

Polarforschung



83. Jahrgang • Nr. 2 • 2013 (erschienen 2014)

ISSN (print) 0032-2490

ISSN (online) 2190-1090

POLARFORSCHUNG

herausgegeben vom
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
und der
Deutschen Gesellschaft für Polarforschung e. V.

published by the
Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Sciences
and the
German Society of Polar Research

POLARFORSCHUNG – published by the DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR POLARFORSCHUNG (DGP) and the ALFRED WEGENER INSTITUTE FOR POLAR AND MARINE RESEARCH (AWI) – is a peer-reviewed, multidisciplinary research journal that publishes the results of scientific research related to the Arctic and Antarctic realm, as well as to mountain regions associated with polar climate. The POLARFORSCHUNG editors welcome original papers and scientific review articles from all disciplines of natural as well as from social and historical sciences dealing with polar and subpolar regions. Manuscripts may be submitted in English (preferred) or German. In addition POLARFORSCHUNG publishes Notes (mostly in German), which include book reviews, general commentaries, reports as well as communications broadly associated with DGP issues.

Inhalt / Contents

- Van Opzeeland, I., Samaran, F., Stafford, K.M., Findlay, K., Gedamke, J., Harris, D. & Miller, B.S.: Towards collective circum-Antarctic passive acoustic monitoring: The Southern Ocean Hydrophone Network (SOHN) 47–61
Entwicklung eines großflächigen zirkum-antarktischen Beobachtungssystem: Das Hydrophon-Netzwerk im Südlichen Ozean (SOHN)
- Kreiss, C.M., Boebel, O., Bornemann, H., Kindermann, L., Klinck, H., Klinck, K., Plötz, J., Rogers, T.L. & Van Opzeeland, I.C.: Call characteristics of high-double trill leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) vocalizations from three Antarctic locations 63–71
*Rufcharakteristika der „high double trill“ Vokalisation von Seeleoparden (*Hydrurga leptonyx*) an drei Standorten im Südlichen Ozean*
- Abakumov, E., Trubetskoj, O., Demin, D. & Trubetskaya, O.: Electrophoretic evaluation of initial humification in organic horizons of soils of Western Antarctica 73–82
Elektrophoretische Analyse der beginnenden Humifizierung in organischen Horizonten westantarktischer Böden

Mitteilungen / Notes

- Buchbesprechungen / Book Reviews 83–93

Cover illustration: View from a helicopter on a blue whale (*Balaenoptera musculus intermedia*) approaching the surface in the Southern Ocean. Blue whales are the largest animals to ever live and can reach 30 m in length. They were nearly driven extinct in the Southern Hemisphere by commercial whaling in the 1900s but now appear to be slowly recovering. Research techniques such as passive acoustic monitoring are permitting researchers to study these animals in non-lethal ways and monitor their recovery“

Umschlagbild: Blick auf einen auftauchenden Blauwal (*Balaenoptera musculus intermedia*) im Südlichen Ozean. Die bis zu 30 Meter Länge erreichenden Blauwale sind die größten je auf der Erde gelebt habenden Tiere. Der kommerzielle Walfang im 20. Jahrhundert hat im Südlichen Ozean fast zum Aussterben geführt; erst jetzt erscheint sich eine langsame Erholung anzudeuten. Forschungstechniken wie passive akustische Methoden erlauben es heute diese Tiere ohne Schädigung zu untersuchen und ihre Erholung zu beobachten.

Towards Collective circum-Antarctic Passive Acoustic Monitoring: The Southern Ocean Hydrophone Network (SOHN)

by Ilse van Opzeeland¹, Flore Samaran², Kathleen M. Stafford³, Ken Findlay⁴, Jason Gedamke⁵,
Danielle Harris⁶ and Brian S. Miller⁷

The Southern Ocean Research Partnership (SORP)
Antarctic blue and fin whale Acoustic Trends Working Group (ATW)

Summary: The Southern Ocean Research Partnership (SORP) is an international research program initiated within the International Whaling Commission (IWC) in 2009 to promote collaborative cetacean research, develop novel research techniques, and conduct non-lethal research on whales in the Southern Ocean (CHILDHOUSE 2009). One of the original research projects of the SORP is the Blue and Fin Whale Acoustic Trends Project, which aims to implement a long term passive acoustic research program to examine trends in Antarctic blue (*Balaenoptera musculus intermedia*) and fin whale (*B. physalus*) abundance, distribution, and seasonal presence in the Southern Ocean through the use of a network of passive acoustic recorders: the Southern Ocean Hydrophone Network (SOHN).

Networks of widely spaced passive acoustic recorders can provide insights in spatio-temporal patterns of the presence and properties of whale calls as well as the potential to monitor trends in Antarctic blue and fin whale abundance. The SOHN will consist of a network of autonomous underwater acoustic recording stations surrounding the Antarctic continent with each site remaining active throughout the 10-year duration of the project. In addition to circumpolar coverage, high priority will be given towards achieving simultaneous temporal coverage, especially in the early years of the project. While logistical constraints may prevent uniform distribution of SOHN recording sites around the continent, the Acoustic Trends Working group (ATW) aims to have at least one recording site in each of the six IWC management areas (i.e., one per 60° longitudinal wedge). International collaboration and coordination are imperative to achieve the project goals due to the high cost of Antarctic research as well as the broad spatial and temporal scales over which the SOHN will span. Furthermore, standardization of data is paramount for accurate and efficient analysis and interpretation of SOHN data.

To facilitate international participation in the SOHN, this document provides practical recommendations to guide and support passive acoustic data of project as well as technical and logistic information and recommendations regarding standardization of recording locations is provided here for a diverse collection in Antarctic waters. This whitepaper addresses a wide audience, ranging from scientists from different disciplines with access to instrumentation and/or infrastructure to collect passive acoustic data in the Southern Ocean, to ship operators or other parties that can provide logistic support to make the SOHN a reality. Background information and an outline of the scientific aims of project as well as technical and logistic information and recommendations regarding standardization of recording locations is provided here for a diverse audience coming from different backgrounds with widely differing levels of experience with the applications and use of passive acoustic instrumentation. By providing the information relevant for SOHN from the ground up, we aim that this document contributes to increase awareness and participation by a broad range of partner nations and organizations in the SOHN and Acoustic Trends Projects.

Zusammenfassung: Die „Southern Ocean Research Partnership“ (SORP), initiiert 2009 durch die Internationale Walfang-Kommission (IWC), ist ein internationales Forschungsprogramm zur Förderung der gemeinschaftlichen Walforschung, zur Entwicklung neuer Techniken und zur Durchführung nicht-letaler Forschung an Walen im Südlichen Ozean (CHILDHOUSE 2009). Eines der ursprünglichen Forschungsprojekte innerhalb von SORP stellt das Projekt „Blue and Fin Whale Acoustic Trends“ dar, welches sich die Implementierung eines langfristigen passiv akustischen Forschungsprogrammes zum Ziel gesetzt hat. Mittels eines Netzwerkes von passiv akustischen Rekordern, dem „Southern Ocean Hydrophone Network (SOHN)“, sollen dabei Trends in der Abundanz, den Verteilungsmustern und dem saisonalen Vorkommen von Antarktischen Blauwalen (*Balaenoptera musculus intermedia*) und Finnwalen (*B. physalus*) erforscht werden. Netzwerke aus großflächig verteilten passiv akustischen Rekordern können Einblicke in raum-zeitliche Muster der Präsenz und Eigenschaften der von Walen produzierten Vokalisationen liefern, sowie mögliche Trends in der Häufigkeit antarktischer Blauwale und Finnwale offenbaren. Im Rahmen von SOHN sollen akustische Rekorder zirkumpolar um die Antarktis verteilt ausgebracht werden, wobei jeder Standort während der gesamten zehnjährigen Projektlaufzeit betrieben werden soll. Zusätzlich zur zirkumpolaren Verteilung wird, besonders in den ersten Projektjahren, hohe Priorität auf eine zeitgleiche Datenerfassung an den vorhandenen Stationen gelegt. Da logistische Einschränkungen eine gleichmäßige Verteilung der SOHN-Aufnahmestationen um den Kontinent möglicherweise erschweren, strebt die „Acoustic Trends Workinggroup“ (ATW) zumindest einen Aufnahmestandort in jedem der sechs IWC-Managementgebiete an (z.B. einen Rekorder pro 60° Längensektor). Der grundsätzlich hohe Aufwand für Forschung in der Antarktis sowie der langfristige Ansatz und die große räumliche Ausdehnung des SOHN-Projektes machen eine internationale Zusammenarbeit und Koordination zum Erreichen der Projektziele unbedingt erforderlich. Darüber hinaus ist eine Standardisierung der Daten von höchster Wichtigkeit für eine akkurate und effiziente Analyse und Interpretation der SOHN-Daten.

Zur Erleichterung einer internationalen Beteiligung am SOHN-Projekt liefert dieser Artikel praktische Empfehlungen für die Erfassung passiv akustischer Daten in antarktischen Gewässern. Dabei wird eine breit gefächerte Zielgruppe adressiert, von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen mit Zugang zu erforderlichen Instrumenten und/oder Infrastruktur für die Erfassung passiv akustischer Daten im Südlichen Ozean, bis hin zu Schiffsbetreibern und anderen potentiellen Partnern, die logistische Unterstützung zur Realisierung des SOHN-Projektes bereitstellen können. Erforderliches Hintergrundwissen und eine Übersicht der wissenschaftlichen Ziele des Projekts, technische und logistische Informationen sowie Empfehlungen bezüglich der Standardisierung von Aufnahmestationen werden im vorliegenden Artikel für eine Vielzahl potentieller Projektpartner, die über unterschiedliche Erfahrungen in der Anwendung und Nutzung von passiv akustischen Gerätschaften verfügen, zusammengefasst. Durch Bereitstellung dieser für SOHN relevanten grundsätzlichen sowie weiterführenden Informationen soll dieser Artikel zur Steigerung von Wahrnehmung und Teilnahme von Partnernationen und Partnerorganisationen an SOHN und dem Acoustic Trends Projekt beitragen.

INTRODUCTION

Understanding baleen whale distribution and abundance in the Antarctic, particularly for Antarctic blue (*Balaenoptera musculus intermedia*, Fig. 1) and fin whales (*B. physalus*, Fig.

¹ Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany <(ilse.van.opzeeland@awi.de)>

² PELAGIS Observatory CNRS-UMS 3462, University of La Rochelle, France.

³ Applied Physics Lab University of Washington Seattle WA, USA.

⁴ Mammal Research Institute Whale Unit, University of Pretoria, South Africa.

⁵ National Oceanographic & Atmospheric Administration, Office of Science and Technology – Ocean Acoustics Program, USA.

⁶ Centre for Research into Ecological and Environmental Modelling, University of St Andrews, Scotland, UK.

⁷ Australian Marine Mammal Centre, Australian Antarctic Division, Hobart, Australia.

2), is complicated by the pelagic distribution of both species, the difficulty of working in the Southern Ocean (SO) and the massive decline of both species due to commercial whaling. After a half-century of protection, little is known about the present-day status of each species. Both blue and fin whales were targets of commercial whaling, particularly from the early 1900's through the 1930's (TØNNESSEN & JOHNSEN 1982). Despite heavy depletion of whale stocks during this era, commercial exploitation continued into the mid and late 20th century. Blue whales were protected internationally from whaling in 1966 and fin whales in 1985. At present, both species are listed as endangered by the International Union for Conservation of Nature and there are no reliable population estimates for either species globally.

Population abundance

Sighting surveys are traditionally the means by which cetacean population abundance estimates are obtained. In the Southern Ocean however, these surveys are increasingly few and far between due to the particularly difficult working environment and the costs of surveys, and are also restricted by the

inherent limitations of visual surveys (e.g., daylight, weather, sea ice, visual detection range, etc. BRANCH 2007, HAMMOND et al. 2013). From 1978 to 2010, the International Whaling Commission (IWC) supported first the International Decade of Cetacean Research (IDCR, 1978-1996) and then the Southern Ocean Whale Ecosystem Research (SOWER, 1996-2010) programs. Auxiliary data from over 30 of these annual sighting surveys (three circumpolar sets of cruises over 27 years from 1978-2004) were used to estimate the abundance of Antarctic blue whales, resulting in an estimate of 2,280 (confidence interval 1,160-4,500) Antarctic blue whales which is less than 1 % of the original population (BRANCH 2007). Only two of the recent cruises focused on fin whales (*Balaenoptera physalus*, Fig. 2) and did not result in any equivalent abundance estimates (ENSOR et al. 2006, 2007). It is unlikely that the circum-Antarctic effort of IDCR/SOWER will be repeated in the near future. Nevertheless, the IWC is interested in monitoring the recovery of Antarctic blue and fin whales and in 2009 initiated an international research program, the Southern Ocean Research Partnership (SORP), to develop novel research techniques for non-lethal research on whales in the Southern Ocean (CHILDERHOUSE 2009). Given the distinctive and repetitive nature of certain call types produced by blue



Fig. 1: Dorsal view of an Antarctic blue whale, *Balaenoptera musculus intermedia*, approaching the surface in the Southern Ocean. (Photo: Australian Antarctic Division).

Abb. 1: Antarktischer Blauwal, *Balaenoptera musculus intermedia* (Bild: Australian Antarctic Division).



Fig. 2: Ventral view of a fin whale, *Balaenoptera physalus* (Photo: NOAA).

Abb. 2: Ventralansicht eines Finnwals, *Balaenoptera physalus* (Bild: NOAA).

and fin whales as well as the long-range propagation of vocalizations, passive acoustic monitoring offers a robust means to monitor these species over long time periods in remote areas, including the Southern Ocean (MELLINGER et al. 2007, VAN OPZEELAND et al. 2008, VAN PARIJS et al. 2009, SAMARAN et al. 2013). The use of passive acoustic recordings of blue and fin whales to examine the geographic and seasonal occurrence of calling whales has become commonplace (THOMPSON & FRIEDL 1982, STAFFORD et al. 1999, 2007, NIEUKIRK et al. 2004, 2012, ŠIROVIĆ et al. 2004). However, using passive acoustic tools for abundance estimation purposes is a relatively recent application of Passive Acoustic Monitoring (PAM, MARQUES et al. 2013) that is rapidly evolving and may hold promise for elusive species such as Antarctic blue and fin whales.

Passive acoustic monitoring (PAM)

All blue whales produce long, relatively simple, tonal, low frequency calls as part of their acoustic repertoire. Despite these similarities, geographic variation in blue whale calls has been well documented with distinct call types recorded in the Antarctic (LJUNGBLAD et al. 1997, RANKIN et al. 2005). In the Antarctic calls are often Z-shaped with a strong tone at 28 Hz that sweeps down to another tone at 19 Hz and lasts roughly 15 s (Fig. 3a) (LJUNGBLAD et al. 1997, RANKIN et al. 2005). Additionally, blue whales produce “D” calls, which are variable, higher frequency calls that have been suggested as contact calls or feeding calls (RANKIN et al. 2005, OLESON et al. 2007; Fig. 3b).

Fin whales worldwide produce long sequences of pulses between ~15-40 Hz usually referred to as “20 Hz pulses” (WATKINS 1981). These are much shorter in duration and generally broader in bandwidth than blue whale Z-calls. There is some evidence for geographic variation in fin whale calls in the duration of the interval between successive pulses (DELARUE et al. 2009, CASTELLOTE et al. 2011) and in the presence/absence and frequency of a higher frequency pulse concurrent with the 20 Hz pulses. Two different frequency pulses have been noted in the Antarctic, one at 89 Hz from the Antarctic Peninsula region and another, from East Antarctica, at 99 Hz (Fig. 3c; ŠIROVIĆ et al. 2009, GEDAMKE 2009).

Passive acoustic recordings at individual locations or regions provide information about how the presence and properties of whale calls change over time (ŠIROVIĆ et al. 2004, SAMARAN et al. 2010, GAVRILOV et al. 2012). At a minimum, passive acoustic data reveal when a species occurs in a region (but only when animals are acoustically active). If additional parameters such as the probability of detecting produced calls in the study area and the average call production rate (including any non-calling proportion of the population) can also be estimated, there is the potential to estimate abundance or density of Antarctic blue and fin whales from acoustic data (THOMAS & MARQUES 2012, MARQUES et al. 2013). Therefore, temporal trends in Antarctic blue and fin whale abundance could be monitored using long-term acoustic datasets. Furthermore, spatial patterns of calling activity (or abundance, if estimable) can be assessed using networks of widely spaced recorders, potentially providing information about broad-scale movements of animals (STAFFORD et al. 2004, MORANO et al. 2012, NIEUKIRK et al. 2012, SAMARAN et al. 2013).

The Southern Ocean Research Partnership (SORP)

One of the original five research projects of the SORP is the Blue and Fin Whale Acoustic Trends Project. The Acoustic Trends Workinggroup (hereinafter referred to as ATW) aims to implement a hydrophone network around the Antarctic that will examine trends in Southern Ocean Antarctic blue and fin whale behaviour, seasonal presence, distribution and abundance through the use of passive acoustic monitoring techniques (CHILDERHOUSE 2010). Using a network of passive acoustic instruments to record calls of Antarctic blue and fin whales provides a valuable and cost-efficient method to gather data on trends in abundance in these species (MELLINGER et al. 2007). Furthermore, the ATW proposes monitoring of the same areas, simultaneously, over relatively long time scales. Such coordinated spatio-temporal monitoring effort will strengthen the eventual analysis of the data, allowing more robust conclusions to be made about the observed patterns in calling activity.

International collaboration and coordination are central to the SORP and achieving the project goals would be very difficult without it due to the high cost of Antarctic research as well as

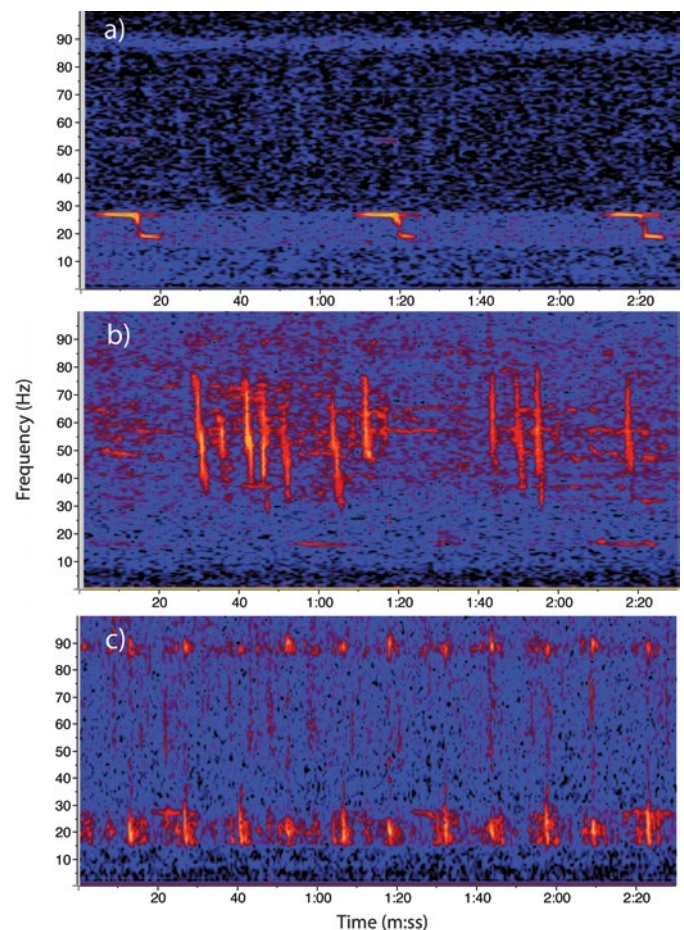


Fig. 3: Spectrograms of Antarctic blue whales (512 pt FFT, 50 % overlap, Hann window). (a) = Antarctic blue whale “Z” calls; (b) = Antarctic blue whale “D” calls; (c) = Antarctic fin whale 20 Hz pulses and 89 Hz high pulses.

Abb. 3: Spektrogramme antarktischer Blauwale (FFT-Fensterlänge = 512 Punkte, 50 % Überlappung, Hann window). (a) = „Z-Vokalisationen“ antarktischer Blauwale; (b) = „D-Vokalisationen“ antarktischer Blauwale; (c) = 20 Hz und 89 Hz Pulse antarktischer Finnwale.

the broad spatial and temporal scales over which the hydrophone network will span. Just as important is the standardization of data from different areas for accurate and efficient analysis and interpretation of the circum-Antarctic dataset. To facilitate international participation in the project, the ATW aims to provide practical recommendations to guide and support passive acoustic data collection in Antarctic waters with this document. We address a wide audience, ranging from scientists from different disciplines with access to instrumentation and/or infrastructure to collect passive acoustic data in the Southern Ocean, to ship operators or other parties that can provide logistical support to make the hydrophone network a reality. Background information and an outline of the scientific aims of project as well as technical and logistical information and requirements of the SOHN are provided here to inform and encourage a diverse audience (coming from different backgrounds with widely differing levels of knowledge and experience) on the applications and use of passive acoustic instrumentation.

THE SOUTHERN OCEAN HYDROPHONE NETWORK – SOHN-PROJECT

Long-term passive acoustic recorders deployed for up to a year or more were first utilized to study baleen whales in the Southern Ocean (ŠIROVIĆ et al. 2004). In 2001, seven Acoustic Recording Packages (ARPs) were deployed for two years off the Antarctic Peninsula to acoustically monitor seasonal movements of large baleen whales (WIGGINS 2003, ŠIROVIĆ et al. 2004). Although other projects followed to deploy long-term passive acoustic recorders in the Southern Ocean (e.g. MELLINGER et al. 2007, ŠIROVIĆ et al. 2009), to date long-term PAM is used still relatively sporadically in this region. A review of the available passive acoustic data from the Southern Hemisphere by the ATW (SAMARAN et al. 2012) illustrated how coverage differs strongly between areas, with some areas being monitored continuously over several years (e.g., at Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) sites, the Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean (PALAOA)), whereas others (e.g., IWC area 1 and 6, see Fig. 4) had no passive acoustic monitoring effort (SAMARAN et al. 2012). Furthermore, the currently available (long-term) records comprise widely varying time frames, ranging in duration from several months to years (ŠIROVIĆ et al. 2009, SAMARAN et al. 2012). The fact that these passive acoustic data were collected at changing locations over the past decade with a range of different recording equipment further complicates comparisons among areas and time periods with regards to obtaining information on possible trends in abundance and distribution.

To initiate a long-term structured monitoring program and the gathering of baseline acoustic data, we propose the implementation of a “necklace” of Passive Acoustic Recorders (PARs) surrounding the Antarctic continent: the Southern Ocean Hydrophone Network (SOHN). One of the core objectives driving the SOHN project is to understand geographic and temporal variation in distribution patterns of animals through their calling behavior. Passive acoustic monitoring therefore needs to occur at a number of fixed locations over the complete duration of the

SOHN project. International collaboration and coordination will be essential for the SOHN project to succeed given the scale of effort that is envisioned both in terms of data collection and processing. The low density of shipping in the Southern Ocean combined with limited access to Antarctic-going vessels requires international collaboration among various national research programs and institutes in order to efficiently share logistical assets and minimize the costs of data acquisition.

With this whitepaper, the ATW aims to encourage and guide nations participating in the SOHN project with a set of recommendations to standardize the data that will be collected. We discuss deployment and recovery options for PARs, and investigate tradeoffs among different hardware, software, and mooring systems that comprise available PARs. We then provide recommendations regarding recording locations, hardware, and specifications (e.g., sample rate, duty cycling recordings), as well as recommendations with respect to data formats, calibration, and metadata required by the project. Finally, the ATW proposes that the data acquired by the SOHN PARs are archived in a central data repository, allowing integrative processing of the circum-Antarctic data.

Timeframe

The recommended operational period for the SOHN is ten years as this represents the time span over which the population of Antarctic blue whales should double, assuming a population growth of 7 % (BRANCH et al. 2004). Furthermore, long-term operation (i.e. collecting continuous acoustic records) of PARs at each site, especially early in the life of the SOHN, is highly recommended in order to facilitate simultaneous coverage, which is required to address questions regarding the spatial distribution of calling whales within a season.

