

# Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V.



**Drei Jahrzehnte  
elektromagnetische  
Meereisdickenmessungen  
für die Klimaforschung**  
Seite 5

<b>Wissenschaftlicher Beitrag</b>	
<b>Drei Jahrzehnte elektromagnetische Meereisdickenmessungen für die Klimaforschung</b> .....	<b>5</b>
<b>Nachrichten aus der Gesellschaft</b> .....	<b>10</b>
<b>Aus dem Archiv</b>	
<b>In eigener Sache</b> .....	<b>40</b>
<b>Verschiedenes</b> .....	<b>41</b>

# Mitteilungen

# 2/2023

## Drei Jahrzehnte elektromagnetische Meereisdickenmessungen für die Klimaforschung

Sebastian Gerland<sup>1</sup>, Christian Haas<sup>2</sup> & Hajo Eicken<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Norsk Polarinstitutt, Framsenter, Tromsø, Norwegen, <Sebastian.Gerland@npolar.no>

<sup>2</sup> Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Deutschland, <chaas@awi.de>

<sup>3</sup> University of Alaska Fairbanks, USA, <heicken@alaska.edu>

DOI:10.23689/fidgeo-5806 (<<https://doi.org/10.23689/fidgeo-5806>>)

### Hintergrund

Inspiziert durch Publikationen von Austin Kovacs und anderen (KOVACS et al. 1987; KOVACS & MOREY 1991) sowie durch Volker HAAK (Johann Wolfgang Goethe-Univ. Frankfurt), Peter WEIDELT (TU Braunschweig) und andere Elektromagnetik-Geophysiker aus dem deutschsprachigen Raum begannen wir am Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven im Jahr 1993, Elektromagnetik für die Bestimmung der Dicke von Meereis zu nutzen. Heinz MILLER (AWI) unterstützte die Anschaffung eines ersten Geonics-EM31-Instruments, noch mit analoger Anzeige und ohne Datenlogger, und die Gruppe von Franz THYSSEN aus Münster half bei den Vorbereitungen zu den ersten Messungen in der Arktis. Im März 1993 war es dann so weit: Auf einer Expedition mit dem eisbrechenden Forschungsschiff „Polarstern“ in die Framstraße wurden unter winterlichen Bedingungen bis unter  $-40^{\circ}\text{C}$  die ersten Linien auf driftendem, mehrjährigem Meereis gemessen (Abb. 1) und später bei der DGG-Tagung 1994 in Münster und in den „Roten Blättern“, den Mitteilungen der DGG, präsentiert (GERLAND et al. 1995). Zusammen mit weiteren Messungen und Ergebnissen wurden sie in HAAS et al. (1997) publiziert. Die Dissertation von Christian HAAS (1997) handelte von elektromagnetischen (und seismischen) Meereisdickenmessungen unter unterschiedlichen saisonalen Bedingungen.

Die Messmethode macht sich den Kontrast der elektrischen Leitfähigkeit von Luft und Meereis

(geringe Leitfähigkeit) und Meerwasser darunter (hohe Leitfähigkeit) zunutze. Mit Hilfe der elektromagnetischen Induktion sowie geeigneter Kalibrierungen durch koinzidente Eisdickenbohrungen an ausgewählten Stellen (unterschiedliche Messergebnisse und damit unterschiedliche Eisdicken) lassen sich die Messdaten direkt in Eisdicken umrechnen. Einfachere Instrumente kommen mit einer Messfrequenz aus, während komplexere Systeme zwei oder mehr Frequenzen benutzen; letztere lassen erweiterte Möglichkeiten der Inversion, Modellierung und Interpretation der Ergebnisse zu, besonders über geometrischen Strukturen, die vom 1-D-Fall mit ebenem Meereis und ebener Schneeeauflage abweichen. Die Ergebnisse werden gewöhnlich als räumliche Profile (Abb. 2a) oder Dickenverteilungen (Abb. 2b) dargestellt, eventuell auch mit Information über zeitliche Änderungen der Eisdicke (z.B. in GERLAND et al. 1998; 1999; HAAS 2004).

