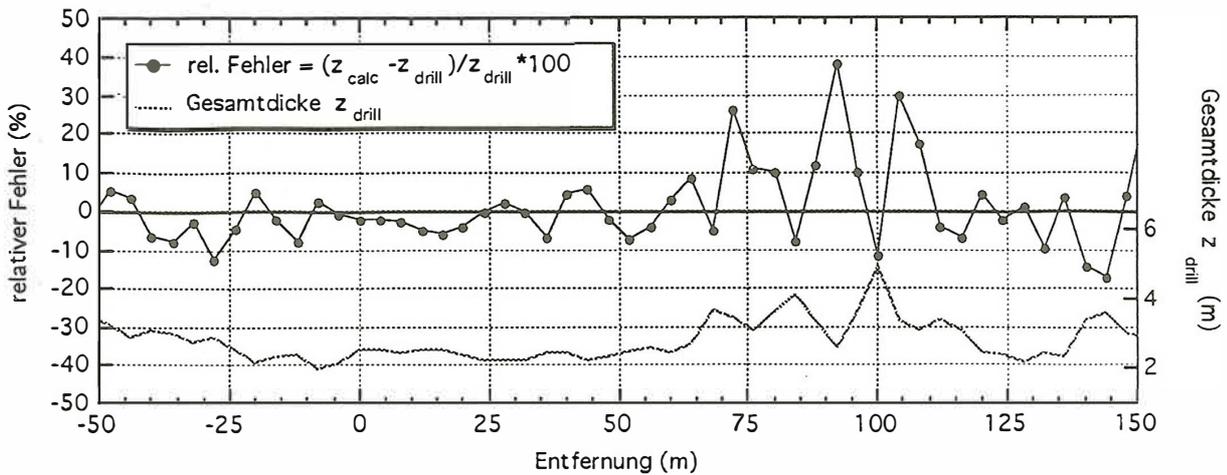


Abbildung 5: Relative Fehler der berechneten Eisdicken aus Abb. 4.

Während der Antarktisexpedition ANT-IX/3 (Januar bis März 1994) wurden erstmals kontinuierliche, hochauflösende elektromagnetische Messungen vom Bugkran des FS "Polarstern" während der Fahrt durch das Eis vorgenommen (Abb. 6). Die Daten wurden über eine automatische Datenerfassung aufgezeichnet. Außerdem wurde der Abstand vom Meßgerät zum Eis mit einem Laseraltimeter bestimmt. Auf diese Weise ermittelte Leitfähigkeiten und Meßhöhen sind in Abb. 7 für ein ca. 1 km langes Meßprofil dargestellt.

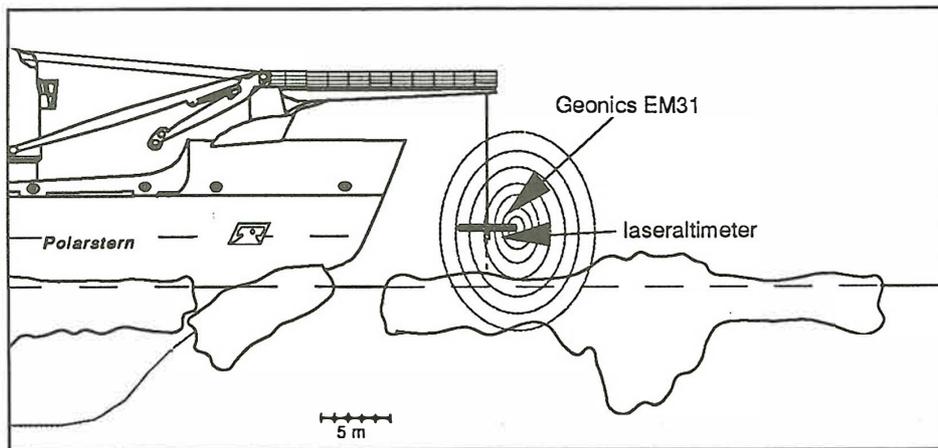


Abbildung 6: Meßanordnung der elektromagnetischen Messungen vom Bugkran des FS Polarstern.