After the initial six years, the need for continuous data collection at each location will be re-evaluated. If non-continuous data collection is deemed sufficient, close temporal coordination between sites will be essential, as it is only through such a coordinated effort that the aims of the SOHN project can be met.

Spatial coverage

To best assess trends in the distribution and possible abundance of blue and fin whales, an understanding of spatio-temporal distribution patterns, including knowledge of where animals are not found, is required. Ideally, the SOHN would therefore have dense circum-Antarctic coverage with equal monitoring effort in all IWC areas. However, logistical limitations make achieving such coverage very difficult. For example, scant shipping routes in the central Pacific sector of the Southern Ocean provide limited cost-effective opportunities for PAR deployments, in contrast to the Atlantic sector of the Southern Ocean which is transited by ships relatively frequently due to ongoing research programs (Fig. 4). Acknowledging these practical concerns, the SOHN project aims to have at least one PAR station in each of the six IWC management areas (Tab. 1). PARs are recommended to be placed within 200 km of the edge of the maximum summer extent of sea ice, to maximize

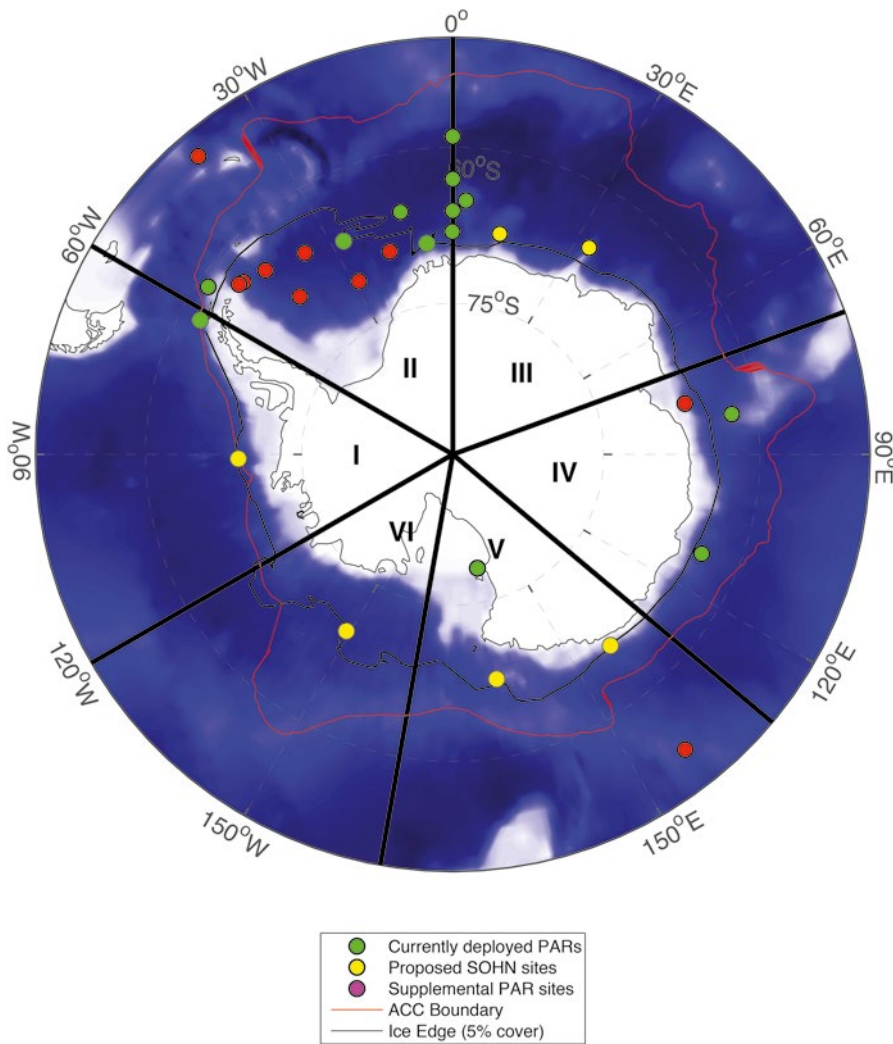


Fig. 4: Locations of current recording sites that may be used as part of SOHN (green circles) and proposed SOHN recording sites (yellow circles). Thick black lines indicate International Whaling Commission (IWC) management areas I-VI. The red line shows the northern boundary of the Antarctic Circumpolar Convergence (SOKOLOV & RINTOUL 2009a). The thin black line is indicative of the edge of the sea ice and corresponds to the monthly average sea-ice cover of 5 % in March from 2000-2012 (MASLANIK & STROEVE 1999). Red circles show the location of deployed PARs that do not meet SOHN requirements with regard to the ACC boundary, or Ice edge, but may still provide supplementary data.

Abb. 4: Aktuelle Positionen passiv akustischer Rekorder für eine potentielle Nutzung innerhalb des SOHN-Projektes (grüne Punkte) und vorgeschlagene SOHN-Rekorderstandorte (gelbe Punkte). Dicke schwarze Linien kennzeichnen die Managementgebiete I bis VI der International Whaling Commission (IWC). Die rote Linie zeigt die nördliche Grenze des Antarktischen Zirkumpolarstroms (SOKOLOV & RINTOUL 2009a). Die dünne schwarze Linie zeigt die Meereisgrenze (monatliches Mittel der mindestens 5 % Eisbedeckung im März in den Jahren 2000-2012 (MASLANIK & STROEVE 1999)). Rote Punkte zeigen die Standorte weiterer passiv akustischer Rekorder an, die aufgrund ihrer Lage nicht die für SOHN erforderlichen Standortbedingungen erfüllen (z.B. hinsichtlich der Grenze des Zirkumpolarstroms oder der Eisgrenze), aber dennoch zusätzliches Datenmaterial liefern können.

the chances that PARs can be retrieved by non-ice breaking vessels. PARs that form part of the SOHN are required to be placed south of the Antarctic Convergence as this zone may act as a barrier in sound propagation. In order to further compare data collected by the SOHN project with historic data sets from the Antarctic, SOHN stations should be established, where practical and appropriate, at the locations of historic recordings (see Tab. 1). Presently, France, Germany, Australia, Argentina and South Africa have deployed, or have plans in the near future to deploy hydrophones in Antarctic waters that may be used as first nodes of the network (green circles, Fig. 4).

Logistical issues

In addition to the limited ship time for Antarctic work, the spatial and temporal coverage of the SOHN project may be further restricted by the cost of PARs. Fixed costs include the cost of purchase of PARs and training of technicians, while ongoing costs of PARs include the cost of servicing, calibration, and the ship time required for deployment and recovery. The cost of electronic components of PARs is likely to decrease with the recent and continuing proliferation of efficient, low-powered purpose-built computers and affordable data storage. Ongoing costs, especially those arising from the

ship time required for deployment and recovery, are therefore likely to represent the major costs of PAR stations in the SOHN project. This requires international collaboration among different institutes in order to efficiently share logistical assets and minimize the costs of data acquisition and processing.

Standardization

For this multi-national large-scale passive acoustic monitoring project to achieve the goal of compiling a circum-Antarctic data set spanning ten years, standardization of acoustic and meta-data acquisition methods and data processing is an important prerequisite. The definition of data acquisition and processing standards will allow data from the PARs that compose the SOHN to be merged into a pan-Antarctic database, freely available to participating members, from which large scale patterns in distribution and habitat usage can subsequently be extracted. A blueprint for SOHN passive acoustic data processing will be the focus of a separate document that is currently in preparation by the ATW group.

As emphasized in previous sections, it is paramount that recording efforts are coordinated both spatially and in time,

Instrument name	Depth (m)	Latitude	Longitude	Start date	End date	Instrument type	Initial contact
Drake	350	-60.5	-61	2005-01-01	2006-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 1	350	-62.9	-59.5	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 2	350	-62.5	-58.9	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 3	350	-62.5	-58	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 4	350	-62.3	-57.9	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 5	350	-62.2	-57.1	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Bransfield 6	350	-62.9	-60.2	2005-01-01	2007-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Scotia 1	350	-57.5	-41.4	2007-01-01	2009-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Scotia 2	350	-58.9	-37	2007-01-01	2009-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Scotia 3	350	-57.4	-36.6	2007-01-01	2009-01-01	HARUphone	Dziak/Park
Scotia 4	350	-56.4	-33.9	2007-01-01	2009-01-01	HARUphone	Dziak/Park
WAP 1	1600	-62.3	-62.2	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 2	3000	-63.8	-67.1	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 3	3000	-65	-69.1	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 4	3000	-66	-71.1	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 5	3000	-66.6	-72.7	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 6	3000	-67.1	-74.2	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 7	450	-65.4	-66.1	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
WAP 9	870	-67.9	-68.4	2001-03-01	2003-02-01	ARP	Širović/Hildebrand
Casey 2004	3000	-63.8	111.8	2004-02-01	2005-01-01	ARP	Gedamke
Prydz 2005	1800	-62.6	81.3	2005-01-01	2006-02-01	ARP	Gedamke
Kerg 2005	2700	-66.2	74.5	2005-02-01	2006-02-01	ARP	Gedamke
Kerg 2006	2680	-66.2	74.5	2006-02-01	2007-03-01	ARP	Gedamke
Prydz 2006	1900	-62.6	81.3	2006-02-01	2007-03-01	ARP	Gedamke
65S.2006	1100	-65.6	140.5	2006-02-01	2007-01-01	Curtin Logger	Gedamke
54S.2006	1600	-53.7	144.8	2005-12-01	2006-10-01	Curtin Logger	Gedamke
54S.2008	2078	-53.7	141.8	2007-12-01	2009-02-01	Curtin Logger	Gedamke
Kerg 2009	587	-56.1	77.8	2009-02-01	2010-01-01	Curtin Logger	Gedamke
Casey 2010	2770	-64.6	108.3	2009-12-01	2010-12-01	Curtin Logger	Gedamke
PALAOA	180	-70.3	-8.1	2005-12-27	ongoing	PALAOA (2 hydrophones)	AWI/van Opzeeland
MARU#1	4798	-59.1	0.0	2008-12-12	2010-12-12	MARU	AWI/van Opzeeland
MARU#2	5144	-64.1	0.1	2008-12-14	not recovered	MARU	AWI/van Opzeeland
AWI 230-6	200	-66.0	0.0	2008-03-08	2010-12-16	aural	AWI/van Opzeeland
AWI 232-9	216	-68.6	0.0	2008-03-11	2010-12-19	aural	AWI/van Opzeeland
AWI 227-11	1007	-59.0	0.1	2010-12-11	2012-12-11	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 229-9	969	-63.6	0.0	2010-12-15	2012-12-14	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 230-7	934	-66.0	0.0	2010-12-16	2012-12-15	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 231-9	1083	-66.3	0.0	2010-12-23	2012-12-16	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 232-10	987	-69.0	0.0	2010-12-19	left on position (2015)	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 244-2	1003	-69.0	-7.0	2010-12-27	2012-12-26	sonovault	AWI/van Opzeeland

Instrument name	Depth (m)	Latitude	Longitude	Start date	End date	Instrument type	Initial contact
AWI 245-2	1051	-69.0	-17.2	2010-12-27	2012-12-28	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 209-6	207	-66.4	-27.1	2010-12-29	2013-01-01	aural	AWI/van Opzeeland
AWI 207-8	219	-63.4	-50.5	2011-01-06	left on position (2015)	aural	AWI/van Opzeeland
AWI 206-7	909	-63.3	-52.1	2011-01-06	left on position (2015)	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 227-12	1020	-59.0	0.0	2012-12-11	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 229-10	969	-63	0.0	2012-12-14	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 230-8	949	-66.0	0.0	2012-12-15	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 232-11	958	-68.0	-0.1	2012-12-18	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 244-3	998	-69.0	-7.0	2012-12-25	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 248-1	1081	-65.6	-12.2	2012-12-27	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 245-3	1065	-69.0	-17.2	2012-12-28	2015-01	sonivault	AWI/van Opzeeland
AWI 249-1	1051	-70.5	-28.5	2012-12-30	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 209-7	226, 1007, 2516	-66.4	-27.1	2013-01-01	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 208-7	956	-65.4	-36.3	2013-01-03	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 250-1	1041	-68.3	-44.1	2013-01-05	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 217-5	960	-64.2	-45.5	2013-01-09	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 207-9	219, 1012, 2489	-63.4	-50.5	2013-01-12	2015-01	sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI 206-8	277 907	-63.2	-51.5	2013-01-04	2015-01	aural sonovault	AWI/van Opzeeland
AWI-251-1	212 210	-61.0	-55.6	2013-01-06	2015-01	sonovault aural	AWI/van Opzeeland
AWI K02	235	-52.25	-40.5	2013-10-01	2015-01	aural	AWI/van Opzeeland
Davis 2013	2000	-66.2	74.5	2013-01-01	2014-01-01	AAD	AAD
Maud Rise	300	-65	3	2014-01-01	2015-01-01	aural	SABWP
Astrid Ridge	300	-67.75	12	2014-01-01	2015-01-01	aural	SABWP
Dumont Durville	1100	-65.6	140.5	2013-01-01	2015-01-01	Aural	AAD
Casey 2014	2770	-63.7	111.8	2013-12-21	2015-01-01	AAD	AAD
Kerguelen 2014	1800	-62.38	81.82	2014-02-28	2015-01-01	AAD	AAD
Elephant Island 2014		-62	-62	2014-02	2015-02	HARP	Melcon/Hildebrand
Ross Sea 2014		-78	167	2014-02	2015-02		Dziak

Tab. 1: List of known passive acoustic recorder (PAR) deployments in the Southern Ocean.

Tab. 1: Zusammenstellung bisher ausgebrachter Verankerungen mit passiven akustischen Rekordern (PAR) im Südlichen Ozean.

but also ideally with respect to the type of recording equipment that is used, how PARs are programmed (e.g., sample rate, duty cycle) and the type of acoustic data analyses that are used to extract the relevant information. Provided that a proper funding source can be identified, the ATW aims to create and stock a “library” of calibrated instruments that could be checked out by participating partners for deployments either in an extant mooring or as a stand-alone instrument. In the meantime, below we provide details on instruments, moorings and deployments that might be used for opportunistic mooring of instruments that can become part of the SOHN.

Deployment and recovery considerations

Here, we adopt the definition from the recent review on fixed autonomous PAM recorders by SOUSA-LIMA et al. (2013) that an acoustic recorder (PAR) is defined as “any electronic recording device or system that acquires and stores acoustic data internally (i.e., without cable or radio links to a fixed platform or receiving station) on its own, without the need of a person to operate it; it is deployed semi-permanently underwater (i.e., usually via a mooring, buoy, or attached to the sea floor); and is archival (i.e., must be retrieved after the deployment period to access the data).”

We hereby stress that this definition therefore excludes recordings collected with ship-towed arrays, gliders, sonobuoys or cabled observatories. While *in situ* recordings from towed arrays and sonobuoys are likely to be highly complementary to long-term recordings made by PARs, collection and analysis of these short-term recordings are presently outside of the scope of the SOHN project. The same applies to long-term data sets from cabled observatories such as the Comprehensive Test Ban Treaty Organization and PALAOA – these will also provide important complementary data to the SOHN but, based on their location, are not considered direct nodes of the hydrophone network.

In this section we offer recommendations regarding deployment and recovery of PARs. Often tradeoffs must be made between best practices and efficient-practices in order to accommodate logistical constraints and costs. While there is no single “best-practice” for all deployment and recovery scenarios, we attempt to consider the scenarios that are most likely to occur.

Deployment depth

Long-range propagation of underwater sound is highly dependent on the stratification of the water column. Hence reception of Antarctic blue and fin whale calls may display complex depth and distance dependent patterns depending on the relative location of the whale and the receiver. Thus accurate knowledge of the environmental conditions (e.g., depth, salinity, temperature profile) as well as the precise location of the PARs is required in order to maximize the utility of the acoustic data.

The Southern Ocean has a relatively uniform hydrographic regime, at least in the open ocean environment, and stratification is generally stable without strong fluctuations. However,

the oceanographic regime can display substantial variation throughout time in areas where circumpolar Antarctic currents have strong interactions with large-scale topography (SOKOLOV & RINTOUL 2009a, b). Most of the energy from sounds produced in shallow waters in the Antarctic are likely to be retained in a surface duct due to a relatively shallow sound-speed minimum and an upward refracting sound-speed profile found in most Antarctic waters (HALL 2005, MILLER et al. 2014; Fig. 5). However, logistical, bathymetric, and sea-ice related constraints may prohibit deployment and recovery of PARs in these shallow waters (see below). In order to ensure similar sound-propagation at each of the initial sites comprising the SOHN it is recommended that PARs be deployed deeper than 1000 m.

Ultimately, the relationships between signal strength, background noise contribution, and deployment depth will be re-evaluated based on data from experimental moorings with multiple PARs at different recording depths, which are currently in deployment (VAN OPZEELAND et al. 2013) to choose a deployment depth that minimizes variability in the detection range and detection probability among sites for Antarctic blue and fin whale acoustic signatures. For deployments where instrument depth might not be known, or may vary (e.g., on an oceanographic mooring), an integrated or external pressure/ depth sensor that is suitable for long-term deployments should be included near the hydrophone.

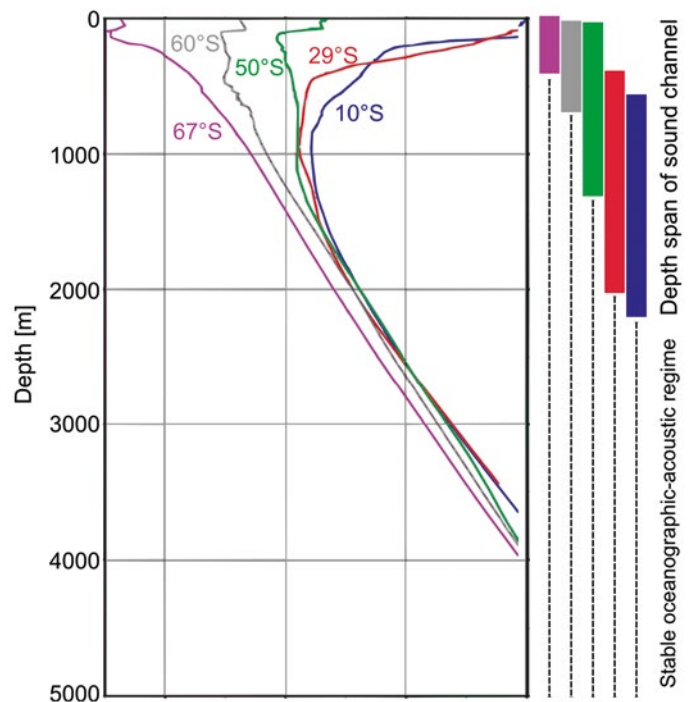


Fig. 5: Sound velocity profiles from hydrographic stations across the Pacific Ocean. An efficient channel for sound propagation is observed around the minimum in the sound-speed-profile. For the 10 °S and 29 °S profiles the axis of the sound channel is around 1000 m. At higher latitudes, the sound-speed minima shift towards the surface creating a surface duct at 50 °S, 60 °S and 67 °S (from BOEBEL et al. 2009).

Abb. 5: Schallgeschwindigkeitsprofile an pazifischen Hydrografie-Messstationen. Ein geeigneter Schallkanal ist jeweils erkennbar im Bereich der minimalen Schallgeschwindigkeit. In den Profilen bei 10 °S und 29 °S liegt der Schallkanal um etwa 1000 m Tiefe. Weiter südlich (bei 50 °S, 60 °S und 67 °S) erzeugt die zur Oberfläche hin verlagerte minimale Schallgeschwindigkeit einen Oberflächenschallkanal (aus BOEBEL et al. 2009).

Moorings

PARs can be deployed as part of existing scientific (e.g., oceanographic) moorings, or they may be independently anchored to the sea floor (Fig. 6). In the Southern Ocean, moorings are generally designed with the top flotation not shallower than 200 m below the sea-surface to avoid entrapment and subsequent displacement by passing icebergs. PARs within the SOHN are recommended to be deployed >1000 m to ensure low ambient noise floors and consistent sound propagation among recording sites. Care needs to be taken that PARs are not positioned directly below flotation as these could acoustically shield the PAR and cause turbulence and hence low-frequency noise in the recordings. Hydrophones should be located at least 10 m, ideally 50 m, below floats.

In the frequency band of Antarctic blue and fin whale vocalizations (10-100 Hz), recordings might be heavily affected by strumming noise if the mounting of the hydrophone is too

rigid. Strumming noise can be reduced by introducing flexibility in the PAR mounting. PARs can be attached to the mooring line with swivels on both ends so that they can rotate or move along the mooring line with so-called eddy-grips, so as to move with currents. Any combination of metals (e.g. of shackles and mooring frames) needs to be evaluated for compatibility and isolators must be used when necessary to prevent corrosion, which can eventually lead to instrument loss. Taping of shackles or other actions that can introduce O₂-rich or -poor regions should also be avoided to prevent crevice corrosion. Insulated wire or cable ties, rather than tape, have been used successfully to keep shackle bolts held fast. Previous long-term deployments of PARs in the Southern Ocean suggest the prevalence of corrosion and biofouling appears to be relatively low. Galvanized shackles and rings as mooring hardware have proved to work well.

PARs deployed in areas that are known to have some degree of ice cover at the time of retrieval, may need to be designed

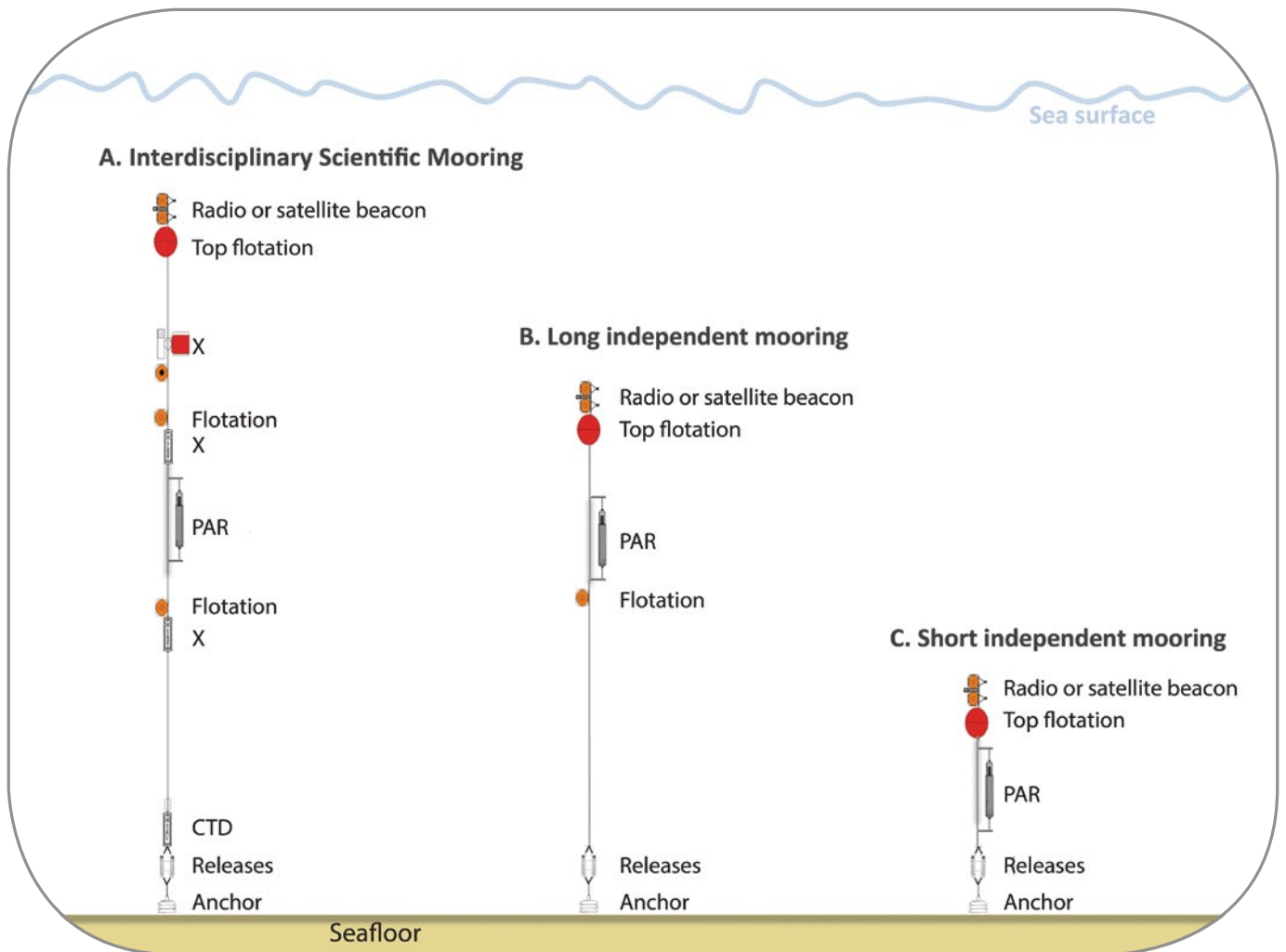


Fig. 6: Example mooring set-up for Passive Acoustic Recorders (PAR) in (A) = interdisciplinary moorings; (B) = long-independent moorings; and (C) = short-independent moorings. X indicates other scientific measurement instruments (e.g., ADCP, current meter, sediment traps). Note that depicted mooring length is not to scale, e.g. short independent moorings may be only 20 to 30 m off the sea floor, whereas long and inter-disciplinary moorings can be 10 or more times as long, depending on their set up and location.