### Von der Oberfläche in die Luft

Es wurde schnell klar, dass schnellere Messungen bei größeren Abständen von der Eisoberfläche Vorteile haben können, zum Beispiel zur Bestimmung regionaler Eisdickenverteilungen oder zur Kalibrierung und Validierung von Satellitenbeobachtungen (Altimetrie, SAR, s. z.B. FORS et al. 2016). Zunächst wurde das vorhandene Messsystem für oberflächengestützte Messungen mit einem Rahmen und einer Aufhängung versehen, um Messungen vom Bug der „Polarstern“ aus



Abb. 1: Messungen mit einem Geonics EM31 auf mehrjährigem Meereis in der Arktis (Framstraße) während einer „Polarstern“-Expedition im Februar/März 1993 (Foto: S. Gerland)

machen zu können (HAAS et al. 1998). Später kamen dann Messungen vom Helikopter dazu (Abb. 3a; HAAS et al. 2008; HENDRICKS et al. 2011; RENNER et al. 2014; KING et al. 2017; RACK et al. 2021), auch inspiriert durch Arbeiten von KOVACS et al. (1987). Diese Helikoptermessungen erfolgten mit einer selbstentwickelten Messanordnung mit größeren Spulen, besserer Sensitivität und damit auch größerer Eindringtiefe / größerem Messvolumen (HAAS et al. 2009). Die Messanordnung, oft „EM bird“ genannt, hängt dabei während der Messflüge an einem Seil/Kabel unter dem Helikopter. Bei dieser Anordnung ist auch ein Laserabstandsmesser nötig, um die Höhe des Gerätes über der Eisoberfläche ermitteln und beim Prozessing der Rohdaten berücksichtigen zu können. Eine weitere Entwicklung war dann die Implementierung für Messflüge mit Flugzeugen (Abb. 2a und b, sowie 3b; „Polar-5“, Basler BT-67/DC3). Auch hier hängt die Messanordnung an einem Seil/Kabel, allerdings muss der Sensor im Flug mit einer Winde in Position gebracht und wieder eingeholt werden, um Start und Landung zu ermöglichen (u.a. HAAS et al. 2010). Zu weiteren Entwicklungen gehören die Ergänzung mit einem Laserscanner (statt Punktlaser, BECKERS et al. 2015), um gleichzeitig mit der Eisdicke auch die Topographie des Meereises genauer zu erfassen, sowie die Benutzung von elektromagnetischen Systemen, die mit mehr als ein oder zwei Messfrequenzen arbeiten (PFAFFHUBER et al. 2012;

HUNKELER et al. 2015). Auch die gezielte gemeinsame Nutzung von Quadrature und Inphase (anstatt der sonst oft gebräuchlichen Benutzung nur einer der beiden Komponenten) bei nur einer Messfrequenz (BRETT et al. 2020) kann helfen, zusätzliche Informationen – wie die Dicke von Plättcheneis, das sich unter Meereis in der Antarktis befindet – zu erhalten (HAAS et al. 2021).

#### Internationale Forschungsarbeit und Zusammenarbeit

Wie bereits anfangs erwähnt, wurden schon in den 1980er Jahren Meereisdickenmessungen von Wissenschaftlern aus den USA und Kanada durchgeführt. In Kanada wurde auch eine Zeit lang eine elektromagnetische Anordnung für Hubschraubermessungen eingesetzt, bei der der Sensor nicht unter dem Hubschrauber hängt, sondern direkt am Helikopter angebaut ist (PRINSENBERG & PETERSON 2011). Die Anordnung verlangte niedrigere Flughöhen und hat sich vielleicht auch deshalb nicht in größerer Zahl bzw. bei anderen Gruppen durchgesetzt.