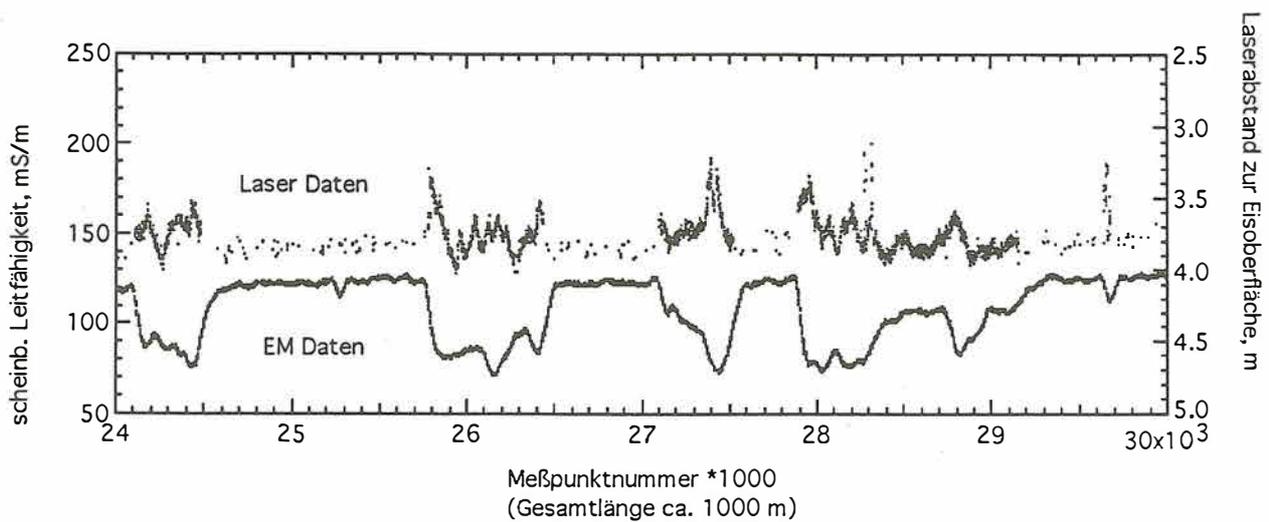


Abbildung 7: Scheinbare Leitfähigkeit und Höhe über dem Eis (aus Laser-Altimeter Messungen) für ein ca. 1 km langes Profil, gemessen während der Fahrt des Schiffes (Expedition ANT-XI/3).

Literatur

- Eicken, H. und Meincke, J. (Hrsg.), 1994: The Expedition ARKTIS-IX/1 of RV "Polarstern" in 1993. Reports on Polar Research, 134, 111 Seiten.
- Fütterer, D.K. (Hrsg.), 1994: The Expedition Arctic '93, Leg ARK-IX/4 of RV "Polarstern" 1993, Reports on Polar Research, im Druck.
- Geonics Ltd., 1992: EM 31 Operating Manual. Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada, 61 Seiten.
- Miller, H. und Grobe, H., 1994: The Expedition ANTARKTIS-XI/3 of RV "Polarstern" 1994, Reports on Polar Research, im Druck.
- Keller, G.V. und Frischknecht, F.C., 1966: Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, Oxford, 517 Seiten.
- Kovacs, A., Valleau, N.C. und Holladay, J.C., 1987: Airborne Electromagnetic Sounding of Sea Ice Thickness and Subice Bathymetry. Cold Regions Science and Technology, 14, S. 289-311.
- Kovacs, A. und R. M. Morey, 1991: Sounding sea ice thickness using a portable electromagnetic induction instrument. Geophysics, 56 (12), S. 1992-1998.

Dank

Der Schiffsführung und der Besatzung des FS Polarstern danken wir für die ausgezeichnete Unterstützung bei den Forschungsarbeiten, auch unter z.T. widrigen Witterungsbedingungen. Desweiteren sei einer Reihe von Personen, die hier nicht alle namentlich erwähnt werden, für die Hilfe bei den Bohrungen und Messungen auf dem Eis gedankt.