Abb. 6: Exemplarische Verankerungsstruktur für passive akustische Rekorder (PAR) in: (A) = multidisziplinären Verankerungen, (B) = reine lange PAR-Verankerungen und (C) = reine kurze PAR-Verankerungen. X kennzeichnet das Vorhandensein weiterer wissenschaftlicher Messgeräte (z.B. ADCP, Strömungsmesser, Sedimentfallen). Die abgebildeten Verankerungslängen sind nicht maßstabsgetreu, z.B. sind kurze PAR-Verankerungen mit nur 20 bis 30 m Länge möglich, wohingegen lange und multidisziplinäre Verankerungen, abhängig von Aufbau und Lage, die zehnfache Länge (oder mehr) aufweisen können.

with longer mooring lengths as short moorings may not be as readily detected on the surface during retrieval operations. While the mooring length must be balanced with additional costs and operational ease of deployment and recovery, longer moorings are easier to relocate and are recommended in areas with dense ice fields during retrieval. This does not apply in areas with open water, where short moorings can be used with more confidence of a successful relocation. Figure 7 is a flowchart intended to help determine which type of mooring, deployment and recovery strategy is suitable for some common scenarios.

Deployment of PARs in scientific moorings

Using oceanographic mooring infrastructure can help to significantly reduce the cost and logistic effort of deployment and recovery of PARs, particularly in the Southern Ocean. In the context of integrating PARs in oceanographic moorings, it needs to be stressed that PARs do not affect oceanographic measurements, have little hydrodynamic drag and are similar in deployment and recovery operation to standard oceanographic instrumentation such as current meters and acoustic releases. PARs only need a little additional flotation to be added to compensate for their weight (e.g. two additional benthos spheres for a 30 kg PAR). When PARs are deployed with eddy grips, mounting of the PAR occurs out of the

mooring line (Fig. 6) and is therefore independent of overall mooring forces. Examples of studies that had PARs included in existing scientific moorings are MIKSI-Olds et al. (2010), ROYER et al. (2010), MOORE et al. (2012), STAFFORD et al. (2012), and RETTIG et al. (2013).

When using existing scientific moorings to deploy PARs, deployment duration will be dependent on the frequency with which the oceanographic moorings are serviced. This projected deployment duration should be factored into decisions on the hardware (e.g., hard drive size, battery life) and software programming (e.g., sample rate) for the instrumentation. Furthermore, deployment locations of PARs are of course dependent on the purpose of the oceanographic measurements.

A further advantage of including PARs in inter-disciplinary moorings is that, in some cases, additional *in situ* environmental information can be obtained from measurement instruments on the same mooring, such as time series data on temperature, currents and local biomass in the water column from ADCPs and sediment traps (e.g., CISEWSKI et al. 2010). Such auxiliary data may be useful to

- (1) assess changes in local sound propagation and therefore changes in the ability of the PAR to detect whales and
- (2) derive information on spatio-temporal association patterns of whales with prey as well as other species-specific habitat preferences.

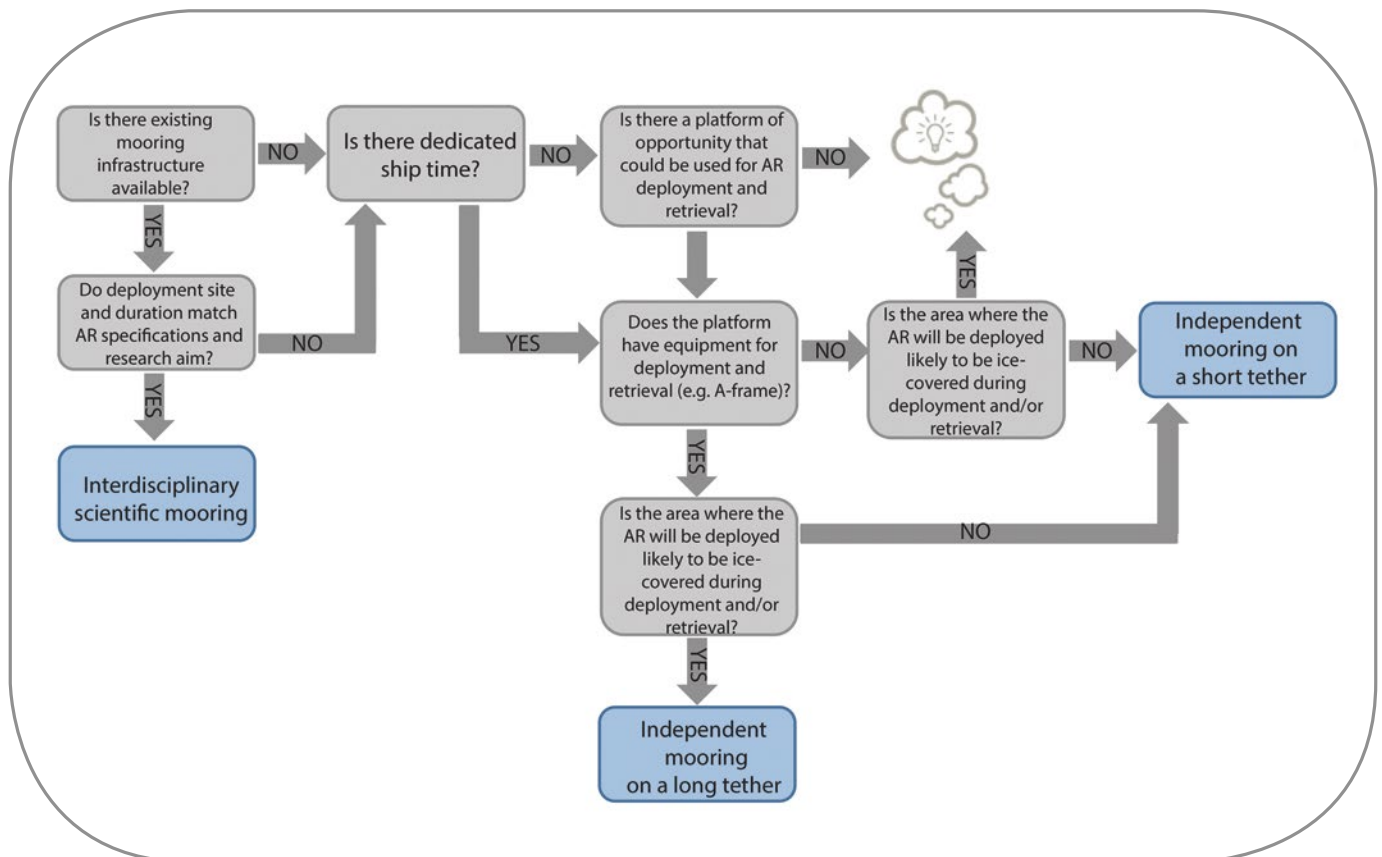


Fig. 7: Flow-chart of different mooring designs to guide decisions on deploying in interdisciplinary moorings, long-independent moorings, and short-independent moorings. The cloud with the light bulb indicates that PAR deployment may be unfeasible or other options to deploy a PAR need to be explored.

Abb. 7: Schematische Darstellung verschiedener Verankerungsdesigns als Leitfaden für den Einsatz von multidisziplinären Verankerungen, reinen langen PAR-Verankerungen und reinen kurzen PAR-Verankerungen. Das Glühbirnen-Symbol deutet darauf hin, dass der Einsatz eines akustischen Rekorders nicht durchführbar ist bzw. alternative Möglichkeiten bezüglich eines Einsatzes sondiert werden müssen.

Independently moored PARs

There are two possible ways to independently moor PARs: as bottom-mounted (i.e., sitting on the sea-floor or on a very short tether) instruments or as part of longer mooring lines that are anchored to the seafloor but extend up into the water column.

Compared to oceanographic moorings, independently moored PARs may provide greater flexibility in terms of deployment location and duration (i.e., frequency of service). However, this flexibility may come with extra costs mainly due to the need for dedicated time for deployment and recovery as well as the need for relatively specialized systems and shipboard equipment to deploy and recover moorings. For moorings with heavy anchors (long moorings, bottom-mounted moorings), a crane or A-frame is generally required to safely lift and deploy the float, instrument and particularly the anchor from on deck. For long moorings, a winch for spooling out line is ideal – however, on deck on- and off-spooling using a simple stand is feasible. Specialized recovery systems are typically comprised of acoustically-activated release mechanisms. These systems are costly, but especially important for moorings anchored in deep waters.

In the sections below, we briefly discuss several ways in which the additional costs that apply to independently moored PARs may be mitigated, explore the tradeoffs between costs of ship charters vs. the costs of moorings, and discuss PAR designs that may exemplify these tradeoffs.

Mitigating the high costs of ship time

Opportunistic deployments

To minimize the amount of dedicated ship time required for independent mooring deployments, mooring locations may be selected along existing supply routes for Antarctic stations (e.g., GEDAMKE et al. 2007). Apart from reducing the time to reach the deployment location, this also facilitates regular (i.e., often annually in the case of Antarctic station supply ships) servicing of the mooring. However, as is the case when using existing scientific mooring infrastructure, deployments are restricted to locations along supply routes. This should not be problematic so long as the requirements for preferred latitude and concurrent deployment with instruments at other longitudes are met.

When no dedicated ship time is available, some PAR types may allow deployment off platforms of opportunity, such as cruise ships. It is paramount in this case that the dimensions and weight of the PAR unit allow deployment from the platform of opportunity (for example, when no crane and winch are available). Mooring set-up needs to be simple (e.g. have short tethers) and instruments should be prepared for deployment prior to departure. Any consideration of additional instrumentation for *in situ* measurements should also be carefully weighed against increasing the complexity of deployments.

Retrieval of moorings often requires substantial maneuverability of the ship to remain on station, particularly in the case of strong winds and heavy seas. Even for dedicated platforms, it is not unusual for retrieval maneuvers to take more than an

hour from first sighting the mooring until it is hauled on deck. It is furthermore recommended that someone with sufficient technical experience and knowledge of PARs is on board the ship to take responsibility for the instrument, e.g., to secure lithium batteries if necessary and provide a time signal for later synchronization of the PAR. Platforms of opportunity such as cruise ships are therefore less suitable for mooring retrieval, but research ships with personnel that have experience with oceanographic instrumentation should be able to opportunistically recover PARs. Attempts to find or communicate with lost or unresponsive instruments may be restricted if there is limited or no dedicated ship time available.

Deployment and recovery efficiency

There are several practical steps that can be taken in order to maximize the efficiency of PAR deployments and minimize the amount of dedicated ship time required. For example, deployments may be optimized by preparing the PAR and mooring on-shore and before arriving on station. In cases when PARs are prepared long before deployment, PAR status checks and clock-synchronization are recommended prior to deployment if feasible. Final checks may be facilitated by an externally visible infrared diode that provides an internal clock and life beat (i.e., indicating the device is operational).

Simplifying the mooring design will also reduce the amount of dedicated ship time required, e.g., by using bottom-mounted instruments that require no spooling of cable. For bottom-deployed instruments or PARs moored close to the sea floor, pressure measurements (e.g., by means of additional instruments) can be omitted, provided that the bathymetry at the deployment location is known. A more compact and less complex instrument type has the further advantage that deployments minimize personnel requirements.

Recovery efficiency, in terms of time on station waiting for an instrument to surface, may be increased by maximizing the ascent rate, which can be achieved by increasing buoyancy and minimizing drag forces on the mooring. Where possible, acoustic releases with a “push-off” release mechanism should be used as these are typically more time-efficient than “burn-wire” release mechanisms. To facilitate locating the PAR on the water surface, recovery aids such as strobes to allow recovery in darkness, and increase visibility in daylight, are recommended. A VHF locator can be used for detection of surfacing and bearing to the mooring even when it has not been sighted. Furthermore, satellite telemetry (i.e., short-burst iridium/GPS) is bidirectional and may be considered to efficiently locate the mooring and thereby overcome the cost of a ship-time consuming grid search for instruments. Finally, although these additions increase overall instrument cost, they both reduce ship time for recovery, and reduce the likelihood of instrument loss.

All instruments should have contact information printed on the outside so that lost or detached instruments can be returned in case they are found.

Care should furthermore be taken that, should a permanent loss of instrumentation occur, any impact to the environment is minimized.

Maximizing likelihood of instrument recovery

To minimize the chances of instrument loss due to malfunction of the release mechanism or fouling with the ocean bottom, it is recommended where possible to include redundancy in the release mechanism, either by including dual releases in parallel in case of failure of the primary release and by carrying multiple transponders onboard for activating acoustic releases. This too adds substantially to the cost of the mooring and is therefore not a prerequisite for SOHN PARs as many oceanographic moorings worldwide rely on a single release.

To reduce the chances of instruments on a mooring becoming embedded in soft bottom sediment, it may be advantageous, depending on seabed characteristics (if these are known), to include buffers between weights, acoustic releases, and PAR electronics in bottom-deployed PARs. These buffers function to absorb the motion of in-line instruments upon the impact of the anchors with the sea floor.

Instrument preparation pre-deployment

Given the high cost of time at sea and limited number of berths on many Antarctic voyages, there are many instances in which it may be most cost-effective to perform all servicing of PARs on shore. This trade-off will minimize amount of time and personnel required at-sea, but comes at the cost of efficient use of instruments as instruments will not be redeployed on the same voyage in which they are recovered. Furthermore, depending on how long an instrument will be underway on board a ship, steps should be taken to minimize the time that the instrument is not yet in the water but already recording (e.g. through a scheduled start time for recording when the instrument is expected to be deployed), and to ensure the overall in-water recording duration is sufficient for the project goals. These scenarios are most likely to occur on platforms of opportunity that may have the capability to recover moorings, but lack the technical personnel to fully service and refurbish a PAR. To best facilitate continuous occupation of locations, it is recommended that rather than re-deploying the same instrument that was recently recovered, a pre-programmed, replacement instrument be provided. This will require a larger “library” of instruments but will reduce time on board and the need for a dedicated technician.

DATA AND METADATA STORAGE

Recording capacity

Generally, the logistics complexity and high costs of deploying and maintaining PARs in the Southern Ocean (and polar oceans in general) are often balanced by relatively long deployment periods. Large parts of the Southern Ocean are seasonally ice-covered and hence only allow ships to access these regions to retrieve or deploy PARs during austral summer. Recording capacity with respect to power and data storage therefore needs to cover at least one year for most areas, but preferably two to three years to keep logistics of recovery and deployment as flexible and cost-effective as possible. To meet these capacity requirements, low power consumption and high storage capacity are a prerequisite for long-term deployments

in polar oceans. Some of the currently available PARs already allow collection of continuous records up to three years. Moreover, the pace with which developments in acoustic recording technology are progressing promises that PAR recording capacities will soon no longer restrict deployment periods in polar oceans. PARs that form nodes in the SOHN are recommended to collect continuous acoustic records, as currently too little is known about Antarctic blue and fin whale vocal behavior to decide on subsampling schemes that form a reliable basis to e.g., extrapolate hourly call rates (Thomisch et al. pers. comm.).

However, efficiency of data collection should be balanced by minimizing the risk of data loss. In the harsh marine environment that comprises the Southern Ocean there is a very real risk that a PAR might fail to deliver data. Failures can occur due to misconfigured PARs, electronic or mechanical failure within a PAR, or failure to recover a PAR (DUDZINSKI et al. 2011). Thus, while we recommend the capability for continuous data collection over 2-3 years, we also recommend servicing PARs as frequently as possible in order to minimize potential gaps in data collection that might arise due to PAR failures.

PAR sample frequency

Blue and fin whales produce the lowest frequency sounds of any cetacean, thus sample rates can be low for passive acoustic monitoring, which in-turn relaxes storage capacity requirements for long-term records. In addition, such sample rate requirements also make it possible to explore the possibility of opportunistically including both ocean-bottom seismometers and hydrophones (OBH/OBS) data in the pan-Antarctic data set, in particular for data sparse areas. Assuming that the calls of interest for passive acoustics monitoring are Z-calls for Antarctic blue whales (Fig. 3a) and the 20 Hz fin whale calls that in some cases also have high frequency component (80-100 Hz, Fig. 3c), a sample rate of at least 250 Hz and an appropriate anti-aliasing filter (ensuring clean data up to at least 100 Hz) should be used. This sample rate represents the lower limit of recordings that could contribute towards the SOHN.

PARs that are not bottom-mounted (i.e., in the water column), should be programmed to have a steep high-pass filter (~10 Hz corner-frequency) to attenuate some of the low frequency strumming noise from the mooring. In areas of very high flow, however, where strumming noise can extend into the hundreds of Hz, faired mooring line might be used, or a deeper deployment depth should be considered.

If recording capacity allows, instruments programmed to higher sample rates (e.g., 4 kHz) can capture a much wider range of calls produced by whale and seal species in Antarctic waters (e.g., GEDAMKE & ROBINSON 2010, VAN OPZEELAND 2010). Additionally, higher sampling rates may allow investigation of hypotheses regarding associations and interactions among whale species or large-scale comparisons of acoustic habitats/soundscapes (e.g., BOYD et al. 2011). As mentioned previously, the recent and continued advances in digital storage make power, rather than storage capacity, the limiting factor when considering a sample rate.

Data format

To allow processing with various analytical tools, PARs should, as their primary function, record a lossless encoded waveform of raw acoustic pressure, in addition to any on-board processing providing spectrogram image files or derived data (e.g., event detections). While perceptual-based encoding of data, such as MP3, may allow for increased data storage, encoding schemes based on human perception may yield unpredictable performance when most of the sound energy occurs at frequencies below that which a human listener would likely be able to perceive, as is the case with most Antarctic blue and fin whale sounds.

Pre-processing of data within the recorder may be a viable approach for future studies e.g. triggering recording only when specific acoustic events are detected or saving only the detection information (e.g. event logging). However, for the purpose of the SOHN project, in particular the collection of baseline acoustic information, full, original acoustic records are required. In addition to baseline data on whale vocalizations, full original acoustic records provide important information on the ambient noise spectrum, which, as also addressed earlier, is of interest to evaluate the role of biotic and abiotic contributions to local soundscapes.

Given that WAV (Waveform Audio File) is the most commonly used data format for virtually all sound analysis software, we recommend WAV as the primary user-facing data format for acoustic data from PARs. However, knowledge of sample rate and bit depth can be used to convert almost any lossless encoded data to WAV files prior to data processing. Furthermore, certain recording systems allow storage of metadata (such as instrument serial number, location, time stamps, temperature and depth) throughout the recording in archival file formats (JOHNSON et al. 2013). Where possible, recording in these formats is desirable, but not a prerequisite, for SOHN PARs.

Calibration of PARs

Periodic (e.g., biennial) calibration of PARs over the full bandwidth of whale sounds is required in order to ensure accurate measurements of the amplitude of the pressure waveform recorded by each PAR. Without full system calibration, it will not be possible to extract some meaningful physical units (e.g., absolute amplitude in Pascals, intensity in dB re 1 μ Pa) from the recorded data which may prohibit meaningful comparisons among PARs. Calibrations should not be limited to amplitude, but also comprise frequency and absolute time.

Full system calibration can consist of a single frequency-dependent response function and distortion limits for the entire recording chain, or it may be derived from independent calibration factors from each component. A typical recording chain consists of hydrophones, amplifiers, digitizers, and storage. Hydrophones typically function as transducers, converting pressure waveforms into analog voltages. These voltages are then amplified and digitized by the recording chain. Finally, digitized signals are scaled and encoded before being written to digital media. Thus, the frequency-response of the entire recording system (i.e., preamplifiers, anti-aliasing filters, gain of analog-to-digital converters) should also be calibrated peri-

odically. The purpose of a full system calibration is to allow measurement of absolute levels of sound. Additionally, a calibrated system allows for more robust assessment should distortion of sound occur due to overloading of some component of the recording chain.

When possible, the frequency response of hydrophones should be calibrated over the entire recording bandwidth and amplitude range at a dedicated calibration facility. The frequency response of the remainder of the recording chain can be calibrated by connecting a signal generator in place of the hydrophone and allowing the instrument to record several calibrated frequency sweeps (i.e., measured frequency and RMS amplitude). Frequency calibration should cover the entire recording bandwidth. Amplitude calibration should include the noise floor (i.e., zero root-mean-square (RMS) amplitude) up to the amplitude at which clipping/distortion begins to occur.

As an alternative, nations participating in the SOHN project may in the future obtain calibrated instruments through the ATW's "library" of instruments.

Metadata requirements

To archive important metadata to the sound recordings, the ATW recommends that the following information be logged on instrument forms upon deployment and recovery of SOHN PARs. The metadata that can be logged will depend on the platform that deploys/recovers the PAR as platforms of opportunity may not have personnel and expertise to perform more complex tasks e.g., open PARs and measure battery voltage. The Metadata form for platforms of opportunity represents the minimum metadata that are to be logged for SOHN PARs for all deployments, independent of the platform that is used. Research teams responsible for the PAR should make sure that in cases when platforms of opportunity are used, the required metadata can be logged by the ship's crew as efficiently as possible (e.g., provide instrument forms, serial number visible on the outside of the instrument).

Additional metadata to be collected by dedicated platforms provides a more detailed list of important metadata that the ATW recommends be logged when SOHN PARs are deployed from dedicated (research) vessels. These documents will be made available through the SORP website.

Review of PARs for deployments in the Southern Ocean

SOUSA-LIMA et al. (2013) provided an inventory of fixed autonomous passive acoustic recording devices. Not all recording systems listed in their review meet the requirements of SOHN PARs as listed in previous sections of this document. However, the rapid development of PAR hardware, adaptations and new hardware development are likely to deem any recommendation with respect to specific hardware for the SOHN out of date. The ATW therefore refers to the SORP website where an up-to-date list will be kept on recommended PAR systems currently on the market with links to their manufacturers.

If the PAR "library" comes to fruition, it is anticipated that the instruments will be managed i.e., programmed, calibrated and

Metadata form for platforms of opportunity

- PAR metadata
 - Serial number
 - Start date and time of recording
- Acoustic release (in most cases provided by responsible research team)
 - Type
 - Serial number
 - Operating frequency
 - Activation codes
 - Type of deck box required
- Deployment metadata
 - Deployment time, date, and position (UTC, latitude, longitude)
 - Depth/bathymetry of instrument and sea floor
 - Number and (approximate) location of any whales in the vicinity
- On recovery
 - Date and time of acoustic release
 - Date and time of recovery
 - Any leaks or obvious problems with the PAR?
 - PAR clock offset synchronized (time of signal and type of signal, e.g. could be as simple as banging on a pipe at a known time next to the hydrophone)
 - Number and location of any whales sighted in the vicinity of the PAR
- Additional information
 - Mooring ID
 - Name of ship
 - Summary of ice conditions at recording location
 - Additional information from recovery aids (e.g., GPS/Iridium location at surface)

Additional metadata to be collected by dedicated platforms

- PAR metadata
 - Instrument type
 - Data format (e.g., WAV, bin, raw)
 - Sample rate, bit depth, header information
 - Duty cycle used (settings)
 - Hydrophone type, serial number, calibration date
 - Calibration factors (including frequency response)
 - Types of additional data streams
- Deployment metadata
 - PAR clocks initially synchronized to UTC
 - Additional geolocation (post-deployment survey)
 - SSP (sound speed profile if available)
- On Recovery
 - Battery voltage
 - Did the instrument record? # GB recorded
 - Backup the recorded data
- Additional information
 - Instruments on mooring
 - Point of contact

managed by one of the SOHN partners. This is presently under discussion and will also be announced on the SORP website.