Die ersten der beim AWI begonnenen Messungen fanden im europäischen Sektor der Arktis statt; die vielversprechenden Resultate führten jedoch schnell zu Messungen auch in anderen Gebieten der Arktis, unter anderem in der Laptev-See, in der Chukchi- und Beaufort-See, in Fjorden und Meeresgebieten bei und um Svalbard (Norwegen), im zentralen Arktischen

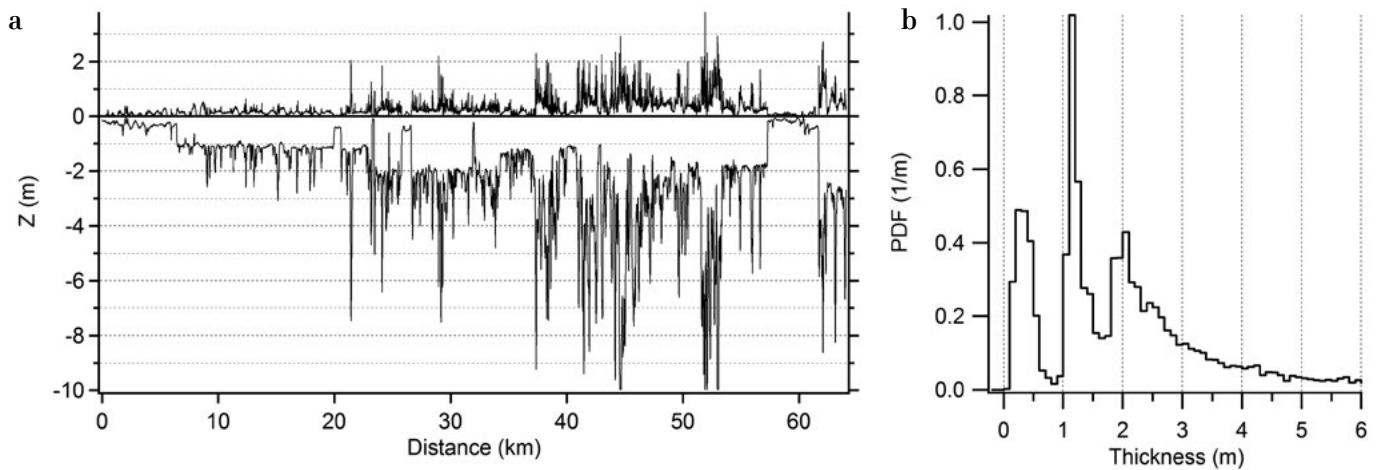


Abb. 2: (a) Beispiel eines Eisdickenprofils (Eisdicke nach unten, Freibord nach oben) von einem Messflug mit der „Polar-5“ und „EM bird“ nördlich von Banks Island, Kanada, im März 2014, und (b) zugehörige Eisdickenverteilung. Im Profil kann man Bereiche mit dünnem/jungem Meereis (bei etwa 0–7 km und 57–61 km), einjährigem Meereis mit etwas variierender Dicke (7–20 km, 34–37 km und 53–57 km) sowie mehrjährigem Meereis (20–34 km und 37–53 km) erkennen. Das mehrjährige Eis weist die größten Eisdicken auf; Spitzenwerte um 10 m Eisdicke deuten Presseisrücken an, die vermutlich sogar noch dicker sind, deren Maximaldicke aber wegen der begrenzten räumlichen Auflösung des Messsystems nicht erfasst werden konnte. Die Eisdickenverteilung zeigt deutlich die drei Eisdickenmoden zu den unterschiedlichen Eistypen sowie den Bereich für Dicken größer als ca. 2 m, wo Presseisrücken die Verteilung dominieren.