Archival and management of the SOHN data base

All acoustic data collected as part of SOHN will be archived so that partner collaborators will have access to the data. Presently, two options are being explored: archiving at PANGAEA, which is managed by the Alfred Wegener Institute (AWI) and the Australian Ocean Data Network AODN. Each of these institutions has experience serving and maintaining large, global databases. We anticipate that if data are collected under the direct aegis of SOHN – (versus current deployments undertaken independently by partners such as South African National Antarctic Programme (SANAP) and the AWI) – the data will be available online after they have been quality checked. Data collected independently by partners that have agreed to be part of SOHN will be embargoed for a mutually agreeable time by those partners before being made available.

As part of the archiving, long-term spectral averages (LTSAs) will be produced and available to provide a rapid assessment of data quality (particularly with regards to noise) and for the seasonal occurrence of blue and fin whales (see SAMARAN *et al.* 2012).

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Olaf Boebel, Stefanie Spiesecke, Karolin Thomisch, Elke Burkhardt, Steven Whiteside and Mark Milnes for constructive comments and support during the preparatory phase of the manuscript. We also thank Ana Širović, Julian Gutt and Gotthilf Hempel for their helpful reviews of the manuscript. We thank the International Whaling Commission for workshop and travel support for the SORP Antarctic Blue and Fin Whale ATW.

References

- AODN website, <http://portal.aodn.org.au/aodn/>.
eddy-grips <http://www.nautilus-gmbh.com/vitrovex-deep-sea-housings/>
IUCN International Union for Conservation of Nature: <http://www.iucn.org>
PANGAEA website: <http://www.pangaea.de/about/>
SORP website: <http://www.marinemammals.gov.au/sorp>
- Boebel, O., Breitcke, M., Burkhardt, E. & Bornemann, H. (2009): Strategic assessment of the risk posed to marine mammals by the use of airguns in the Antarctic Treaty area.- Information Paper IP 51, Agenda Item: CEP 8c, Antarctic Treaty Consultative Meeting XXXII, Baltimore, USA.
- Boyd, I.L., Frisk, G., Urban, E., Tyack, P., Ausubel, J., Seeyave, S., Cato, D., Southall, B., Weise, M., Andrew, R., Akamatsu, T., Dekeling, R., Erbe, C., Farmer, D., Gentry, R., Gross, T., Hawkins, A., Li, F., Metcalf, K., Miller, J.H., Moretti, D., Rodrigo, C. & Shinke, T. (2011): An International Quiet Ocean Experiment.- *Oceanography* 24(2): 174-181.
- Branch, T.A. (2007): Abundance of Antarctic blue whales south of 60° S from three complete circumpolar sets of surveys.- *J. Cetacean Res. Managem.* 9(3): 253-262.
- Branch, T., Matsuoka, K. & Miyashita, T. (2004): Evidence for increases in Antarctic blue whales based on Bayesian modelling.- *Marine Mammal Sci.* 20: 726-754.
- Branch, T.A., Stafford, K.M., Palacios, D.M., Allison, C., Bannister, J.L. *et al.* (2007): Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean.- *Mammal Rev.* 37: 116-175.

- Childerhouse, S. (2009): Southern Ocean Research Partnership workshop: summary of outcomes. International Whaling Commission. SC/61/O17: 1-6.
- Childerhouse, S. (2010): Report of the Southern Ocean Research Partnership Seattle workshop. International Whaling Commission. SC/62/O8: 1-5.
- Cisewski, B., Strass, V.H., Rhein, M. & Kraegefsky, S. (2010): Seasonal variation of dial vertical migration of zooplankton from ADCP backscatter time series data in the Lazarev Sea, Antarctica.- *Deep-Sea Res. Part I* 57: 78-94.
- Dudzinski, K.M., Brown, S.J., Lammers, M., Lucke, K., Mann, D., Simard, P. & Wall, C.C. (2011): Trouble-shooting deployment and recovery options for various stationary passive acoustic monitoring devices in both shallow- and deep-water applications.- *J. Acoust. Soc. Amer.* 129: 436-448.
- Ensor, P.H., Komiya, H., Beasley, L., Fukutome, K., Olson, P. & Tsuda, Y. (2007): 2006-2007 International Whaling Commission – Southern Ocean Whale and Ecosystem Research (IWC-SOWER) cruise.- Paper SC/59/IA1, International Whaling Commission (unpubl.).
- Ensor, P.H., Komiya, H., Olson, P., Sekiguchi, K. & Stafford, K. (2006): 2005-2006 International Whaling Commission – Southern Ocean Whale and Ecosystem Research (IWC-SOWER) cruise.- Paper SC/58/IA1 presented to the 2006 IWC Scientific Committee (unpubl.) 1-63.
- Gavrilov, A.N., Mccauley, R.D. & Gedamke, J. (2012): Steady inter- and intra-annual decrease in the vocalization frequency of Antarctic blue whales. *J. Acoust. Soc. Amer.* 131: 4476-4480.
- Gedamke, J., Gales, N., Hildebrand, J.A. & Wiggins, S. (2007): Seasonal occurrence of low frequency whale vocalisations across eastern Antarctic and southern Australian waters, Feb 2004 to Feb 2007.- *International Whaling Commission Vol. SC/59*: 1-11.
- Gedamke, J. (2009): Geographic Variation in Southern Ocean Fin Whale Song.- *International Whaling Commission. SC/61/SH16*: 1-8.
- Gedamke, J. & Robinson, S.M. (2010). Acoustic survey for marine mammal occurrence and distribution off East Antarctica (30-80 °E) in January-February 2006.- *Deep Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography* 57: 968-981.
- Hall, M. (2005): Sound propagation through the Antarctic Convergence Zone and comments on three major experiments. *Proc. Acoust., Busselton, Western Australia*: 475-479.
- Hammond, P., Macleod, K., Berggren, P., Borchers, D.L., Burt, L., Cañadas, A., Desportes, G., Donovan, G., Gilles, A., Gillespie, D., Gordon, J., Hiby, L., Kuklik, I., Leaper, R., Lehnert, K., Leopold, M., Lovell, P., Øien, N., Paxton, G., Ridoux, V., Rogan, E., Samarra, F., Scheidat, M., Sequeira, M., Siebert, U., Skov, H., Swift, R., Tasker, M.L., Teilmann, J., Van Canneyt, O. & Vázquez, J.A. (2013): Cetacean abundance and distribution in European Atlantic shelf waters to inform conservation and management.- *Biol. Conservation* 164 : 107-122.
- Johnson, M., Partan, J. & Hurst, T. (2013): Low complexity lossless compression of underwater sound recordings.- *J. Acoust. Soc. Amer.* 133: 1387-1398.
- Kaschner, K., Quick, N.J., Jewell, R., Williams, R. & Harris, C.M. (2012): Global coverage of cetacean line-transect surveys: status quo, data gaps and future challenges.- *PLoS ONE* 7. e44075.
- Maslanik, J. & Stroeve, J. (1999): Updated daily. Near-Real-Time DMSP SSM/I-SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations.- 2000-2012. Boulder, Colorado USA: NASA DAAC Nat. Snow and Ice Data Center.
- Marques, T.A., Thomas, L., Martin, S., Mellinger, D., Ward, J., Moretti, D., Harris, D. & Tyack, P. (2013): Estimating animal population density using passive acoustics.- *Biol. Rev.* 88: 287-309.
- Mellinger, D.K., Stafford, K.M., Moore, S.E., Dziak, R.P. & Matsumoto, H. (2007): An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans.- *Oceanography* 20: 36-45.
- Miksís-Olds, J.L., Nysuen, J.A. & Parks, S.E. (2010): Detecting marine mammals with an adaptive subsampling recorder in the Bering Sea.- *Applied Acoust.* 71: 1087-1092.
- Miller, B.S., Leaper, R., Calderan, S., Collins, K. & Double, M.C. (2014): Source levels of Antarctic blue whale calls measured during the 2013 Antarctic blue whale voyage: preliminary results.- *Subm. Sci. Commit.* 65b Internat. Whaling Commission. Bled, Slovenia. SC/65b/SH11. 11pp.
- Morano, J.L., Salisbury, D.P., Rice, A.N., Conklin, K.L., Falk, K.L. & Clark, C.W. (2012): Seasonal and Geographical Patterns of Fin Whale Song in the Western North Atlantic Ocean. -*J. Acoust. Soc. Amer.* 132 (2): 1207-1212.
- Moore, S.E., Stafford, K.M., Melling, H., Berchok, C., Wiig, Ø., Kovacs, K.M., Lydersen, C. & Richter-Menge, J. (2012): Comparing marine mammal acoustics habitats in Atlantic and Pacific sectors of the High Arctic: year-long records from Fram Strait and the Chukchi Plateau.- *Polar Biology* 35: 475-480.
- Nieukirk, S.L., Mellinger, D.K., Moore, S.E., Klinck, K., Dziak, R.P. & Goslin, J. (2012): Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999-2009.- *J. Acoust. Soc. Amer.* 131: 1102-1112.
- Rettig, S., Boebel, O., Menze, S., Kindermann, L., Thomisch, K. & Van Opzeeland, I.C. (2013): Local to basin scale arrays for passive acoustic monitoring in the Atlantic sector of the Southern Ocean.- *Proc. First Internat. Conf. Underwater Acoustics*, 1669-1674.
- Royer, J.-Y. (2010): Projet DEFLO-HYDRO- Rapport de missions. Laboratoire des domaines Océaniques.- CNRS, Univ. Bretagne Occidentale Institut Polaire Français Paul Emile Victor, pp. 46.
- Samaran, F., Stafford, K.M., Branch, T., Gedamke, J., Royer, J.-Y., Dziak, R.P. & Guinet, C. (2013): Seasonal and geographic variation of southern blue whale subspecies in the Indian Ocean.- *PLoS One* 8(8): e71561-e71561.
- Samaran, F., Adam, O. & Guinet, C. (2010): Detection range modeling of blue whale calls in Southwestern Indian Ocean.- *Applied Acoust.* 71: 1099-1106.
- Samaran, F., Stafford, K., Gedamke, J., Van Opzeeland, I., Miller, B.S., Adam, O., Baumgartner, M., Mussoline, S. & Pressiat, G. (2012): Acoustic trends in abundance, distribution, and seasonal presence of Antarctic blue whales and fin whales in the Southern Ocean.- In: E. BELL (ed), *Annual Rep. Southern Ocean Res. Partnership (SORP) 2011/12*. Sci. Commit. Internat. Whaling Commission, Panama City, Panama. SC/64/O13.
- Širović, A., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M., McDonald, M.A., Moore, S.E. & Thiele, D. (2004): Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula.- *Deep Sea Res. Part II*, 51: 2327-2344.
- Širović, A., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M. & Thiele, D. (2009): Blue and fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004.- *Marine Mammal Sci.* 25: 125-136.
- Sousa-Lima, R.S., Norris, T.F., Oswald, J.N. & Fernandes, D.P. (2013): A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals.- *Aquatic Mammals* 39: 23-53.
- Sokolov, S. & Rintoul, S.R. (2009a): Circumpolar Structure and Distribution of the Antarctic Circumpolar Current Fronts: 1. Mean Circumpolar Paths.- *J. Geophys. Res.* 114 (C11): C11018.
- Sokolov, S. & Rintoul, S.R. (2009b): Circumpolar Structure and Distribution of the Antarctic Circumpolar Current Fronts: 2. Variability and Relationship to Sea Surface Height.- *J. Geophys. Res.* 114 (C11): C11019. doi:10.1029/2008JC005248.
- Stafford, K., Bohnenstiehl, D., Tolstoy, M., Chapp, E., Mellinger, D. & Moore, S. (2004): Antarctic-type blue whale calls recorded at low latitudes in the Indian and Eastern Pacific Oceans.- *Deep Sea Res. Part I*: 51 (10): 1337-1346.
- Stafford, K.M., Moore, S.E., Berchok, C.L., Wiig, Ø., Lydersen, C., Hansen, E., Kalmbach, D. & Kovacs, K.M. (2012): Spitsbergen's endangered bowhead whales sing through the polar night.- *Endangered Species Res.* 18: 95-103.
- Thomas, L. & Marques, T. (2012): Passive acoustic monitoring for estimating animal density.- *Acoustics Today* 8(3):35-44.
- Van Opzeeland, I.C. (2010): Acoustic ecology of marine mammals in polar oceans.- PhD Thesis, Univ. Bremen, Rep. Polar & Marine Res. 619: 1-332.
- Van Opzeeland, I.C., Kindermann, L., Boebel, O. & Van Parijs, S.M. (2008): Insights into the acoustic behaviour of polar pinnipeds: current knowledge and emerging techniques of study.- In: E.A. WEBER & L.H. KRAUSE (ed), *Animal Behaviour: New Research*, Nova Science Publishers. Hauppauge, NY.
- Van Opzeeland, I.C., Rettig, S., Thomisch, T., Preis, L., Lefering, I., Menze, S., Zitterbart, D., Monsees, M., Boebel, O. & Kindermann, L. (2013): Ocean Acoustics.- *Rep. Polar & Marine Res.* 671: 71-81.
- Van Parijs, S., Clark, C.W., Sousa-Lima, R.S., Parks, S.E., Rankin, S., Risch, D. & Van Opzeeland, I.C. (2009): Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales.- *Marine Ecol. Progr. Ser.* 395: 21-36.
- Williams, R., Hedley, S.L. & Hammond, P.S. (2006): Modeling distribution and abundance of Antarctic baleen whales using ships of opportunity.- *Ecol. Society* 11(1): 1.

Call Characteristics of High-Double Trill Leopard Seal (*Hydrurga leptonyx*) Vocalizations from three Antarctic Locations

by Cornelia M. Kreiss¹, Olaf Boebel¹, Horst Bornemann¹, Lars Kindermann¹, Holger Klinck², Karolin Klinck²,
Joachim Plötz¹, Tracey L. Rogers³ and Ilse C. Van Opzeeland¹

Abstract: Leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) produce underwater vocalizations during the breeding season in austral summer. Due to their solitary occurrence and remote habitat, hydroacoustic observations are an important technique to investigate this species regarding their population structure and acoustic ecology. This study examines, whether the acoustic characteristics of leopard seal high double trills (HDT) differed among three Antarctic locations (DI Drescher Inlet (72°52' S, 19°26' W), AB Atka Bay (70°31' S, 8°13' W) and DS Davis Sea (65° S, 90° E). Overall the observed pattern reflects a remarkable similarity in the acoustic characteristics of leopard seal HDTs across the three recording locations. Interestingly, differences in call characteristics were strongest between the closest sites DI and AB (500 km along-shelf-ice distance). HDTs recorded at DI had lower pulse repetition rates and narrower bandwidths than HDTs recorded at both, AB and DS (4300 km along-shelf-ice distance). Principal Component Analysis clearly separated HDTs recorded at DI from HDTs recorded at both, AB and DS. Calls from AB and DS were less separable and showed partly overlapping clusters. Previous genetic studies suggested that there is sufficient exchange of individuals between leopard seal breeding groups to prevent the development of genetically isolated populations. Our results support this notion as they demonstrate a high level of similarity in leopard seal vocalizations recorded at disparate locations. Subtle site variation in calls from recording locations within close proximity might be attributed to differences in local social factors including reproductive character displacement or environmental factors.

Zusammenfassung: Während der Aufzucht- und Paarungszeit im polaren Sommer zeigt der Seeleopard (*Hydrurga leptonyx*) eine hohe akustische Aktivität. Aufgrund ihres schwer zugänglichen Lebensraums und der solitären Lebensweise, stellen hydroakustische Untersuchungen eine wichtige Methode zur Erforschung dieser Spezies und ihrer akustischen Ökologie dar. In der vorliegenden Studie wurde eine Detailanalyse der Seeleoparden-Vokalisation „high double trill“ (HDT) in Hinblick auf geografische Unterschiede zwischen drei antarktischen Standorten (DI Drescher Inlet 72°52' S, 19°26' W, AB Atka Bucht 70°31' S, 8°13' W und DS Davis Sea 65° S, 90° E) durchgeführt. Die Mehrheit der akustischen Parameter des HDT zeigte eine deutliche Ähnlichkeit zwischen den drei Aufnahmestationen. Interessanterweise wichen die HDT Charakteristika der geografisch am nächsten gelegenen Stationen DI und AB am meisten voneinander ab (500 km entlang der Eisgrenze entfernt). HDTs der Aufnahmestation DI zeigten niedrigere Puls-Wiederholungsraten sowie schmalere Frequenzbandbreiten im Vergleich zu den HDT Aufnahmen von AB und DS (4300 km entlang der Eisgrenze entfernt). Eine Hauptkomponentenanalyse bestätigte die Abgrenzung der DI HDTs von denen der anderen beiden Stationen. Die Vokalisationen von AB und DS zeigten teilweise überlappende Cluster und konnten somit nicht klar separiert werden. Wie vorangegangene Studien zeigen, besteht zwischen Seeleoparden-Populationen genügend Austausch um eine genetische Struktur zu verhindern. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Annahme im Hinblick auf die Ähnlichkeit der Vokalisation zwischen den beiden entferntesten Aufnahmestationen. Variation zwischen den HDTs der nahe gelegenen Untersuchungsgebiete weist auf soziale Faktoren wie z.B. Merkmalsverschiebung zur Verringerung interspezifischer Konkurrenz oder standortbedingte Anpassungen hin.

INTRODUCTION

Acoustic signals mediate mate choice, resource defence and species recognition in a broad range of taxa with intraspecific geographic variation in these vocal signals occurring in many species (JANIK 2009, WILKINS et al. 2013). Patterns of geographic variation in communicating systems can provide insight into the process that drives phenotypic evolution (CAMPBELL et al. 2010), occurring for reasons of genetic variation or isolation (founder effect) or evolve due to processes of social learning or an adaptation to environmental conditions (e.g., HUNTER & KREBS 1979, CATCHPOLE & SLATER 1995, VAN PARIJS et al. 2003). Thereby, sexual selection has been proposed as the primary driver of acoustic divergence between populations (WILKINS et al. 2013). Especially bird vocalizations (passerines, psitticines and trochilids) express significant geographic variation, which can largely be attributed to their vocal learning through imitation (PODOS & WARREN 2007). However, the ability to copy complete new sounds is also known in some marine mammals (JANIK & SLATER 1997) and several phocid species exhibit geographic variation in their vocal behaviour, which in most species has been attributed to reproductive isolation of populations (e.g., LE BOEUF & PETERSON 1969, THOMAS & STIRLING 1983, PERRY & TERHUNE 1999, VAN PARIJS et al. 2003, RISCH et al. 2007, TERHUNE et al. 2008). PERRY & TERHUNE (1999) compared harp seal (*Pagophilus groenlandicus*) underwater vocalizations among three North Atlantic breeding locations (Gulf of St. Lawrence: 'Gulf', Front ice east of Labrador: 'Front' and Jan Meyen Island: 'Jan Mayen') and found the call repertoire and proportional call type usage in Gulf and Front (c. 500 km apart) to differ in a similar manner from the more distant Jan Mayen breeding group (c. 3500 km from the Gulf and Front). These findings are supported by tagging studies, which showed that the Gulf and Front herd interbreed and are reproductively isolated from the Jan Mayen herd. In Weddell seals, both the call repertoire and the acoustic characteristics of call types were found to differ on a mesogeographic (600–2000 km) and macrogeographic level (>2000 km), suggesting that breeding groups were unlikely to mix over these distances (ABGRALL et al. 2003, THOMAS & STIRLING 1983). On a microgeographic scale (150 km) no consistent differences existed in call repertoire and call characteristics between breeding groups (PAHL et al. 1997). These findings were also supported by tagging data, indicating that animals exhibited pronounced breeding site fidelity and moved only between nearby breeding locations (STIRLING 1974, PAHL et al. 1997, CAMERON et al. 2007).

¹ Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 26, 27568 Bremerhaven, Germany, Corresponding author <Cornelia.Kreiss@awi.de>

² Oregon State University, Cooperative Institute for Marine Resources Studies, Hatfield Marine Science Center, 2030 Marine Science Drive, Newport, OR 97365, USA.

³ Evolution and Ecology Research Centre, School of Biological, Earth and Environmental Sciences, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia.

Leopard seals (Fig. 1) are known to produce at least 13 different underwater vocalization types, which have been recorded during the breeding season from November to January (STIRLING & SINIFF 1979, THOMAS & GOLLADAY 1995, ROGERS et al. 1996, SOUTHWELL et al. 2003). The leopard seal call repertoire consists of short-distance “local calls” as well as long-distance “broadcast calls” (ROGERS et al. 1996). Broadcast call types that have been recorded from free-ranging leopard seals at various recording sites are: the high, medium and low double trill, medium single trill, hoot, hoot with single trill, and the low ascending and descending trill (STIRLING & SINIFF 1979, THOMAS & GOLLADAY 1995, ROGERS et al. 1996, KLINCK 2008). The HDT is a broadcast call known to be produced by both sexes and by juvenile and adult leopard seals (ROGERS et al. 1996, ROGERS 2007). A previous study showed that the HDT forms a relatively constant portion of the vocal repertoire of leopard seals over the period that they are vocally active (VAN OPZEELAND et al. 2010). HDTs have been found to be produced by leopard seals at all breeding sites studied to date (STIRLING & SINIFF 1979, THOMAS & GOLLADAY 1995, ROGERS et al. 1996, KLINCK 2008). The HDT is composed of two series (~3.5 s duration each) of short duration pulses (ROGERS et al. 1995). In contrast to the low double trill, which forms the largest portion of the leopard seal vocal repertoire (VAN OPZEELAND et al. 2010) the acoustic characteristics of the HDT allow reliable detection of this call type, even at



Fig. 1: Leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) hauled out, Potter Peninsula, King George Island, Antarctica (© H. Bornemann).

Abb. 1: Seeleopard (*Hydrurga leptonyx*) an Land auf Potter-Halbinsel, King George Island, Antarktis (© H. Bornemann).

higher background noise levels (KLINCK 2008), and circum-polar comparisons of this call’s characteristics.