Ozean bis zum Nordpol, und auch in der Antarktis. Forschungsgruppen in den USA, Kanada, Norwegen, Japan und Neuseeland haben sich in nationalen oder internationalen Forschungsexpeditionen die Möglichkeiten der elektromagnetischen Eisdickenmessung zunutze gemacht. Auch bei der Drift mit dem Schoner „Tara“ im Internationalen Polarjahr 2007/2008 (HAAS et al. 2011), bei der norwegischen N-ICE2015-Drift nördlich von Svalbard mit dem Forschungsschiff „Lance“ (KING et al. 2018; RÖSEL et al. 2018) und bei der einjährigen MOSAiC-Expedition mit der „Polarstern“ wurden mit der Elektromagnetik Meereisdicken gemessen – sowohl von der Oberfläche aus als auch aus der Luft. Weiterhin erfolgt die Durchführung elektromagnetischer Eisdickenmessungen regelmäßig von der „Polarstern“ und vom neuen norwegischen Forschungsschiff „Kronprins Haakon“ aus sowie mit dem deutschen Polarflugzeug „Polar-5“.

### Nutzen und Anwendung

Eisdicken aus elektromagnetischen Messungen waren Gegenstand vieler wissenschaftlicher Publikationen und mehrerer Doktor- und Postdoc-Arbeiten. Aber wozu das alles? Meereis ist ein zentraler Faktor und Indikator in den polaren Klimasystemen. Elektromagnetische, regionale Eisdickenmessungen in der Hocharktis konnten zum ersten Mal die Verdünnung des Eises mit den globalen Klimaänderungen dokumentieren (HAAS 2004); dies wurde auch im vierten Zustandsbericht des IPCC, der für seine Arbeiten mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet wurde, angemerkt und zitiert (LEMKE et al. 2007). Elektromagnetische Eisdickenmessungen wurden auch in späteren IPCC-Berichten zitiert, sowie in

Klimaberichten der Arbeitsgruppe AMAP des Arktischen Rates (MEIER et al. 2012). Aber nicht nur für die Klimaforschung sind Informationen über Meereisdicken von Interesse: Auch für die Ökosystemforschung, für die Seefahrt in zeitweise eisbedeckten Meeresgebieten, für Offshore-Installationen in Gebieten mit der Möglichkeit des Auftretens von Meereis und für Reisen und Transport auf dem Meereis ist es von großem Interesse, Informationen zur Meereisdicke mit guter räumlicher Auflösung und Genauigkeit zu erhalten. So wurden entsprechende Messungen auch schon vielfach mit anderer Zielsetzung als der Klimaforschung durchgeführt. Auch in der Öffentlichkeitsarbeit und in populärwissenschaftlichen Darstellungen von Forschungsarbeiten waren elektromagnetische Meereisdickenmessungen vielfach Gegenstand von Artikeln, Buchkapiteln, Vorträgen und Ausstellungen.

### Ausblick

Elektromagnetische Eisdickenmessungen werden weiterhin von verschiedenen Forschungsgruppen in der Arktis und Antarktis durchgeführt, sowohl von der Oberfläche als auch aus der Luft. Obwohl neue Entwicklungen es inzwischen ermöglichen, Meereisdicken unter bestimmten Voraussetzungen auch von Satelliten aus zu messen, sind elektromagnetische Messungen oft die bessere Alternative, um sich ein genaueres und räumlich höher aufgelöstes Bild über die Meereisdickenverteilung in einer Region zu verschaffen. Eine Entwicklung, die zur Zeit von verschiedenen Forschungsgruppen verfolgt wird, ist, wie in Zukunft solche Messungen auch von autonomen Drohnen gemacht werden könnten. Das könnte helfen, den Einfluss auf