Leopard seals have a circumpolar distribution around the Antarctic continent between 50° S and the continental ice shelf. The main population occurs within the circumpolar

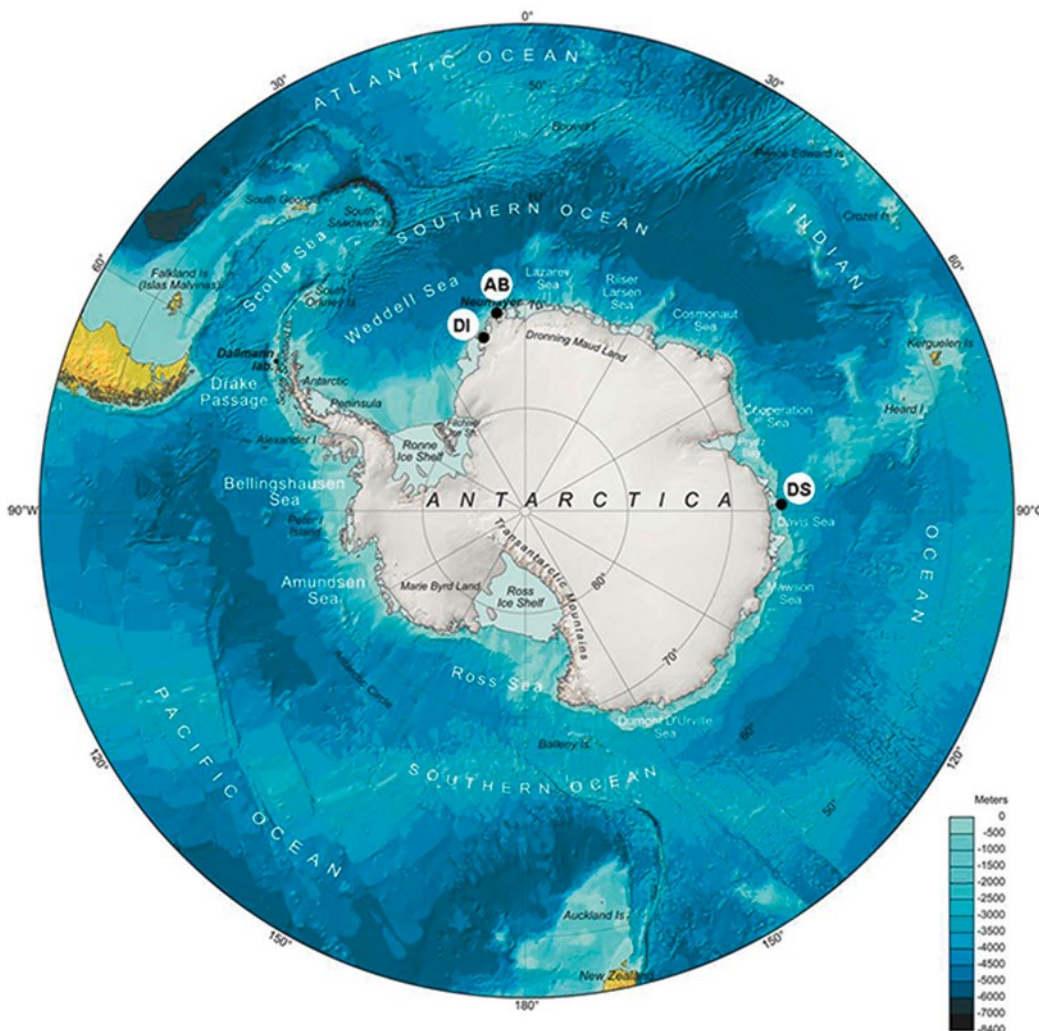


Fig. 2: Map of Antarctica showing the three study sites: DI = Drescher Inlet, AB = Atka Bay, and DS = Davis Sea. Cartography: D. Graffe, Alfred Wegener Institute. Modified from: IOC, IHO and BODC (2003).

Abb. 2: Übersichtskarte der Antarktis mit den drei antarktischen Untersuchungsgebieten: DI = Drescher Inlet, AB = Atka Bucht und DS = Davis Sea. Kartographie: D. Graffe, Alfred Wegener Institut; modifiziert nach: IOC, IHO and BODC (2003).

pack ice, with higher densities near the pack ice (e.g., KING 1983, SINIFF 1991, BESTER et al. 2002). Migration from pack ice to the Subantarctic islands during winter was observed mainly for subadult animals (SINIFF & STONE 1985), while migration patterns of adults remain largely unknown. Hence, the current knowledge on leopard seal breeding populations and their mixing and distribution is sparse. SLIP et al. (1994) and DAVIS et al. (2008) found the genetic diversity in leopard seals, sampled at several circumpolar locations, to be low, suggesting that there is at least sufficient gene flow between breeding groups to prevent the development of genetic differentiation between populations. THOMAS & GOLLADAY (1995) compared leopard seal underwater vocalizations between McMurdo Sound and Palmer Peninsula (separated by c. 5000 km), and found significant differences in call repertoire and call characteristics. They suggested that repertoires are likely to vary slightly between adjacent areas, and be more distinctive between distant regions, reflecting the low probability of encounter between geographically separated breeding groups. Hence, insights into the patterns of geographic variation of vocal behaviour could potentially reveal more about the discreteness of leopard seal groups and the pattern of mixing among populations or breeding groups. In this study we compare leopard seal vocal behaviour between three Antarctic locations, Atka Bay, Drescher Inlet and Davis Sea (Fig. 2), which allows comparisons on two different spatial scales: Atka Bay and Drescher Inlet have an along-shelf-ice distance of approximately 500 km, whereas the distance between Atka Bay and Davis Sea is about 4300 km. Drescher Inlet and Davis Sea have an along-shelf-ice distance of 4800 km.

METHODS

Data collection

Davis Sea data: Acoustic data from Davis Sea (DS, Fig. 3) were collected during an acoustic survey of the RV “Aurora Australis” V4. Recordings were made on 13 to 14 December 1997 (12 hours) on six locations between 62° S, 93° E and 63° S, 90° E. Water depth at these locations ranged from 3600–4000 m and ice cover at these locations varied between 40 % and 80 %. Recordings were made remotely using a sonobuoy (Sparton Electronics AN/SSQ-57A: frequency response 10 Hz - 20 kHz). Hydrophones were lowered to a depth of 18 m below the water surface. Signals were received with a custom-built receiver and recorded onto a Sony Digital Audio Tape recorder (TCD-D8: frequency response 10 Hz–22 kHz).

Drescher Inlet data: During the Drescher Inlet Pilot Study (DIPS) acoustic recordings were made from 17 December 2003 to 2 January 2004 in the Drescher Inlet (DI) (Fig. 4). At that time DI was located at 72°50' S, 19°02' W, forming a 25 km long and up to 2 km wide crack in the Riiser Larsen Ice Shelf. The seabed under the ice shelf extends over 100 km to the nearest grounding line of Dronning Maud Land (SCHENKE et al. 1998). The recording setup was placed on solid sea ice at a distance of about 6 km from the sea ice edge. Three RESON TC4032 hydrophones were deployed through boreholes in a 100 m baseline triangle at 100 m water depth. Effective bandwidth of the recordings is 10 Hz to 24 kHz. Acoustic recordings from 21 to 25 December 2003 (86 hours) were included in this study.



Fig. 3: Leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) hauled out on ice floe within Prydz Bay, Davis Sea, Antarctica (© T. Rogers).

Abb. 3: Seeleopard (*Hydrurga leptonyx*) auf einer Eisscholle in der Prydz-Bucht, Davis Sea, Antarktis (© T. Rogers).



Fig. 4: Mobile ice-camp on Riiser Larsen Ice Shelf for acoustic observation within the Drescher Inlet (72°50' S, 19°02' W), a 25 km long and 2 km wide crack in the Ice Shelf (© J. Plötz).

Abb. 4: Mobiles Eiscamp auf dem Riiser Larsen Schelfeis zur Aufnahme von Unterwasservokalisationen innerhalb des Drescher Inlet (72°50' S, 19°02' W), einem 25 km langen und 2 km breiten Riss im dortigen Schelfeis (© J. Plötz).

Atka Bay (PALAOA) data: Underwater recordings from Atka Bay (AB) were obtained from the PerenniAL Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean (PALAOA; Fig. 5). PALAOA is an autonomous acoustic observatory located at 70°31' S, 8°13' W on the Eckström Ice Shelf, 16 km north of the German Antarctic station Neumayer III. AB is covered with fast-ice from March to January. For this study, recordings were made with a RESON TC4032 hydrophone located underneath the 100 m thick floating Eckström Ice Shelf, 80 m below the ice shelf (BOEBEL et al. 2006, KLINCK 2008). Effective bandwidth of the recordings is 10 Hz to 16 kHz. Previous analysis of the PALAOA data showed a peak in leopard seal calling activity towards the end of December (VAN OPZEELAND et al. 2010), which has also been reported by previous studies (THOMAS & DEMASTER 1982, ROGERS et al. 1996). Acoustic recordings included in this analysis were extracted from the period 21 to 27 December 2006 (156 hours).

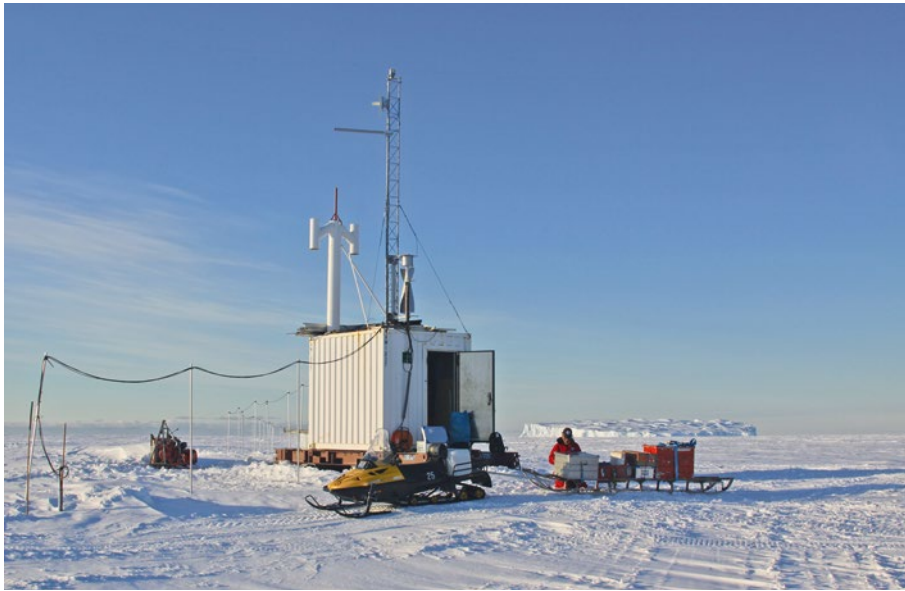


Fig. 5: The autonomous acoustic observatory PALAOA (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean) located at 70°31' S, 8°13' W on the Eckström Ice Shelf, 16 km north of the German Antarctic station Neumayer III; top = View towards North and Southern Ocean with iceberg grounded just beyond the ice shelf break (© C. Kreiß); bottom = View from Atka Bay (© AWI).

Abb. 5: Die autonome akustische Aufnahmestation PALAOA (Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean) auf dem Eckström Schelfeis (70°31' S, 8°13' W), 16 km nördlich der deutschen Forschungsstation Neumayer III; oben = Blick nach Norden auf Südlichem Ozean mit kurz hinter der Schelfeiskante auf Grund gelaufenem Eisberg im Hintergrund (© C. Kreiß); unten = Sicht aus der offenen Atka Bucht (© AWI).



Data analysis

For each location, 150 HDTs (Fig. 6a) with a band-limited (1.5 - 4.5 kHz) signal-to-noise ratio > 10 dB were selected for further analyses. In total 63 acoustic parameters were measured for all 450 HDT samples and investigated for differences. Using 'Osprey', a noise-robust 'Matlab'-based analysis software, 29 generic acoustic parameters were extracted from each of the two parts of the HDT calls. For this analysis the following spectrogram parameters were used: frame size and FFT size 4096 samples (0.085 s), overlap 50 % (0.043 s), and Hamming window, for a spectrum filter bandwidth of 47.6 Hz. A detailed description of how 'Osprey' determines the 'feature box' as well as a detailed description of all 29 parameters and how they are calculated are given by MELLINGER & BRADBURY (2007).

The remaining five acoustic parameters describe the temporal evolution of the pulse repetition rate (PRR). The PRR is the rate of amplitude modulation of the signal, which is reflected in the spectrogram by sidebands of the carrier frequency

(KLINCK et al. 2008). Parameters of the PRR measured were (Fig. 6b): start PRR of call part 1, maximum PRR of call part 1, end PRR of call part 1, start PRR of call part 2, end PRR of call part 2. For a more detailed description of how the PRR parameters were measured, see KLINCK et al. (2008). To visualize the distribution of each acoustic parameter, we used the 'Matlab' Statistics Toolbox to produce estimates of 'probability density functions' (PDFs) of all parameters for each geographic location. First, the parameter space (min to max) was linearly interpolated to 100 steps for each location. Second, PDFs were calculated using the 'Matlab' function 'ksdensity', employing a normal kernel distribution of optimized width (default settings, see 'Matlab' function description). Figures 7a-d exemplify the results for the parameters call duration, bandwidth, pulse repetition rate and signal-to-noise ratio of call part 1. The full set of parameter PDFs were screened for parameters irrelevant to the further analysis on spatial variability. Parameters without notable spatial dependency and those defining the 'Osprey' analysis window were excluded from the subsequent analysis. All remaining acoustic

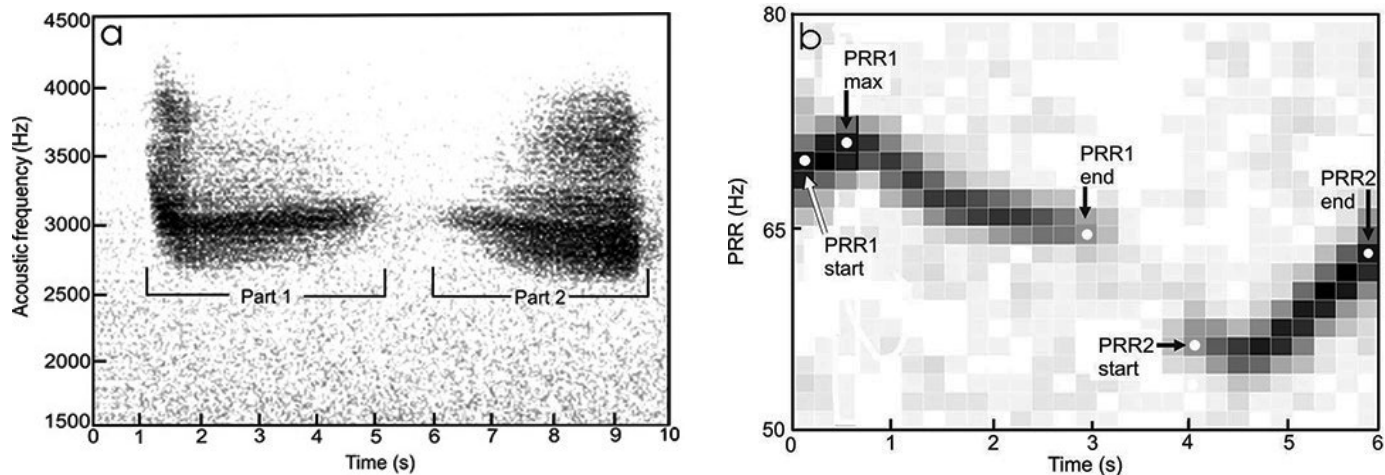


Fig. 6: (a) = Spectrogram of the high double trill; (b) = Spectrogram of the high double trill modulation frequencies: PRR1 start = PRR start of call part 1; PRR1 max = PRR maximum of call part 1; PRR1 end = PRR end of call part 1; PRR2 start = PRR start of call part 2; PRR2 end = PRR end of call part 2.

Abb. 6: (a) Spektrogramm des „high double trill“; (b) = Spektrogramm der Modulationsfrequenzen des „high double trill“: PRR1 start = PRR zu Beginn von Vokalisationsteil 1; PRR1 max = maximale PRR von Vokalisationsteil 1, PRR1 end = PRR zum Ende von Vokalisationsteil 1; PRR2 start = PRR zu Beginn von Vokalisationsteil 2; PRR2 end = PRR zum Ende von Vokalisationsteil 2.

parameters were included in a Principal Component Analysis (PCA) to explore acoustic separability of HDTs according to recording location.

RESULTS

The mean duration of call part 1 was 1.10 ± 0.53 s (mean \pm standard deviation) for DS and 1.22 ± 0.61 s for AB, while the recordings from DI showed an intermediate mean duration of 1.17 ± 0.48 s (Tab. 1). Call part 2 showed a corresponding pattern in mean duration for the three study sites, but had generally shorter durations compared to call part 1.

Kernel density estimations for the durations of leopard seal HDTs at the three study sites show largely overlapping distributions for call part 1 (Fig. 7a). The curves are positively skewed, showing a peak for short call durations and an elongated tail towards longer call durations.

For lower and upper frequencies of the HDT, calls from DI had substantially higher values for lower frequencies and lower values in upper frequencies compared to the other two sites. The mean lower frequency of call part 1 for DI was approximately 100 Hz higher compared to AB and 80 Hz higher compared to DS (Tab. 1). The mean for upper frequencies of call part 1 was approximately 600 Hz lower for high double trills recorded at DI compared to DS and more than 100 Hz lower as for HDTs recorded at AB. The resulting mean bandwidth of the calls at DI was substantially narrower than those of HDTs recorded at AB and DS (Tab. 1). However, as the SNRs were lowest at DI compared to the other study sites (Fig. 7d, Tab. 1), observed bandwidths might also be influenced by local SNRs, rather than being signal specific.

Interestingly, kernel density estimates revealed bimodal distributions of the bandwidths of call part 1 for AB (green, Fig. 7b) and DS (blue), overlapping partly with DI (red). The results for call part 2 showed a corresponding pattern for the means of lower and upper frequencies between the three locations,

though with smaller differences between locations than call part 1.

All PRR values measured for HDTs recorded at DI (Fig. 7c, red) were lower than PRR values of calls recorded at AB (green) and DS (blue), respectively (Tab. 1). The distributions of the five pulse repetition rate parameters clearly separated DI from AB and DS calls. Calls from DI generally tended towards lower PRR which was most distinctive in the PRR start of call part 1 (Fig. 7c). PRR values measured for call part 2 showed a similar trend as call part 1, although differences between DI and the other two locations were less pronounced.

To explore if calls could be separated according to recording location, we performed a Principal Component Analysis (PCA). As described previously, only a subset of the relevant acoustic parameters was included in the PCA. These were all five PRR parameters, the lower and the upper frequency and the duration of call part 1 and 2. The first two principal components of the PCA explained 67 % of the variance (Tab. 2) and revealed a clear separation of the HDTs originating from DI from those recorded at the other two study sites (Fig. 8). Component 1 represents mainly the contribution of the PRR parameters, whereas component 2 reflects the importance of the upper frequency of both call parts in distinguishing locations (Tab. 1).

DISCUSSION

Variation between recording sites

The results of our study reveal notable differences in the acoustic features of leopard seal HDTs recorded at the three different sites. The PCA clearly separated Drescher Inlet HDTs from those of Atka Bay and Davis Sea, suggesting that local environmental conditions and social factors are more influential on HDT call characteristics than large scale geographical separation. Davis Sea and Atka Bay HDTs were inseparable with regard to the first PCA component, yet differed at least to some extent with regard to the second.

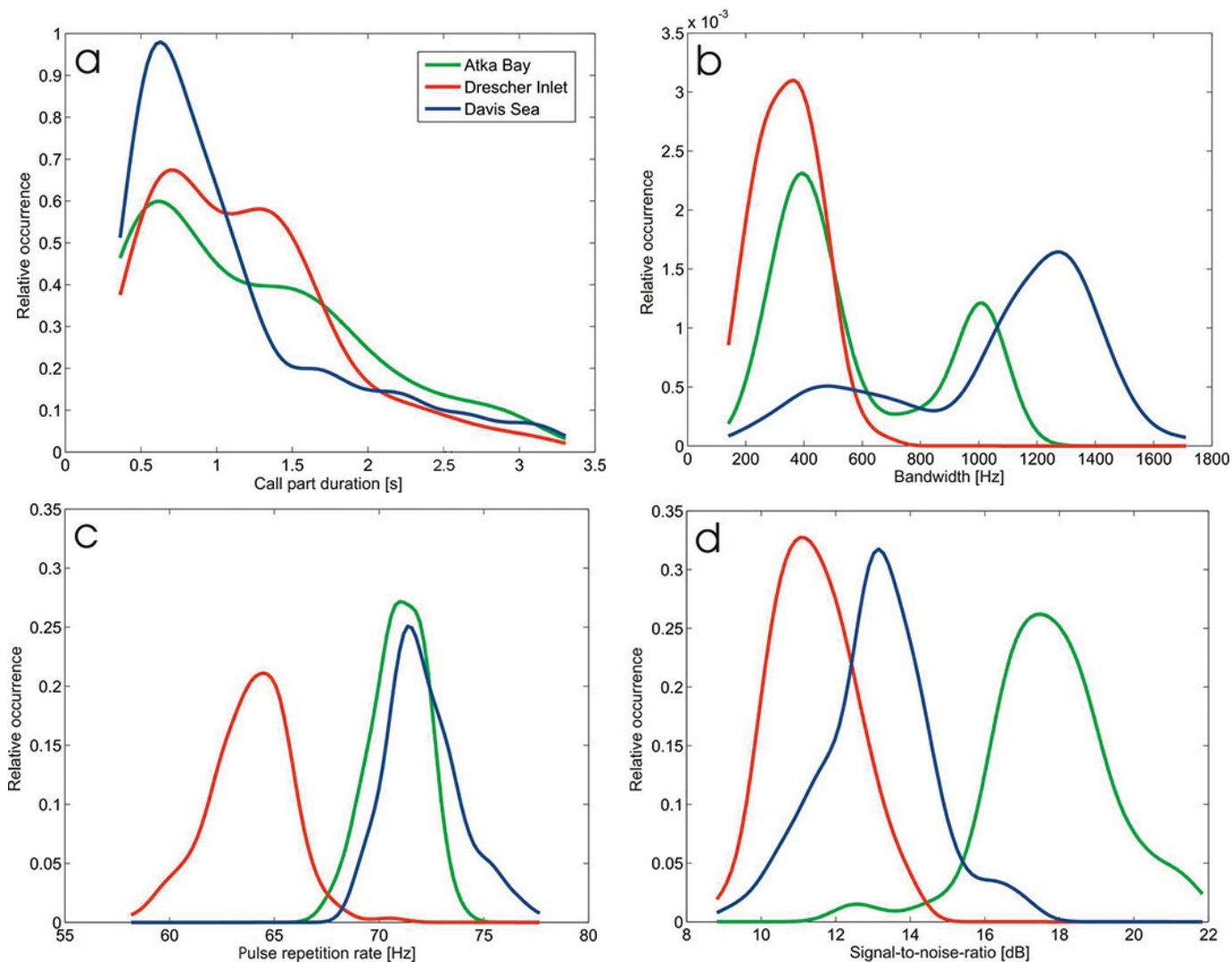


Fig. 7: Kernel density estimations for (a) = duration, (b) = bandwidth, (c) = pulse repetition rate, and (d) = signal-to-noise ratio of call part 1 of high double trills recorded at Atka Bay = green, Drescher Inlet = red, and Davis Sea = blue.

Abb. 7: Kerndichteschätzung der Dauer = (a), Frequenzbandbreite = (b), Puls-Repetitionsrate = (c) und des Signal-zu-Rausch Verhältnisses = (d) von Vokalisationsteil 1 des „high double trill“, aufgenommen in der Atka Bucht = grün, dem Drescher Inlet = rot und der Davis Sea = blau.

For individual call characteristics, differences were more pronounced between the closest sites (DI *versus* AB, 500 km apart) and the least, between the most disparate sites (AB and DS, 4300 km). The bandwidth and pulse repetition rates of calls recorded at DI differed from calls recorded at AB and DS, whereas calls recorded at the latter two locations were not clearly separable according to recording site. However, overall the observed pattern reflects a remarkable similarity in the acoustic characteristics of leopard seal HDTs across the three recording locations. While other species, such as harp and Weddell seals, exhibit considerable variation in their vocal behaviour between breeding groups on varying spatial scales (e.g., PERRY & TERHUNE 1999, ABGRALL et al. 2003), our measurements show that leopard seal HDTs exhibit substantial acoustic similarity up to a spatial scale of 4300 km. All studies (this and those quoted above) analysed acoustic data recorded during each species respective breeding season, implying that calls might be used for mate attraction.

However, it must be taken into account that the present study is based on only one call type, whereas variation in

harp and Weddell seal vocalizations was based on the entire vocal repertoire. Nevertheless, our results indicate that there is mesogeographic (500 km) rather than macrogeographic (4300 km) variation for the HDT leopard seal vocalizations. In contrast, THOMAS & GOLLADAY (1995) suggested leopard seal vocalizations to vary clinally. For a further understanding of these patterns genetic and tagging data have to be considered. DAVIS et al. (2008) found no genetic differentiation between leopard seal populations across the Antarctic and suggested that there is sufficient gene flow between breeding groups to prevent development of population structure. Further information on movement patterns obtained from tagged leopard seals does not exclude exchange of or contact between individuals from different breeding locations, although the range of movement varies largely between individuals (ROGERS et al. 2005, NORDØY & BLIX 2009).