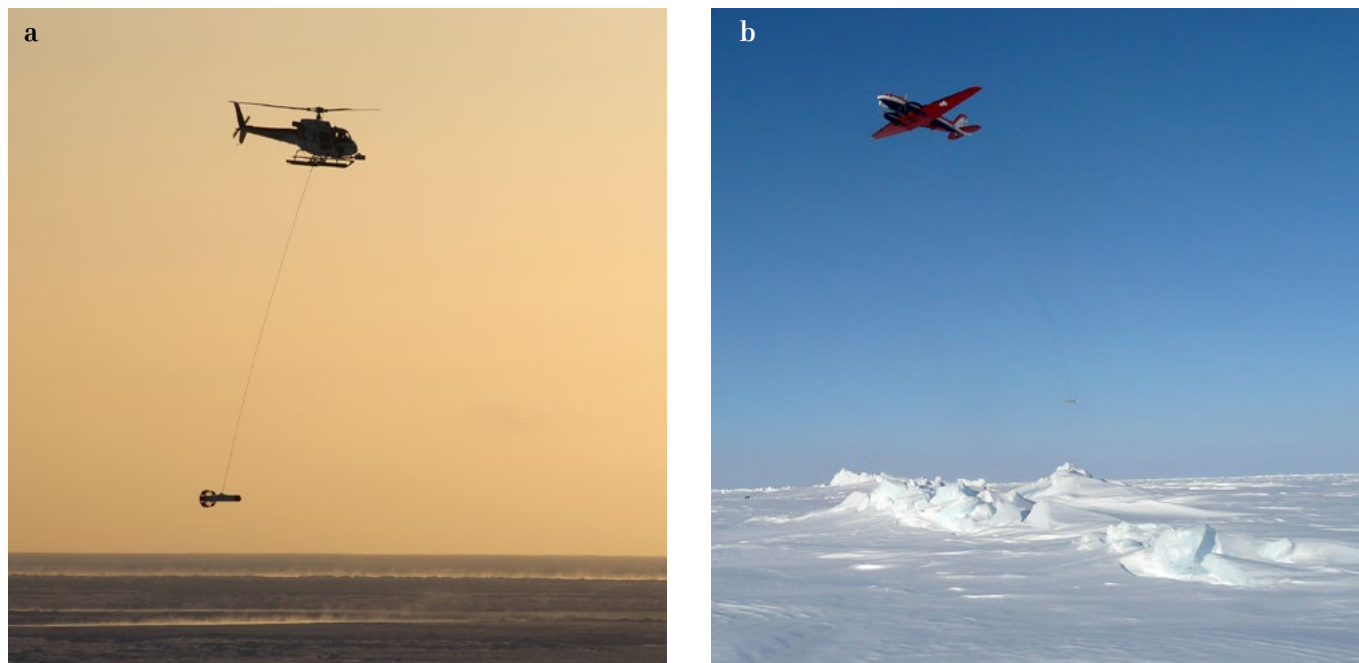


Abb. 3: Elektromagnetische Messungen über Meereis aus der Luft, vom Helikopter in der nördlichen Barentssee (a, links) und vom Forschungsflugzeug „Polar-5“ nördlich von Alert (Nunavut, Kanada; b, rechts). Fotos: (a): S. Gerland; (b): C. Haas.

die Umwelt und auch die doch nicht unbedeutenden Kosten bei Expeditionen im Zusammenhang mit personenbesetzten hubschrauber- oder flugzeugbasierten Messungen zu reduzieren.

#### Dank

Wir danken Heinz Miller für die Unterstützung beim Start der elektromagnetischen Messungen über Meereis 1993. Wir sind auch John Lobach, Kanada, dankbar; er war eine der zentralen Personen bei der Entwicklung des „EM bird“ für elektromagnetische Messungen aus der Luft. Zahlreiche andere Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker sowie Besatzungsmitglieder von Schiffen, Helikoptern und Flugzeugen haben wesentlich zu elektromagnetischen Messungen über Meereis in den Polargebieten beigetragen. Ihnen und auch den Instituten und anderen Institutionen, die diese Forschung finanziert haben, danken wir. Gezeigte Forschungsbeispiele stammen aus Forschungsprojekten des Alfred-Wegener-Instituts, aus der deutsch-kanadischen Forschungszusammenarbeit sowie vom Norwegischen Polarinstitut, aus dem norwegischen Projekt „Nansen Legacy“, finanziert durch Norwegian Ministry of Education, Research/Research Council of Norway (RCN # 276730), und von den Projektpartnern.