Therefore, acoustic similarity found in our study likely mirrors exchange or at least contact between individuals from the three different recording locations and suggests that subtle site differences are attributable to other factors than geogra-

	AB		DI		DS	
	Mean	Std. deviation	Mean	Std. deviation	Mean	Std. deviation
Lower frequency part 1 [Hz]	2807.08	41.58	2919.11	34.92	2836.89	33.85
Upper frequency part 1 [Hz]	3391.99	264.15	3264.62	74.70	3889.36	301.26
Bandwidth part 1 [Hz]	584.91	252.95	345.51	88.76	1052.47	291.21
Lower frequency part 2 [Hz]	2741.7	35.0	2849.7	42.5	2794.4	30.5
Upper frequency part 2 [Hz]	3220.9	196.9	3192.0	75.8	3557.1	324.5
Duration part 1 [s]	1.22	0.61	1.17	0.48	1.10	0.53
Duration part 2 [s]	1.03	0.20	1.01	0.23	0.93	0.25
Signal-to-noise ratio part 2 [Hz]	17.8	1.2	11.4	0.9	13.1	1.1
PRR start part 1 [Hz]	70.92	0.98	63.84	1.43	72.15	1.38
PRR max. part 1 [Hz]	74.93	0.65	68.55	0.89	76.00	1.40
PRR end part 1 [Hz]	70.53	1.63	62.82	1.66	72.04	2.12
PRR start part 2 [Hz]	64.45	2.66	57.21	2.01	63.68	2.75
PRR end part 2 [Hz]	72.25	0.88	66.68	1.40	70.37	1.40

Tab. 1: Descriptive statistics of selected acoustic parameters measured for leopard seal high double trills (HDT) recorded at Atka Bay (AB), Drescher Inlet (DI) and Davis Sea (DS); n = 150 for each location.

Tab. 1: Beschreibende Statistik ausgewählter akustischer Messparameter des Seeleoparden „high double trill“ (HDT), aufgenommen in der Atka Bucht (AB), dem Drescher Inlet (DI) und der Davis Sea (DS), n = 150 für jede Aufnahmestation.

	PC1 [49 %]	PC2 [18 %]	PC3 [11 %]
PRR start part 1	0.40	-0.01	0.14
PRR max part 1	0.40	0.00	0.17
PRR end part 1	0.40	0.13	-0.08
PRR start part 2	0.37	0.00	-0.32
PRR end part 2	0.36	-0.20	-0.06
Lower frequency part 1	-0.32	0.32	0.02
Upper frequency part 1	0.20	0.49	0.33
Duration part 1	-0.07	-0.40	0.56
Lower frequency part 2	-0.28	0.35	-0.11
Upper frequency part 2	0.14	0.53	0.38
Duration part 2	-0.10	0.21	0.50

Tab. 2: Component loadings from Principal Component Analysis parameters measured for HDTs recorded at Atka Bay, Drescher Inlet and Davis Sea; n = 150 for each location.

Tab. 2: Faktorladungen der Komponenten aus der Hauptkomponentenanalyse der HDTs, aufgenommen in der Atka Bucht, dem Drescher Inlet und der Davis Sea; n = 150 für jede Aufnahmestation.

phic isolation of populations. Leopard seals vocalizations revealing variation between locations 5000 km apart (THOMAS & GOLLADAY 1995) might also be explained by factors other than geographic isolation. While in non-migratory species or species that show site fidelity, geographic variation in vocal behaviour in some cases reflects distinct breeding populations or subpopulations (e.g., NELSON et al. 2001, STAFFORD et al. 2001, ABGRALL et al. 2003) for species who display contact

between different breeding groups acoustic and population mixing behaviour should be investigated.

Below we further discuss various aspects that might explain the observed differences in call characteristics between DI versus AB and DS, recognizing that these might also act in concert.

Differences in local group composition and temporal variation

In our study there was no explicit information on the number of individuals present and likely only a relatively small number of individuals may have been sampled acoustically. However, overlapping calls in the DS data set suggest that more than one animal was sampled, and when taking the leopard seals' territorial behaviour into account it is likely that multiple animals were recorded at the spatially separated six recording locations in DS. Referring the high call frequency of 8.9 calls per minute at AB and 5.6 calls per minute at DI (KLINCK 2008) to earlier reported mean calling rates for individual male leopard seals (ROGERS 2007) let assume that at least two animals were recorded at these two sites.

Adult male leopard seals within a region show only little difference between acoustic characteristics for the HDT call with no detectable clustering on individual level (ROGERS & CATO 2002). Therefore, vocalizations of even few individuals are likely to represent the acoustic characteristics of a local population. There was also no information on the sex or age class of callers, consequently it is not known to what extent differences in group composition between the three localities may have influenced the results. The acoustic characteristics of the HDT are known to differ substantially between leopard

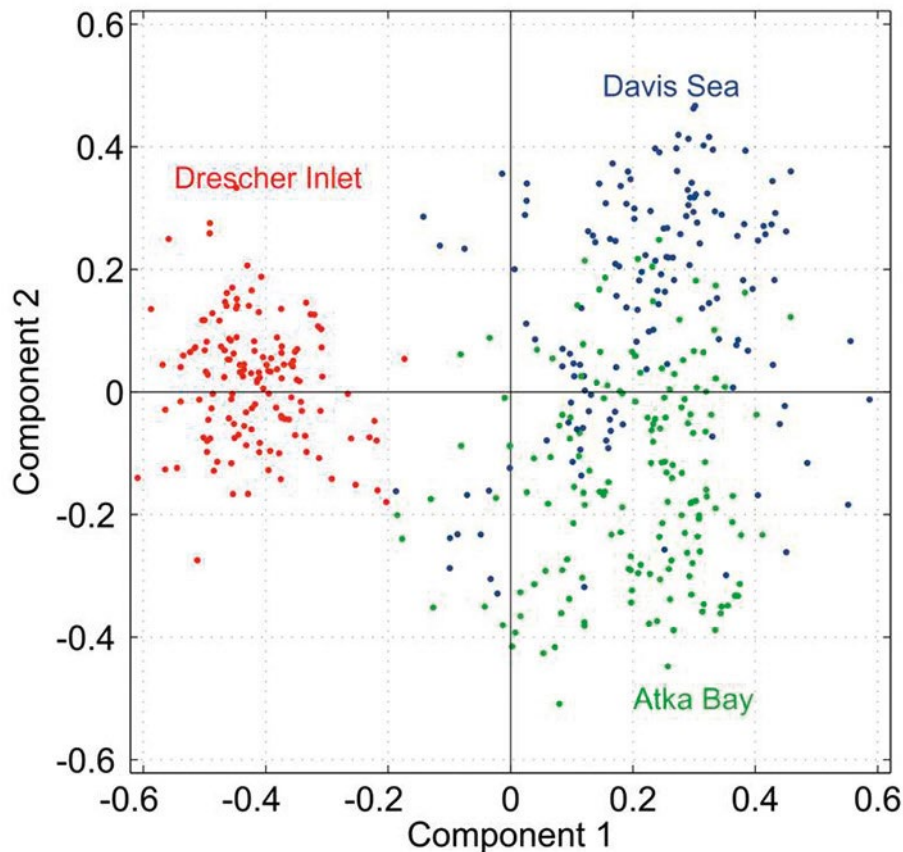


Fig. 8: Scatterplot of the first two principal components of a PCA applied on all pulse repetition rate parameters, upper and lower frequency and duration of both call parts extracted from 450 HDTs recorded at Drescher Inlet (red), Atka Bay (blue) and Davis Sea (green).

Abb. 8: Streudiagramm der ersten beiden Hauptkomponenten der Hauptkomponentenanalyse, angewandt auf alle Parameter der Puls-Repetitionsrate, der obersten und untersten Frequenz, sowie die Dauer beider Vokalisationsteile. Diese wurden aus 450 HDTs extrahiert, aufgenommen in der Atka Bucht (grün), dem Drescher Inlet (rot) und der Davis Sea (blau).

seals of different age classes (ROGERS et al. 1996, ROGERS 2007). In our data, HDT bandwidths of calls recorded at AB and DS were found to have a bimodal distribution, possibly reflecting two ‘types’ of HDTs produced by different age classes and/or sexes. (Explaining this bimodality by varying distances of animals to the hydrophone, and hence varying SNRs, appears unlikely, as the bimodality observed in the bandwidths is not reflected in the SNR, cf. Figs. 7b & 7d). In addition, the absence of this bimodal pattern and partial overlap of distributions of AB and DS with DI suggests calls (and potentially group position) are more homogeneous at the latter location. Considering that this pattern was not found for pulse repetition rate this might be a more robust parameter being independent of age-related differences. It cannot be excluded that the differences in leopard seal call repertoire and call characteristics between Palmer Peninsula and McMurdo Sound reported by THOMAS & GOLLADAY (1995) can be attributed to differences in local group composition, given that in their study no information on the individuals that produced the calls was collected either.

The lack of information on the age and sex of the individuals that produced the HDTs in our study is an aspect of our data, which we share with many other studies investigating the underwater vocalizations of marine mammals (e.g., PERRY & TERHUNE 1999, STAFFORD et al. 2001, ABGRALL et al. 2003, ROSSI-SANTOS & PODOS 2006, MAY-COLLADO & WARTZOK 2008). Although in many cases such information can simply not be collected due to the fact that callers are submerged most of the time and/out of the sighting range, awareness of this potential bias can overcome over-interpretation of site variation in vocalizations. Particularly in territorial species

(i.e., species that defend geographic underwater areas against rival individuals), which likely also includes the leopard seal, acoustic sampling should be conducted with caution e.g., by recording at several locations to ensure that calls of a sufficiently large number of individuals are sampled.

Despite vocal signals possibly varying on a geographic scale, differences might also be due to temporal variation. In the present study especially the temporal difference of nine years between vocal signals recorded at DS (1997) and AB (2006) might have a significant effect of the results. However these two sites showed the highest similarity within the three study locations, while acoustic data from DI recorded in between (2003) revealed diverging call characteristics mostly from those of AB. We conclude that at least no linear temporal variation was present in our data.

Local environmental conditions

Recordings from DI featured lowest signal-to-noise ratio of all three sites. Leopard seals use their calls to attract mating partners over relatively long distances (ROGERS et al. 1996) and might therefore adapt their calls in response to local ambient noise conditions to increase calling range. Calls recorded at DI had a substantially narrower bandwidth compared to the other two study sites. Narrowing the bandwidth of a call and concentrating the acoustic energy of the call in a part of the spectrum with little environmental noise is a strategy in various animal taxa to increase the range of communication in noisy environments (MORTON 1975, RYAN & BRENOWITZ 1985, BERTELLI & TUBARO 2002). Pulse repetition rate also differed between DI

versus AB and DS, which might reflect a similar adaptation to local ambient noise conditions. The fact that signal-to-noise ratio was lowest for recordings originating from DI (Tab. 1) supports this suggestion, unless this proves to correlate with reasons other than higher background noise (i.e., more distant or quieter animals than recorded at the other stations). Several studies have found pulse repetition rate to be the acoustic variable that differs between groups or populations of animals in a wide range of species, although the reason for these differences remains unclear (NEVO et al. 1987, ROTENBERRY et al. 1996, RANKIN & BARLOW 2005).

Call characteristics transporting phenotypic quality of signaler

The results for HDT duration at all three study sites showed similar distributions for the majority of HDTs. However, at all sites the distribution of the duration of call part 1 was skewed towards a comparatively large proportion of calls having call parts that were longer than the mode. ROGERS (2003) noted that leopard seal vocalizations are potentially energetically very costly calls for the animals to produce and might therefore function to signal fitness to potential mating partners or a competitive response to other vocalizing individuals. In many acoustic species, greater signal energy is typically manifested as greater call intensity, higher repeat rate, or longer call duration (e.g., KLUMP & GERHARDT 1987, WELCH et al. 1998, GREENFIELD 2002). Such signals have in other species been argued to reliably convey information about the signaler's phenotypic or genetic quality because of the energetic costs of increased signal production (RYAN & KEDDY-HECTOR 1992, BRANDT & GREENFIELD 2004, GREENFIELD & RODRIGUEZ 2004). Weddell seals have also been found to lengthen many of their underwater calls in response to overlapping vocalizations of conspecifics, thereby increasing the detectability of their calls and potentially indicating fitness of the calling individual (TERHUNE et al. 1994). In leopard seals, lengthening of broadcast calls, for example of HDT, may serve a similar function, although the number of calls with increased duration might be more restricted by the high energetic costs associated with the production of these calls.

CONCLUSION

In conclusion, our study has demonstrated that leopard seal HDTs exhibit large-scale similarity across recording locations and that acoustic similarity is not related to geographic distance. Furthermore, our data suggest that a combination of acoustic parameters (i.e., PRR, upper frequency and duration) rather than a single parameter are useful to discriminate leopard seal calls according to recording location. We suggest that differences in local social factors, such as differences in group composition or local abiotic factors might explain these observed differences between recording locations.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Harold Figueroa for constructive discussions during the preparatory phase of the manuscript. The installation and operation of PALAOA would not have been possible without

continuous support of AWI logistics, FIELAX and the overwintering teams. Partial funding came from award #N00244-07-1-0005 from the U.S. Naval Postgraduate School. This is NOAA-PMEL contribution number 3603. Thanks to the crew and staff of the Australian Antarctic Division that assisted with the acoustic surveys from the "Aurora Borealis" in the Davis Sea with special mention to the ship's captains, Murray Elis and Peter Pearson. Gratefully acknowledged are the three referees for their constructive comments on a previous version of this article.

References

- Abgrall, P., Terhune J.M. & Burton, H. (2003): Variation of Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) underwater vocalizations over mesogeographic ranges.- *Aquat. Mamm.* 29: 268-277.
- Bertelli, S. & Tubaro, P.L. (2002): Body mass and habitat correlates of song structure in a primitive group of birds.- *Biol. J. Linnean Soc.* 77: 423-430.
- Bester, M.N. & Roux J.-P. (1986): Summer presence of leopard seals *Hydrurga leptonyx* at the Courbet Peninsula, Iles Kerguelen.- *South Afr. J. Antarct. Res.* 16: 29-32.
- Boebel, O., Kindermann, L., Klinck, H., Bornemann, H., Plötz, J., Steinhage, D., Riedel, S. & Burkhardt, E. (2006): Acoustic Observatory Provides Real-Time Underwater Sounds from the Antarctic Ocean.- *EOS* 87: 361-372.
- Brandt, L.S.E. & Greenfield, M.D. (2004): Condition-dependent traits and the capture of genetic variance in male advertisement song.- *J. Evol. Biol.* 17: 821-828.
- Cameron, M.F., Siniff, D.B., Proffitt, K.M. & Garrot, R.A. (2007): Site fidelity of Weddell seals: the effects of sex and age.- *Antarct. Sci.* 19: 149-155.
- Campbell, P., Pasch, B., Pino, J.L., Crino, O.L., Phillips, M. & Phelps, S.M. (2010): Geographic variation in the songs of neotropical singing mice: testing the relative importance of drift and local adaptation.- *Evol.* 64: 1955-1972.
- Catchpole, C.K. & Slater, P.J.B. (eds.) (1995): Bird song: Biological Themes and Variations.- Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Davis, C.S., Stirling, I., Strobeck, C. & Coltmann, D.W. (2008): Population structure of ice-breeding seals.- *Mol. Ecol.* 17: 3078-3094.
- Greenfield, M.D. (ed.) (2002): Signalers and receivers: mechanisms and evolution of arthropod communication.- Oxford, UK, Oxford University Press, 1-432.
- Greenfield, M.D. & Rodriguez, R.L. (2004): Genotype-environment interactions and the reliability of mating signals.- *Anim. Behav.* 68: 1461-1468.
- Hunter, M.L. & Krebs, J.R. (1979): Geographical variation in the song of the great tit (*Parus major*) in relation to ecological factors.- *J. Anim. Ecol.* 48: 759-785.
- Janik, V.M. (2009): Acoustic communication in delphinids.- In: M. Naguib, V.M. Janik, N. Clayton & K. Zuberbühler (eds.): *Advances in the Study of Behavior*, Academic Press 40: 123-148.
- Janik, V.M. & Slater, P.J.B. (1997): Vocal learning in mammals.- In: P.J.B. Slater, J.S. Rosenblatt, C.T. Snowdon & K. Milinski (eds.), *Advances in the study of Behavior*, Academic Press, Vol. 26: 59-99.
- King, J.E. (ed., 1983): *Seals of the world*, 2nd edition, Cornell University Press, Ithaca, 1-240.
- Klinck, H. (2008): Automated passive acoustic detection, localization and identification of leopard seals: from hydro-acoustic technology to leopard seal ecology.- *Rep. Pol. Mar. Res.* 58: 1-154.
- Klinck, H., Kindermann, L. & Boebel, O. (2008): Detection of leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) vocalizations using the Envelope Spectrogram Technique (tEST) in combination with a Hidden Markov Model.- *Can. Acoust.* 36: 118-124.
- Klump, G.M. & Gerhardt, H.C. (1987): Use of non-arbitrary acoustic criteria in mate choice by female grey tree frogs.- *Nature* 326: 286-288.
- LeBoeuf, B.J. & Peterson, R.S. (1969): Dialects in elephant seals.- *Science* 166: 1654-1656.
- May-Collado, L.J. & Wartzok, D. (2008): A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistle variation.- *J. Mammal.* 89: 1229-1240.
- Mellinger, D.K. & Bradbury, J.W. (2007): Acoustic measurement of marine mammal sounds in noisy environments.- *Proc. 2nd Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results*, Heraklion, Greece.
- Morton, E.S. (1975): Ecological Sources of Selection on Avian Sounds.- *Amer. Nat.* 109: 17-34.
- Nelson, D.A., Khanna, H. & Marler, P. (2001): Learning by instruction or selection: Implications for patterns of geographic variation in bird song.- *Behav.* 138: 1137-1160.

- Nevo, E., Heth, G., Beiles, A. & Frankenberg, E. (1987): Geographic dialects in blind mole rats: role of vocal communication in active speciation.- Proc. Nat. Ac. Sci. USA 84: 3312-3315.
- Nordøy, E.S. & Blix, A.S. (2009): Movements and dive behaviour of two leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) off Queen Maud Land, Antarctica.- Pol. Biol. 32: 263-270.
- Pahl, B.C., Terhune, J.M. & Burton, H.R. (1997): Repertoire and Geographic Variation in Underwater Vocalizations of Weddell Seals (*Leptonychotes weddellii*, Pinnipedia: Phocidae) at the Vestfold Hills, Antarctica.- Austral. J. Zool. 45: 171-187.
- Perry, E.A. & Terhune, J.M. (1999). Variation in harp seal (*Pagophilus groenlandicus*) underwater vocalizations among three breeding locations.- J. Zool. 45: 171-178.
- Podos, J. & Warren, P.S. (2007): The evolution of geographic variation in birdsong.- In: J.H. BROCKMANN, T.J. ROPER, M. NAGUIB, K.E. WYNNE-EDWARDS, C. BARNARD, J. MITANI (eds.), Advances in the Study of Behavior vol. 37: 403-458.
- Risch, D., Clark, C.W., Cokeron, P.J., Elepfandt, A., Kovacs, K.M., Lydersen, C. & Van Parijs, S.M. (2007): Vocalizations of male bearded seals, *Erignathus barbatus*: classification and geographical variation.- Anim. Behav. 73: 747-762.
- Rogers, T.L. (2003): Factors influencing the acoustic behaviour of male phocid seals.- Aquat. Mamm. 29: 247-260.
- Rogers, T.L. (2007): Age-related differences in the acoustic characteristics of male leopard seals, *Hydrurga leptonyx*.- J. Acoust. Soc. Amer. 122: 596-605.
- Rogers, T. & Cato, D.H. (2002): Individual variation in the acoustic behaviour of adult male leopard seals, *Hydrurga leptonyx*: implications for geographic variation studies.- Behav. 139: 1267-1286.
- Rogers, T.L., Cato, D.H. & Bryden, M.M. (1995): Underwater vocal repertoire of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) in Prydz Bay, Antarctica.- In: R.A. KASTELEIN, J.A. THOMAS, P.E. NACHTIGALL (eds.), Sensory Systems of Aquatic Mammals, De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands: 223-236.
- Rogers, T.L., Cato, D.H., & Bryden, M.M. (1996): Behavioural significance of underwater vocalizations of captive leopard seals, *Hydrurga leptonyx*.- Mar. Mamm. Sci. 12: 414-427.
- Rogers, T.L., Hogg, C.J. & Irvine, A. (2005): Spatial movement of adult leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) in Prydz Bay, Eastern Antarctica.- Pol. Biol. 28: 456-463.
- Rossi-Santos, M.R. & Podos, J. (2006): Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*.- Behav. 143: 347-364.
- Rankin, S. & Bartlow, J. (2005): Source of the North Pacific "boing" sound attributed to minke whales.- J. Acoustic. Soc. Amer. 118: 3346-3351.
- Rotenberry, J.T., Zuk, M., Simmons, L.W. & Hayes C. (1996): Phonotactic parasitoids and cricket song structure: an evaluation of alternative hypotheses.- Evol. Ecol. 10: 233-243.
- Ryan, M.J. & Brenowitz, E.A. (1985): The role of bodysize, phylogeny and ambient noise in the evolution of bird song.- Amer. Nat. 126: 87-100.
- Ryan, M.J. & Keddy-Hector, A. (1992): Directional patterns of female mate choice and the role of sensory biases.- Amer. Nat. 139 (suppl.): S4-S35.
- Schenke H.W., Dijkstra, S., Niederjasper, F., Hinze, H., Hoppmann, B. & Schöne, T. (1998): The new bathymetric charts of the Weddell Sea: AWI BCWS.- In: S.S. JACOBS & R.F. WEISS (eds.): Ocean, ice, and atmosphere: interactions at the Antarctic continental margin.- AGU Antarctic Res. Ser. 75: 371-380.
- Siniff, D.B. & Stone, S. (1985): The role of the Leopard Seal in the Tropho-Dynamics of the Antarctic Marine Ecosystem.- In: W.R. SIEGFRIED, P.R. CONDY & R.M. LAWS (eds.): Antarctic Nutrient Cycles and Food webs, Springer Verlag, 555-559.
- Siniff, D.B. (1991): An overview of the Ecology of Antarctic seals.- Amer. Zool. 31: 143-149.
- Slip, D.J., Green, K., Burton, H.R., Mitchell, P.J. & Adams, M. (1994): Allozyme variation in the leopard seal, *Hydrurga leptonyx*.- J. Aust. Mammal. Soc. 17: 1-5.
- Southwell, C., Kerry, K., Ensor, P., Woehler, E.J. & Rogers, T. (2003): The timing of pupping by pack-ice seals in East Antarctica.- Pol. Biol. 26: 648-652.
- Stafford, K.M., Nieuwirk, S.L. & Fox, C.G. (2001): Geographic and seasonal variation of blue whale calls in the North Pacific.- J. Cet. Res. Manage. 3: 65-76.
- Stirling, I. (1974): Movements of Weddell seals in McMurdo Sound Antarctica.- Aus. J. Zool. 22: 39-43.
- Stirling, I. & Siniff, D.B. (1979). Underwater vocalizations of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) and crabeater seals (*Lobodon carcinophagus*) near the South Shetland Islands, Antarctica.- Can. J. Zool. 57: 1244-1248.
- Terhune, J.M., Grandmaitre, N.C., Burton, H.R. & Green, K. (1994): Weddell seals lengthen many underwater calls in response to conspecific vocalizations.- Bioacoust. 11: 211-222.
- Terhune, J.M., Quin, D., Dell'Apa, A., Mirhaj, M., Plötz, J., Kindermann, L. & Bornemann, H. (2008): Geographic variations in underwater male Weddell seal Trills suggest breeding area fidelity.- Pol. Biol. 31: 671-680.
- Thomas, J.A., & DeMaster, D.P. (1982): An acoustic technique for determining diurnal activities in leopard (*Hydrurga leptonyx*) and crabeater (*Lobodon carcinophagus*) seal.- Can. J. Zool. 60: 2028-2031.
- Thomas, J.A. & Stirling, I. (1983). Geographic variation in the underwater vocalizations of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*) from Palmer Peninsula and McMurdo Sound, Antarctica.- Can. J. Zool. 61: 2203-2211.
- Thomas, J.A. & Golladay, C.L. (1995): Geographic variation in leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) underwater vocalizations.- In: R.A. KASTELEIN, J.A. THOMAS & P.E. NACHTIGALL (eds.): Sensory Systems of Aquatic Mammals, De Spil Publishers, 201-222.
- Van Opzeeland, I.C., Van Parijs, S.M., Bornemann, H., Frickenhaus, S., Kindermann, L., Klinck, H., Ploetz, J. & Boebel, O. (2010): Acoustic ecology of Antarctic pinnipeds.- Mar. Ecol. Prog. Ser. 414: 267-291.
- Van Parijs, S.M., Cokeron, P.J., Harvey, J. Hayes, S.A., Mellinger, D.K., Rouget, P.A., Thompson, P.M., Wahlberg, M. & Kovacs, K.M. (2003): Patterns in the vocalizations of male harbour seals.- J. Acoust. Soc. Amer. 113: 3403-3410.
- Wilkins, M.R., Seddon, N. & Safran, R.J. (2013). Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences.- Trends Ecol. Evol. 28: 156-166.
- Welch, A.M., Semlitsch, R.D. & Gerhardt, H.C. (1998): Call duration as an indicator of genetic quality in male gray tree frogs.- Science 280, 1928-1930.

Electrophoretic Evaluation of Initial Humification in Organic Horizons of Soils of Western Antarctica

Evgeny Abakumov^{1*}, Oleg Trubetskoj², Dmitri Demin² and Olga Trubetskaya³

Abstract: Humification aspects were studied for selected soils of the Antarctic with a special reference for electrophoretic indexes of organic matter transformation. Humus formation and humification usually appears in soils of the Antarctic under mono-species plant communities, and this provides an opportunity to investigate the humification process in relatively simple models of pedogenesis. Organic horizons and organo-mineral solum horizons below graminoid, lichen, or moss vegetation or guano material were studied on the Sub-Antarctic King George Island as well as in several soils on the continental Antarctic. Electrophoresis was used for the assessment of the degree of soil organic matter transformation in a soil horizon sequence: from initial, weakly transformed organic matter to partially decomposed or humified ones. The complex investigation of the soil profiles' morphology, carbon and nitrogen contents and their ratio, humic acids (HAs) and fulvic acids (FAs) portions with the relation to optical indexes and electrophoretic properties show that there is current transformation and humification of soil organic matter (SOM) in the studied soils. There are some common tendencies in changes of soil properties with increasing soil depth: decreasing of C/N ratios due to SOM mineralization and transformation, formation of the fulvic type of humus instead of accumulation of HAs, decline of the E465/E656 absorbance ratio of humic substances in correspondence with increase of the absorbance coefficient (A465) of humic substances and strong differentiation of electrophoretic HAs. The most humified organic matter was typical for the organo-mineral A humus horizons (where a lesser portion of peptides and an increased portion of low molecular size (L-MS) fraction resulted from redistribution of organic fractions in soil profile). The obtained data supports evidence of initial humification in weakly developed soils of the Sub-Antarctic and Antarctic. The portions of high molecular (H-MS) and medium molecular size (M-MS) organic compounds were typically higher in the less decomposed and humified Oi and Oe horizons than in the humified Oh and A horizons.

Zusammenfassung: Für ausgewählte Böden der Antarktis wurden die Prozesse der Humifizierung mit besonderem Fokus auf den elektrophoretischen Indizes der Transformation organischer Substanz untersucht. Humusbildung und Humifizierung finden gewöhnlich in Böden der Antarktis unter monospezifischen Ökosystemen statt. Daher ergibt sich die Möglichkeit die Humifizierung in relativ einfachen Pedogenese-Modellen zu untersuchen. Organische Schichten und organo-mineralische Solum-Horizonte wurden unter Gräsern, Flechten, Moosen und Guano-Materialien auf der subantarktischen König-Georg-Insel sowie in mehreren Böden der kontinentalen Antarktis untersucht. Elektrophorese wurde für die Bewertung des Zersetzungsgrades organischer Bodensubstanz in der Bodenhorizontabfolge verwendet: Von initialer, schwach zersetzter bis teilweise zersetzter oder humifizierter organischer Substanz. Die vielseitige Untersuchung der Bodenmorphologie, der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte, des C/N-Verhältnisses und die Untersuchung der Anteile an Humin- und Fulvosäuren in Bezug auf ihre optischen Indizes und elektrophoretischen Eigenschaften zeigen, dass in den untersuchten Böden Zersetzung und Humifizierung von organischer Bodensubstanz stattfindet.

Es wurden einige allgemeine Tendenzen mit zunehmender Bodentiefe gefunden: Abnahme des C/N-Verhältnisses durch Zersetzung organischer Reste, Bildung von Humus des fulvischen Typs relativ zur Anhäufung der Huminsäuren und die Senkung des E465/E656-Verhältnisses in Übereinstimmung mit der Zunahme des A465-Absorptionskoeffizienten und einer starken Differenzierung der elektrophoretischen Eigenschaften von Huminsäuren. Der größte Teil humifizierter organischer Substanz wurde in organo-mineralischen

A-Horizonten gefunden (hier ist der Gehalt von Peptiden am niedrigsten und der Gehalt an niedermolekularen Verbindungen am höchsten) infolge der Umverteilung von organischen Verbindungen im Bodenprofil. Die Daten liefern Hinweise auf initiale Humifizierung in schwach entwickelten Böden der Sub-Antarktis und der kontinentalen Antarktis. Es wurden höhere Anteile an hochmolekularen und mittelmolekularen organischen Verbindungen in den weniger zersetzten und humifizierten Horizonten Oi und Oe als in den stärker humifizierten Horizonten Oh und A gefunden.

INTRODUCTION

The soils of the Antarctic attract the special interests of soil scientists, ecologists and chemists because of the isolation of its landscapes and ecosystems from direct effects from other continents and the low anthropogenic disturbance of the region. The severe environmental conditions result in the formation of weakly developed, shallow soils (VLASOV et al. 2005, IVANOV & AVESSALOVOMA 2012), which can be investigated only by sampling in high vertical resolution (MERGELOV et al. 2012). However, there are features of weak podzolisation of the fine earth or formation of Cambic horizons in some regions (BEYER et al 1997, 2000).

The soils and biosediments of different parts of the Antarctic have been investigated in the following aspects: morphology (GLAZOVSKAYA 1958, BOCKHEIM 2002, MERGELOV et al. 2012, ABAKUMOV & KRYLENKOV 2011, ABAKUMOV 2011, 2012, ABAKUMOV et al. 2008), texture and lithology (BEYER 2000, ABAKUMOV 2010), mineralogy (SHAEFER et al. 2008), geography (CAMPBELL & CLARIDGE 1987, GILICHINSKIY et al. 2010) and micromorphology (KUBIENA 1970, ILIEVA et al. 2003) as well as anthropogenic changes (BALKS et al. 2002). Many works are connected to the accumulation of biogenic compounds, humus formation and humification (ROLL et al. 2005, SIMAS et al. 2007, BLUME et al. 1998). It was shown that accumulation of organic matter in Antarctic terrestrial ecosystems can occur in soils, surface sediments, seasonal puddles, and the benthic and litoral zones of ponds and lakes (BEYER et al. 1995, 1997, 1998, ABAKUMOV & KRYLENKOV 2011). The sources of organic matter in Antarctica are plant remnants of mosses, lichens and some grasses, dead remnants of fungi and algae as well as guano material (SYROESHKOVSKY 1999, SIMAS et al. 2007, ABAKUMOV 2010). The initial composition of humus precursors is quite diverse and provides the possibility of humification as a process of synthesis of humic substances (HS).

The morphological forms and chemical types of humus are more diverse in Sub-Antarctic tundras than in polar deserts and barrens (CAMPBELL & CLARIDGE 1987) due to a higher diversity of humus precursors, greater variety of soil profile thickness and longer periods of above-zero temperatures.

^{1*} Department of Applied Ecology, Saint-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia, <e_abakumov@mail.ru>

² Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, 142290 Pushchino, Moscow region, Russia.

³ Branch of Shemyakin and Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, 142290 Pushchino, Moscow region, Russia.

Thus, well-developed organic profiles (O horizons) of 15-20 cm thickness underlain by A and AC horizons are typical for King George Island and other islands of the maritime Antarctic zone (ABAKUMOV & ANDREEV 2011, SIMAS et al. 2008, ELBERLING et al. 2006). Previously, it was shown that the composition of plant remnants essentially affects the humification degree and the humic acids (HAs) to fulvic acids (FAs) ratios (C_{HA}/C_{FA}) in Antarctic soils (ABAKUMOV 2010). The most humified organic matter was revealed for soils under graminoids vegetation and guano, while the C_{HA}/C_{FA} ratios were essentially lower in soils under mosses, algae and lichens. The prevalence of the FAs fraction over the HAs fraction is recognized as typical for all kinds of Sub-Antarctic and Antarctic soils. This corresponds closely with the low aromatic fraction content in the humic substances, which was revealed by ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance ($C^{13}MNR$) studies (CLACE et al. 1995, AIKEN 1996, BONIVATA et al. 1996), and the short period of biological activity, especially for polar deserts and barrens. Recently, a study of diversity of humus forms under different plants in a wide range of Antarctic climates was carried out (ABAKUMOV 2010). However, the question of gradual changes of organic remnants in vertical stratified sequences of organic – organo-mineral – mineral horizons still remains open. Micro-morphological and chemical investigations show that organic layers are differentiated by colour and composition of humified organic matter (ILIEVA & VERZILOV 2003). It seems that humification appears not only in mineral soil as a result of polymerization of monomers (ZAVARZINA 2011) but also in layers of differently decomposed organic remnants. Humification is possible not only in presence of lignin-derived compounds but also in presence of other phenolic substances; the latter is quite usual under bryophytes (ASAKAWA 1999) and lichens (ZAVARZINA 2011). BEYER et al (1997, 2000) suggest that organic matter may initiate the podzolisation process in soils of coastal landscapes of continental and maritime Antarctica. Humic materials play an important role in initial podzolisation in Antarctic soils; soil organic matter in ornithogenic soils with spodic horizons is characterized by increased amounts of amino-derivates and high contents of carboxyl units (BEYER et al. 1997). This supports the idea that HSs formed under different types of organic materials are different not only in chemical composition but also in molecular size distribution and electrophoretic mobility. The investigation of initial humification under different types of organic materials is expected to show that the mobility of humic substances can be different in soils formed under different types of organic remnants. Another aspect which should be considered is the investigation of soil organic matter (SOM) accumulation and humification under vascular plants, the population of which has increased in recent decades due to warming, deglaciation and zoogenic spreading (FOWBERT & SMITH 1994, DAY et al. 2008, VERA 2011). As the vascular plants support deeper humification, a SOM stabilization scenario should be predicted in plots of new colonization of the grass species *Deschampsia antarctica*.

We previously developed an original method of electrophoresis in polyacrylamide gel for the separation of soil HS into fractions differing in their electrophoretic mobility, molecular sizes, and physical-chemical properties (TRUBETSKOJ et al. 1992, 1997, Trubetskaya et al. 2008, 2011). This method has previously been successfully used for the investigation of:

(i) soil HAs and artificial model phenolic polymers (SAIZ-JIMENEZ et al. 1999);

(ii) soil HAs before and after acid hydrolysis (TRUBETSKAYA et al. 2001);

(iii) different compost humic-like substances (TRUBETSKOJ et al. 2001);

(iv) soil HAs in podzol chronosequences (ABAKUMOV et al. 2010).

This method gives an opportunity to separate humic acids into three fractions, which are different in their electrophoretic mobility and molecular weight. The profile distribution of these fractions indicates the HS migration process and their role in organo-mineral interactions. Soils of the Antarctic develop in different climatic and geogenic conditions and have different sources of organic HS precursors: there are well-developed organo-mineral stratified soils, different kinds of lithogenic soils and soils developed under guano material. We suppose that the soil organic matter is different in soils of the Sub-Antarctic and coastal Antarctica and that there should be a more pronounced differentiation between the soil horizons' organic matter quality in Sub-Antarctic soils due to the longer and more intense development of the humification process.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the humification process in vertical soil profiles with the use of electrophoresis to substantiate that there is ongoing humification in the sequence of soil horizons and that there are differences between the humic substances within the examples of several Sub-Antarctic Lithosols and some original Leptosols of western Antarctica were used to investigate the electrophoretic indexes of the humification processes phenomena and to establish the differences in humic acids composition of soils from different climatic regions. The following tasks were set up:

(i) to determine the C, N, HAs and FAs contents in different horizons of soils formed under mono-species plant communities in Sub-Antarctic tundra as well as in original primary soil of polar barrens and in soils formed under guano with different degrees of mineralization, and

(ii) to assess the humification process within vertical soil gradients with the use of the electrophoretic method, to identify the levels of HSs mobility in soil profiles and the role of humus precursors in the formation of HAs molecular size distribution.

MATERIALS AND METHODS

Description of study sites

The sampling of soils and organic layers were conducted during the 53rd Russian Antarctic expedition from January 14 2008 to February 25 2008 by the scientific vessel "Academician Fedorov", which visited the Russian polar stations Bellingshausen, Leningradskaya, Russkaya as well as Lindsey Island and the Hudson Mountains; all are located in Western Antarctica. Soil descriptions were partly published earlier (ABAKUMOV et al. 2008, 2010). Soils investigated belong mostly to the Sub-Antarctic maritime zone (King George Island, South Shetland archipelago), and a few samples are from the barrens of Lindsey Island and Leningradskaya Station belonging to the coastal continental Antarctic region (Fig. 1). The Bellingshausen Station (Russian scientific and logistics centre on King George Island, 62°12' S, 58°58' W,



Fig. 1: Locations of sampling plots. (1) = South Shetland Islands, King George Island, Bellingshausen Station (62°12' S, 58°58' W); (2) = Lindsey Island, Pacific sector of Antarctica (73°36' S, 103°02' W); (3) = Oats Coast, Victoria Land, Leningradskiy Nunatak near Leningradskaya Station (69°30' S, 159°23' W). Cartography: D. Graffe, AWI based on GEBCO.

Abb. 1: Untersuchungsgebiete. (1) = South Shetland Islands, King George Island, Bellingshausen Station (62°12' S, 58°58' W). (2) = Lindsey Island, Pine Island Bay, pazifischer Sektor (73°36' S, 103°02' W). (3) = Oats Coast, Victoria Land, Leningradskiy Nunatak bei der Leningradskaya Station (69°30' S, 159°23' W). Kartographie: D. Graffe, AWI und GEBCO.

40 m a.s.l.) is found on the Fildes Peninsula of King George Island. The parent materials for soil genesis here are andesite, basalt, and tuffs. The coastal areas are covered by maritime sands and gravels, while the periglacial plots are occupied by moraines and some fluvio-glacial materials (PETER 2008). The average annual temperature of air is $-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; in the Austral summer (January and February) the average monthly temperatures rise up to $0.7\text{--}0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ABAKUMOV & ANDREEV 2010), but it is necessary to consider that the soil surface temperature is essentially higher when it is free from ice and snow (MARKOV 1956, 1958). The total annual precipitation reaches 729 mm; the number of days with precipitation is from 22 to 30 days per month. The mean wind velocity is about 9.3 m s^{-1} (PETER et al. 2008) with maxima of about 28 m s^{-1} . The vegetation diversity of the Fildes Peninsula is quite high in comparison with landscapes around other Russian Antarctic stations (ABAKUMOV 2011); mono-species plant communities as well as mixed ones are common for both the coastal part and on the plateau of the peninsula. Accordingly, many authors identified the vegetation as tundra or Antarctic tundra (CASANOV-KATHNY & CAVIERES 2012). Plant communities of King George Island are the most developed and rich of the whole Antarctic. There are many locations on the Fildes Peninsula where the *Deschampsia antarctica* population increases. There are plots of former penguin rookeries, rocks affected by sea petrel (*Larus dominicanus*) guano and fresh moraines in the periglacial part.

Two other studied plots belong to the coastal part of the continental Antarctic. One of them is Lindsey Island (73°36' S, 103°02' W), interesting because of the very thick and developed layers of guano of the penguins *Pygoscelis antarctica* in the Pacific sector of Antarctica (coastal part of continental sector). This area is almost uninvestigated by biologists. The Leningradskaya Station was selected as an example of primary soil formation in the severe conditions of Antarctic

nunataks (rock hills emerging from the surrounding ice sheet). This station is found in the eastern part of the Oates Coast, Victoria Land (69°30' S, 159°23' W, 294 m a.s.l.) on Leningradskiy Nunatak. The parent material is magmatized amphibolic gneiss and schist. The mean annual temperature is $-14.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, mean annual precipitation is 59.6 mm, mostly as snow (ABAKUMOV 2011). Average wind velocity is estimated as 8.4 m s^{-1} and with maxima of 37 m s^{-1} . Thus as seen from the climatic parameters, the soils at the Leningradskaya Station and Lindsey Island are developed under more severe conditions than the soils of King George Island. Photos of selected soils are shown in Figure 2.

The soil samples were taken into special containers (volume about 200 cm^3). Samples were stored in a freezer to halt transformation processes. Before analysis, the samples were stored at $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the laboratory.

Chemical characterization of Antarctic soils

The following characteristics were determined in the soil fine earth and organic materials ground to the fine earth size ($<2\text{ mm}$):

(i) Carbon and Nitrogen content by C-H-N analyzer LECO CHN-628. Data are related to dry mass (dried at $105\text{ }^{\circ}\text{C}$). Subsequently, the C/N ratio was calculated.

(ii) $C_{\text{HA}}/C_{\text{FA}}$ ratios on the basis of separate determination of C_{HA} and C_{FA} in extracts from soil materials (PONOMAREVA & PLOTNIKOVA 1980). According to this procedure, soil fine earth after decalcification by 0.1 M HCl solution and further purification by water was processed by 0.1 M NaOH solution. The extract was separated into humic and fulvic acids fractions by the adding a 0.5 M solution of sulfuric acid. Further, the carbon content in the extract of HAs and FAs was determined by chromic acid oxidation (WALKEY & BLAKE 1934).

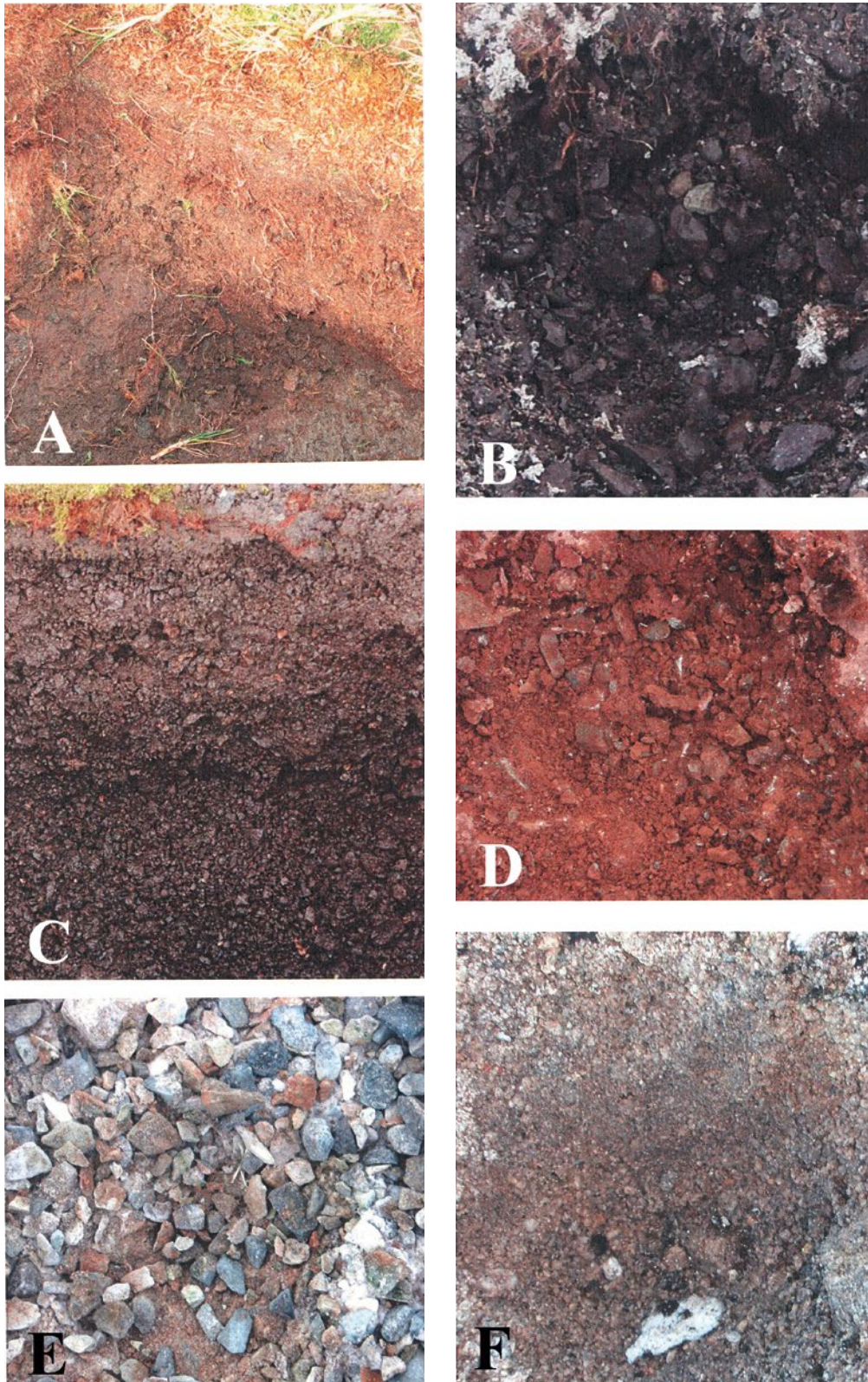


Fig. 2: Soils of selected plots at King George Island (A-D), Lindsey Island (E) and Leningradskiy Nunatak (F). **A** = Profile of about 20 cm depth under vascular plant community (see I-1 – I-5 of Tab. 1 & 2). **B** = Profile of about 20 cm depth under lichens (see II-1 – II-3 of Tab. 1 & 2). **C** = Profile of about 20 cm depth under mosses (see III-1 – III-3 of Tab. 1 & 2). **D** = surface of soil (20 x 20 cm) covered by guano (see IV-1 of Tab. 1 & 2). **E** = surface of soil (20 × 20 cm) at Lindsey Islands (see V of Tab. 1 & 2). **F** = Profile of about 10 cm Leningradskiy Nunatak (see VI of Tab. 1 & 2).

Abb. 2: Abb. 2: Böden der ausgewählten Parzellen auf King George Island (A–D), auf Lindsey Island (E) und auf dem Leningradskiy Nunatak (F). **A** = Bodenprofil unter einer Gefäßpflanzengemeinschaft (Details vgl. Proben I-1 – I-5 in Tab. 1 & 2). **B** = Bodenprofil unter Flechten (Details vgl. Proben II-1 – II-3 in Tab. 1 & 2). **C** = Bodenprofil unter Moosen (Details vgl. Proben III-1 – III-3 in Tab. 1 & 2). **D** = Oberfläche eines Bodens, der mit Guano bedeckt ist (Details vgl. IV-1 in Tabellen 1 & 2). **E** = Oberfläche eines Bodens (20 × 20 cm) auf Lindsey Island. **F** = 10 cm Bodenprofil auf dem Leningradskiy Nunatak.

Humic acids isolation

Humic substances were extracted from each soil sample (5 g) with 0.1 M NaOH solution (soil/solution ratio 1:10) under N₂. After 24 h of shaking, the alkaline supernatant was separated from the soil by centrifugation at 45,000 g for 30 min and acidified to pH 1 with 6 M HCl solution to induce the precipitation of HAs. The supernatant with FAs was then separated from the HAs precipitate by centrifugation at 10,000 g for 30 min. The HAs precipitates were demineralized by shaking with a 20 ml of 0.1 M HCl/0.3 M HF solution. The HAs suspension was then dialyzed in distilled water for seven days using 10-12 kDa cellulose dialysis tubing (Sigma-Aldrich) and lyophilized.