#### Literatur

- BECKERS, J.F., RENNER, A.H.H., SPREEN, G., GERLAND, S. & HAAS, C. (2015): Sea-ice surface roughness estimates from airborne laser scanner and laser altimeter observations in Fram Strait and north of Svalbard. – *Annals of Glaciology*, 56 (69), 235-244; doi: 10.3189/ 2015A0G69A717.
- BRETT, G.M., IRVIN, A., RACK, W., HAAS, C., LANGHORNE, P.J. & LEONARD, G.H. (2020): Variability in the distribution of fast ice and the sub ice platelet layer near McMurdo Ice Shelf. – *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, 2019JC015678; doi: 10.1029/ 2019JC015678.
- FORS, A.S., BREKKE, C., DOULGERIS, A.P., ELTOFT, T., RENNER, A.H.H. & GERLAND, S. (2016): Late summer sea ice segmentation with multi-polarisation SAR features in C and X-band. – *The Cryosphere*, 10, 401-415; doi: 10.5194/tc-10-401-2016.
- GERLAND, S., HAAS, C., EICKEN, H. & MILLER, H. (1995): Elektromagnetische Messungen zur Bestimmung der Dicke von Meereis. – *Mitteilungen 2/1995*, Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, 38-43.
- GERLAND, S., WINTHER, J.-G., ØRBÆK, J.B., BLANCO, A., IVANOV, B. & BOIKE, J. (1998): Spektrale Reflektivität von Schnee und Meereis in der Arktis. – *Mitteilungen 1/1998*, Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, 13-17.
- GERLAND, S., WINTHER, J.-G., ØRBÆK, J.B. & IVANOV, B. (1999): Physical properties, spectral reflectance and thickness development of first year fast-ice in Kongsfjorden, Svalbard. – *Polar Research*, 18 (2), 275-282.
- HAAS, C. (1997): Bestimmung der Meereisdicke mit seismischen und elektromagnetisch-induktiven Verfahren. – *Berichte zur Polarforschung 223*, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, 161 Seiten.
- HAAS, C. (1998): Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. – *Cold Regions Science and*

- Technology, 27, 1–16.
- HAAS, C. (2004): Late-summer sea ice thickness variability in the Arctic Transpolar Drift 1991–2001 derived from ground-based electromagnetic sounding. – *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09402; doi: 10.1029/2003GL019394.
  - HAAS, C., GERLAND, S., EICKEN, H. & MILLER, H. (1997): Comparison of sea-ice thickness measurements under summer and winter conditions in the Arctic using a small electromagnetic induction device. – *Geophysics*, 62 (3), 749–757.
  - HAAS, C., HENDRICKS, S., EICKEN, H. & HERBER, A. (2010): Synoptic airborne thickness surveys reveal state of Arctic sea ice cover. – *Geophys. Res. Lett.*, 37, L09501; doi: 10.1029/2010GL042652.
  - HAAS, C., LANGHORNE, P.J., RACK, W., LEONARD, G.H., BRETT, G.M., PRICE, D., BECKERS, J.F. & GOUGH, A.J. (2021): Airborne mapping of the sub-ice platelet layer under fast ice in McMurdo Sound, Antarctica. – *The Cryosphere*, 15, 247–264; doi: 10.5194/tc-15-247-2021.
  - HAAS, C., LE GOFF, H., AUDRAIN, S., PEROVICH, D. & HAAPALA, J. (2011): Comparison of seasonal sea-ice thickness change in the Transpolar Drift observed by local ice mass-balance observations and floe-scale EM surveys. – *Annals of Glaciology*, 52(57), 97–102.
  - HAAS, C., LOBACH, J., HENDRICKS, S., RABENSTEIN, L. & PFAFFLING, A. (2009): Helicopter-borne measurements of sea ice thickness, using a small and lightweight, digital EM system. – *Journal of Applied Geophysics*, 67, 234–241; doi: 10.1016/j.jappgeo.2008.05.005.
  - HAAS, C., PFAFFLING, A., HENDRICKS, S., RABENSTEIN, L., ETIENNE, J.-L. & RIGOR, I. (2008): Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat. – *Geophys. Res. Lett.*, 35, L17501; doi: 10.1029/2008GL034457.
  - HENDRICKS, S., GERLAND, S., SMEDSRUD, L.H., HAAS, C., PFAFFHUBER, A.A. & NILSEN, F. (2011): Sea ice thickness variability in Storfjorden, Svalbard archipelago. – *Annals of Glaciology*, 57 (52), 61–68.
  - HUNKELER, P., HENDRICKS, S., HOPPMANN, M., PAUL, S. & GERDES, R. (2015): Towards an estimation of sub-sea-ice platelet-layer volume with multi-frequency electromagnetic induction sounding. – *Ann. Glaciol.*, 56 (69); doi: 10.3189/2015AoG69A705.
  - KING, J., SKOURUP, H., HVIDEGAARD, S., RÖSEL, A., GERLAND, S., SPREEN, G., POLASHENSKI, C., HELM, V. & LISTON, G.E. (2018): Comparison of freeboard retrieval and ice thickness calculation from ALS, ASIRAS, and CryoSat-2 in the Norwegian Arctic, to field measurements made during the N-ICE2015 expedition. – *Journal of Geophysical Research: Oceans* (special issue N-ICE2015); doi: 10.1002/2017JC012333.
  - KING, J., SPREEN, G., GERLAND, S., HAAS, C., HENDRICKS, S., KALESCHKE, L. & WANG, C. (2017): Sea-Ice Thickness from field measurements in the north-western Barents Sea. – *Journal of Geophysical Research: Oceans*; doi: 10.1002/2016JC012199.
  - KOVACS, A., VALLEAU, N.C. & HOLLADAY, J.C. (1987): Airborne electromagnetic sounding of sea ice thickness and subice bathymetry. – *Cold Regions Science and Technology*, 14, 289–311.
  - KOVACS, A. & MOREY, R.M. (1991): Sounding sea ice thickness using a portable electromagnetic induction instrument. – *Geophysics*, 56 (12), 1992–1998.
  - LEMKE, P., REN, J., ALLEY, R.B., ALLISON, I., CARRASCO, J., FLATO, G., FUJII, Y., KASER, G., MOTE, P., THOMAS, R.H. & ZHANG, T. (2007): Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. – In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]; Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (Cambridge University Press).
  - MEIER, W.N., GERLAND, S., GRANSKOG, M.A. & KEY, J.R. (convening lead authors, 2012): Ch. 9: Sea ice. – 87 pages; in: *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) Assessment Report, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*.
  - PFAFFHUBER, A.A., HENDRICKS, S. & KVISTEDAL, Y.A. (2012): From 1D to 2D and 3D near-surface airborne electromagnetic mapping with a multisensor, airborne sea-ice explorer. – *Geophysics*, 77 (4), 1–9; doi: 10.1190/GEO2011-0375.1.
  - PRINSENBERG, S.J. & PETERSON, I.K. (2011): Observing regional-scale pack-ice decay processes with helicopter-borne sensors and moored upward-looking sonars. – *Annals of Glaciology*, 52 (57), 35–42.
  - RACK, W., PRICE, D., HAAS, C., LANGHORNE, P.J. & LEONARD, G.H. (2021): Sea ice thickness in the Western Ross Sea. – *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL090866; doi: 10.1029/2020GL090866.
  - RENNER, A.H.H., GERLAND, S., HAAS, C., SPREEN, G., BECKERS, J.F., HANSEN, E., NICOLAUS, M. & GOODWIN, H. (2014): Evidence of Arctic sea ice thinning from direct observations. – *Geophysical Research Letters*, 41, 5029–5036; doi: 10.1002/2014GL060369.
  - RÖSEL, A., ITKIN, P., KING, J., DIVINE, D., WANG, C., GRANSKOG, M.A., KRUMPEN, T. & GERLAND, S. (2018): Thin sea ice, thick snow, and widespread negative freeboard observed during NICE2015 north of Svalbard. – *Journal of Geophysical Research: Oceans* (special issue N-ICE2015), 123, 1156–1176; doi: 10.1002/2017JC012865.