Electrophoresis technique

Humic acids, isolated from several Antarctic soils, were characterized by polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) according to TRUBETSKOJ et al. (1997). The apparatus was a vertical electrophoresis device (LKB 2001 Vertical Electrophoresis, Sweden) with gel slab (20 x 20 cm). Acrylamide 9.7 % and bisacrylamide 0.3 % were dissolved in 89 mM Tris-borate buffer with 1 mM EDTA and 7 M urea, pH 8.3. For polymerization, 0.014 mL N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine and 0.4 mL of 10 % ammonium persulfate were added to 40 mL of acrylamide/bisacrylamide solution. The electrode buffer had a concentration of 89 mM Tris-borate with 1 mM EDTA, pH 8.3. The sample buffer (0.1 ml) contained 89 mM Tris-borate, 7 M urea, 1 % SDS and 1 mM EDTA, pH 8.3. Electrophoresis was carried out at room temperature for 1 h at a constant current of 25 mA. Immediately after electrophoresis, a polyacrylamide gel slab (PAG) with fractionated HAs was moved to the UV/White light (WL)L-mixed light transilluminator (Vilber Lourmat, Marne-la-Valee, France) in a dark room and photographed under white light (using two tubes T-8.L, 8W) and under UV light (using six tubes T-8.M, 8W, emitting at 312 nm), located under the PAG. After inspection under white and UV light, the PAG with fractionated HAs was stained for 2 h with a solution containing 0.025 % protein-specific dye Coomassie Brilliant Blue R-250, 15 % acetic acid, 15 % ethanol, and 1 % CuSO₄. Further, the PAG was washed to a transparent background with a solution containing 10 % acetic acid and 10 % ethanol for 24 h and photographed as well.

UV-Visible absorption

Absorption spectra were recorded on a Cary 3 (Varian) spectrophotometer from 210 to 700 nm in a 1 cm quartz cuvette. The spectra of HAs isolated from different horizons of several Antarctic soils were measured at a HA concentration of 0.1 mg mL⁻¹ in a 0.1 M NaOH solution. The E4/E6 ratio (ratio of absorbances at 465 and 665 nm) and specific absorptions at 280 nm and 465 nm at a concentration 0.1 mg mL⁻¹ were calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil morphology and general properties

Soils of King George Island consist of three main types of

horizons: organic, organo-mineral and mineral. Organic soil parts are differentiated in two or three horizons, containing organic remnants with different degrees of transformation / humification. The upper, almost undecomposed horizon of litter is the Oi horizon, consisting of organic matter with only initial morphological features of decomposition. The next lower horizon showing very initial humification is the fermentation layer Oe. The organic sub-horizon with evident darkening of the organic remnant is the Oh horizon. The thickness of these horizons is different in the soils investigated; an Oh layer is common in soils under graminoid plants and mosses. Organo-mineral horizons develop under organic ones and are classified as grey-humus A horizons; they are characteristic for all soils sampled on King George Island. Soils under vegetation were classified as Lithosols by the "Classification and Diagnostics of Soils of Russia" (SHISHOV 2004) and as Follic (raw humus) Leptosols according to the World Reference Base (WRB) for Soil Resources (DECKER et al. 1998). Soils under guano in both studied plots can be identified as Ornithosols (SIMAS et al. 2007), whereas there is a possibility of calling the soil with well mineralized and transformed guano as post-ornithic soil (ABAKUMOV 2012). These terms (Ornithosol, post-ornithic soils) are not derived from the WRB, as this system has only the qualifier "Ornithic" to indicate a layer 15 cm or more thick with ornithogenic material. Meanwhile, these terms became more frequently used in studies of polar soils and sediments of oceanic islands (IVANOV & AVESSALOMOVA 2012, ABAKUMOV 2014). The soil from the Leningradskaya Station should be classified as Leptosol derived from the massive dense bedrock. In this publication, we use the Ornithic classifier only with the aim of specifying the effect of guano on soil formation, but not as a soil taxonomic characteristic.

The basic data on soils (Tab. 1) show that all the samples were acid with the exception of soils under guano and the Leptosol of the Leningradskaya barren. The soils contained a low portion of clay fraction in the fine earth and a high portion of the coarse fraction. No morphological features of podzolisation or cambic process were revealed in our study, whereas this was observed in soils of the Admiralty Bay, Arctowsky Polish station (BÖLTER et al. 1997).

The studied organic soil profiles were differentiated by their sequence of horizons (Tab. 1). In all of the studied Sub-Antarctic soils, the first horizon of the organic profile was an Oi horizon with initial decomposition and no or slightly transformed organic matter. The main difference between the soils was in the thickness of the Oi horizon, which was highest in case of vascular plant vegetation, lower under lichen vegetation and minimal under moss vegetation. Next after the Oi horizon is the fermentation horizon Oe with partially decomposed organic matter or (and) the humified horizon Oh, which is darker than the two previous ones. The Oh horizon also exists in soils covered by mosses, while it is absent in soils under lichens. It was shown previously (VLASOV et al. 2005, PARNIKOZA et al. 2011) that transformation of organic matter has been occurred in soils of Sub-Antarctic herb and lichen tundra and results in differentiation of two or three organic sub-horizons with different levels of humification and transformation. The most developed system of organic horizons was typical for soils formed under vegetation dominated by the vascular plant *Deschampsia antarctica*. The reason for this is the relatively high amount of lignin-derived compounds as

Type of soils (WRB/Russian system) source of organic material	Index of sample	Soil horizon index thickness (cm)	Colour	Clay content g kg ⁻¹ of fine earth	pH
Lithosol / Lithozem under the vascular plant <i>Deschampsia antarctica</i> , King George Island	I-1	Oi (0-6)	2.5 YR	nd	5.3
	I-2	Oe (7-9)	10YR 5/2	nd	5.3
	I-3	Oh (9-12)	10YR 5/2	nd	5.2
	I-4	A (12-15)	5YR 5/1	80	5.2
	I-5	AC (15-20)	5Y 5/1	83	5.0
Lithosol / Lithozem under the lichen <i>Stereocaulon glabrum</i> , King George Island	II-1	Oi (0-4)	7.5 YR 5/2	nd	5.7
	II-2	Oe (4-7)	5 Y 5/1	nd	5.4
	II-3	A (7-12)	5 Y 7/1	78	5.1
Leptosol Lithozem under the mosses <i>Sanionia uncinata</i> , <i>Polytrichastrum alpinum</i> , King George Island	III-1	Oi (0-3)	7 YR 6/4	nd	5.4
	III-2	Oh (3-5)	10YR 6/1	nd	5.3
	III-3	A (5-10)	10 YR 7/1	81	4.9
Ornithosol/ Organogennaya pochva under well decomposed guano, King-George Island	IV-1	OC (0-5)	10 YR 4/1	nd	6.8
	IV-2	C (5-15)	10 YR 5/1	120	7.1
Ornithosol/ Organogennaya pochva under slightly decomposed guano, Lindsey Island	V	O (0-10)	7.5YR 4/4	nd	7.0
Leptosol / Petrozem, Leningradskaya Station	VI	O (0-2)	Nd	nd	7.5

Tab. 1: Morphological features and chemical characteristic of Antarctic soils (colour was determined by Munsell Colour Chart, clay content by sedimentation method, pH in water suspension).

Tab. 1: Morphologische Merkmale und chemische Eigenschaften antarktischer Böden.

humus precursors that gives the possibility for humification by polycondensation and polymerization of lignin-derived compounds (ORLOV 1990).

Humus horizons, designated as A, were grey or greyish in colour; they were not deep and were the result of humic substances stabilization and association with the mineral soil matrix. In all soils, the investigated organic horizons were thicker than the organo-mineral ones, which is in good correspondence with previous data (VLASOV et al. 2005, ABAKUMOV et al. 2010). Only soils under graminoid plants were characterised by a transitional AC horizon, while this was absent in the two other soils, which is in good relation with the presence of an Oh (humification) horizon in the soil under *Deschampsia antarctica*. The studied soils under plants were acid, sand-textured and formed on coarse sand-textured debris of massive materials. Ornithosols on guano were completely different to each other. The soil from King George Island was dark grey with well-decomposed guano and shows no evidence of fresh fecal material, whereas the soil from Lindsey Island was brownish, where stones and sands were mixed with sticky guano. Ornithosols were characterised only by an organic horizon O with no differentiation in sub-horizons. This material was at the same time the source of humus precursors enabling in-situ humification.

Only one horizon with organic material was collected from the Leptosol of Leningradskiy Nunatak. This is an example of soil formation and humification in extremely severe conditions of the Antarctic polar desert.

Carbon and nitrogen contents and the CHA/C FA ratios

The three sub-Antarctic soils under different plant communities were clearly differentiated by carbon content in two groups of

horizons (Tab. 2): an organic horizon which consists of almost 50 % C of total mass (more than 400 g kg⁻¹; O horizons) and organo-mineral horizons (A horizons) containing 64-72 g kg⁻¹ of C. There was evidence of decreasing C/N ratios with soil depth, which was in good correspondence with the degree of soil organic matter transformation. Organic matter of the A horizons was more enriched in nitrogen in comparison with organic ones. Ornithosols contain quite varying C portions, which is in correspondence with the degree of guano transformation caused by climatic conditions and biological activity, as was shown previously (ABAKUMOV 2010, 2012). Carbon contents were 8.72 and 89.22 g kg⁻¹ for soil with well-transformed guano and material of the penguin rookery, respectively. This is also the reason for differing C/N ratios, namely about 7:1 in King George Island soil and 2:1 in material from Lindsey Island. We suppose that there were inorganic forms of N in both types of Ornithic soils (SIMAS et al. 2008), and that low C/N ratios were not results of soil nitrogen transformation processes. The Ornithosol from King George Island appears closer to post-ornithic soils, while the Lindsey Island one is an "active" Ornithosol, intensively affected by on-going penguin activity.

The C/N ratio in the Leptosols of the Leningradskiy Nunatak is comparable to those in soils under vegetation on King George Island, while the C content in the O horizon is considerably lower due to lower biological productivity and the more severe climate. We have identified this horizon as O, though not in good correspondence with the WRB classification which requires 20 % of carbon in the fine earth. In soils of the Antarctic, SOM is not really associated with the fine earth; therefore, we have determined it in a bulk sample to provide more precise chemical analyses.

The C_{HA}/C_{FA} ratios and HS contents do not show a distinct pattern of change with profile depth in the studied soils, while the FA fraction shows a decreasing trend with depth. Thus, the

Index of sample	Soil horizon	C g kg ⁻¹ of fine earth	N g kg ⁻¹ of fine earth	C/N	C _{HA} g kg ⁻¹ of fine earth	C _{FA} g kg ⁻¹ of fine earth	C _{HA} /C _{FA}	A280 C = 0.1mg/ml	A465 C = 0.1mg/ml	E4/E6
I-1	Oi	440.00	20.99	20.96	11.00	33.00	0.33	0.79	0.05	8.4
I-2	Oe	449.00	29.19	15.38	15.10	51.90	0.30	nd	nd	nd
I-3	Oh	445.78	33.98	13.11	24.61	51.40	0.48	1.32	0.13	7.1
I-4	A	64.92	8.51	7.61	8.61	11.40	0.76	1.21	0.14	7.2
I-5	AC	42.70	3.75	11.39	4.41	12.30	0.36	1.12	0.12	7.0
II-1	Oi	440.50	9.70	45.41	11.20	42.80	0.26	0.87	0.07	5.4
II-2	Oe	434.20	15.58	27.87	5.10	39.96	0.13	0.95	0.06	6.0
II-3	A	72.59	6.94	10.45	8.8	10.23	0.86	1.35	0.19	6.1
III-1	Oi	308.62	16.76	25.50	9.85	39.25	0.26	0.70	0.05	10.2
III-2	Oh	421.36	16.99	28.40	11.28	25.31	0.44	0.81	0.07	6.6
III-3	A	72.04	7.16	10.60	4.50	6.45	0.69	0.77	0.08	7.7
IV-1	OC	8.72	1.27	6.86	1.5	2.40	0.63	0.60	0.05	5.5
IV-2	C	0.92	0.14	6.57	0.3	1.20	0.25	1.07	0.09	7.1
V	O	89.22	46.95	1.90	5.00	8.20	0.61	0.71	0.10	7.4
VI	O	102.00	6.00	17.00	7.03	21.01	0.33	0.81	0.17	3.2

Tab. 2: Carbon (C) and nitrogen (N), humic (C_{HA}) and fulvic (C_{FA}) acids content, C/N and C_{HA}/C_{FA} ratios, specific absorption coefficients A280 and A465, E4/E6 ratios of HAs, isolated from Antarctic soils.

Tab. 2: Kohlenstoff- (C) und Stickstoffgehalte (N), Gehalte an Humin- (C_{HA}) und Fulvosäuren (C_{FA}), C/N- und C_{HA}/C_{FA}-Verhältnisse, spezifische Absorptionskoeffizienten A280 und A465, E4/E6-Verhältnisse von Huminsäuren, extrahiert aus antarktischen Böden.

variability of the humic to fulvic acids ratio values are caused by the high variability of the HAs portions between the soil horizons. HAs accumulation was revealed for the Oh horizons; this supports the morphological diagnostics of the soils and suggests that humification is a current process in the Oh layer. The C_{HA}/C_{FA} ratios of soils under guano were not different from the other studied soils. This may be caused by the high water content and greater amount of acid-extractable organic acids which is usually determined as a part of the fulvic acids fraction (ORLOV 1990, ABAKUMOV 2010). The Leptosol from the Leningradskaya plot is characterized by the lowest C_{HA}/C_{FA} ratio among the organo-mineral horizons. We suppose that this is caused by the severe climatic conditions and shorter temperature period above 0 °C than in case of the maritime landscapes of King George Island.

The obtained data show that there is on-going humification and changes of C/N ratios due to organic matter transformation in all organic horizons of the investigated soils. This affirms that soil organic matter transformation and humification is the main and active process in soils of Antarctica. SOM transformation in Ornithic soils occurs in conditions of high levels of inorganic N forms, which provide extremely low C/N ratio values. There is also vertical migration and accumulation of the FAs within the soil profiles.

Optical characteristics of humic acids isolated from Antarctic soils

The coefficients of optical absorbance are indexes, which evaluate the degree of humification in soils (PONOMAREVA & PLOTNIKOVA 1980). The obtained data (Tab. 2) indicate the trend of increasing specific absorption coefficients A280 and A465 with soil profile depth. From fresh organic matter to a

more decomposed one, the HAs became more humified. This trend has been observed in all investigated soils. A similar index for the optical characteristics is the E4/E6 ratio. In general, these ratios should be higher with lower degrees of humification and, conversely, lower with a higher degree of humification. Thus, the trend of decreasing E4/E6 ratios from upper to lower soil horizons confirms the data of specific absorption coefficients obtained for the soils investigated.

As result we can conclude that humification increases with the depth of soil horizons and the degree of transformation of the organic remnants. This confirms the existence of active humification as a current process in Antarctic soils.

Electrophoresis of humic acids, isolated from Antarctic soils

For confirmation of the current humification process in Antarctic soils, HAs isolated from different organic and organo-mineral horizons of three soils under different plant communities (soil samples I-III) and one soil under a well-mineralized guano (soil sample IV, Tabs. 1 & 2) were fractionated using polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) in the presence of denaturing agents (Figs. 3 & 4). The inspection of the electrophoresis results in white light demonstrated that all HAs samples were separated into three discrete naturally coloured pale brown fractions: H-MS (starting fraction), M-MS (middle fraction), L-MS (bottom gel fraction). The electrophoretic mobilities (EM) of identically marked fractions were similar in all soil HAs investigated. It has been previously shown (TRUBETSKOJ et al. 1999) that the molecular size (MS) of electrophoretic fractions of different soil HAs decreased with increasing EM. We could assume that in Antarctic soils the fraction H-MS has the highest MS, fraction L-MS has the lowest, and fraction M-MS has medium MS.

Electropherograms inspected under white light (Figs. 3a & 4a) showed the essential changes in colour intensity of naturally coloured pale brown electrophoretic fractions of HAs from organic to organo-mineral horizons. There is a trend of increasing the brown colour intensity of all three fractions in HAs samples of organo-mineral horizons isolated from soils under vascular plants and lichens. The HAs of organo-mineral horizons isolated from soils under mosses and well mineralized guano demonstrated increasing brown colour of fractions M-MS and L-MS. In other words, there is a redistribution of the electrophoretic fractions due to the organic matter transformation and humification. A similar picture has been previously shown for young soils of a podzol soil chronosequence, where more transformed layers of forest floors showed greater percentages of the L-MS fraction (ABAKUMOV et al. 2010). Summarizing, the colour intensity was higher in the organo-mineral layers than in corresponding organic layers. This is in a good correspondence with the increment of the specific absorption coefficients A465 and the general trend of decreasing of E4/E6 ratios with soil profile depth.

The electropherograms were then inspected under UV light (Fig. 3b & 4b). In HAs isolated from organo-mineral horizons of soils under vascular plant and lichen, the fluorescence intensity of L-MS fraction was higher than in organic ones; simultaneously, fluorescence intensity of H-MS fraction was practically absent. In the HAs of organo-mineral horizons isolated from soils under the mosses and well-mineralized guano, an only weak decrease of fluorescence intensity of H-MS and some increase of fluorescence intensity of L-MS was detected.

It is well known that humification involves biotic and abiotic transformations of biological materials into mature HS. Hence, the portions of non-transformed biological material in the initial humus precursors must exceed the ones in the more mature soil HSs. To find experimental evidence immediately after inspection under white and UV lights, electropherograms were stained with the protein-specific dye Coomassie Brilliant Blue (Fig. 3c & 4c). The results showed that protein-like materials concentrated mostly in H-MS and M-MS fractions, whereas L-MS fractions of all HAs investigated were not coloured by the protein-specific dye. The organo-mineral layers of all soils have shown the almost complete absence of the Coomassie Brilliant Blue colour, which might be an additional indicator of current humification process. This becomes clearer after comparison of Coomassie Brilliant Blue colour of HAs isolated from organo-mineral horizons of the studied Antarctic soils with well-humified chernozemas as a reference. Thus, we can suggest that the humification leads to the decrease of protein-like components in HAs composition, i.e. they are only stable in the H-MS fractions of HAs.

CONCLUSIONS

Horizons of organic matter investigated Antarctic soils are characterized by different origins. These are organic materials derived from graminoid plants, lichens and mosses. An additional important source of organic matter is guano of penguins. The complex investigation of morphological organization of soil profiles, C and N contents and ratios, HAs and FAs portions with the relation to optical indexes and electro-

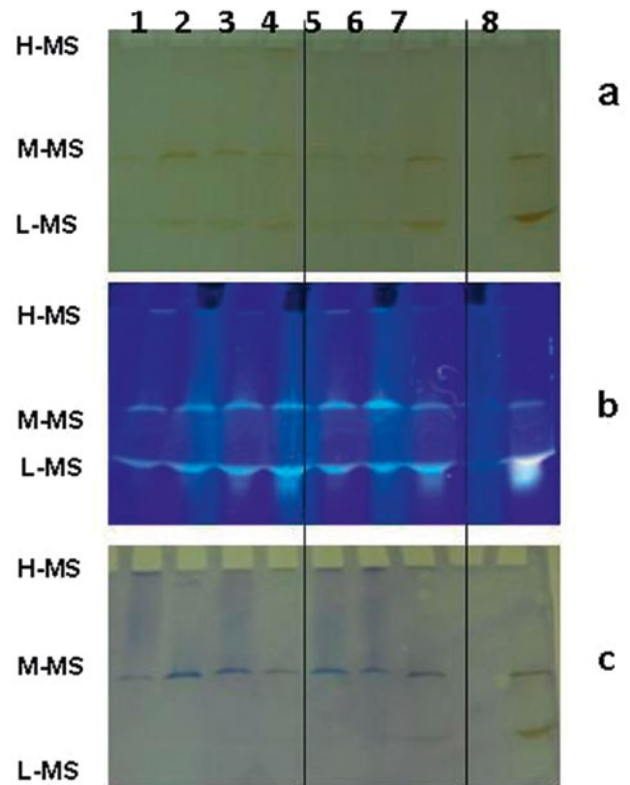


Fig. 3: Electrophoresis in 10 % PAG of 0.1 mg HAs, isolated from horizons Oi (1), Oh (2), A (3), AC (4) of soil under the vascular plant *Deschampsia antarctica* and horizons Oi (5), Oe (3), A (3) of soil under the lichen *Stereocaulon glabrum* (both soils from King George Island). As a control 0.025 mg chernozem HAs (8) was used.

a = PAG with naturally coloured HAs under white light; b = PAG inspected under UV light (312 nm) with detection of fluorescence distribution between fractions; c = PAG inspected after staining with protein-specific dye Coomassie Brilliant Blue R-250 for detection of protein-like matter distribution between fractions.

Abb. 3: Elektrophorese in Polyacrylamid-Gel (10 %) von 0,1 mg Huminsäure, extrahiert aus den Horizonten Oi (1), Oh (1), A (3), AC (4) der Böden unter der Gefäßpflanze *Deschampsia antarctica* und der Horizonte Oi (5), Oe (3), A (3) der Böden unter den Flechten *Stereocaulon glabrum* (beides Böden auf King George Island). Als Kontrolle wurden 0,025 mg Schwarzerde (8) verwendet. a = Polyacrylamid-Gel mit Huminsäuren natürlicher Färbung unter weißem Licht; b = Polyacrylamid-Gel inspiziert unter UV-Licht (312 nm) mit Detektion der Fluoreszenzverteilung zwischen den Fraktionen; c = Polyacrylamid-Gel geprüft nach der Färbung mit proteinspezifischem Farbstoff Coomassie Brilliant Blue R-250 für den Nachweis der proteinähnlichen Massenverteilung zwischen den Fraktionen.

phoretic properties allow us to conclude that there is current transformation of SOM in studied soils with increasing humification of SOM with soil depth. Soils of the Sub-Antarctic islands show humus organo-mineral horizons of varying development stages, with the highest intensity of nitrogen enrichment between the organic and organo-mineral soil materials investigated.

There are several common characteristics of the investigated soil profiles: decreasing of C/N ratios with soil depth, accumulation of FAs versus accumulation of HAs, decline of E465/E656 ratios in correspondence with growth of the A465 absorbance coefficient and strong differentiation of electrophoretic properties of HAs. The most humified organic matter is found in organo-mineral horizons (with lower portion of peptides, and highest portion of L-MS fraction). The above-mentioned

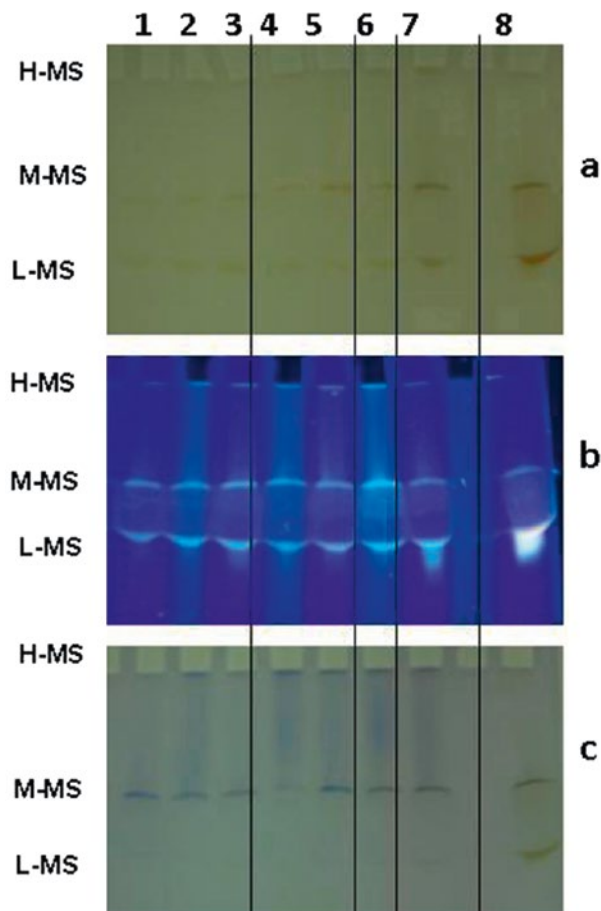


Fig. 4: Electrophoresis in 10 % PAG of 0.1 mg HAs, isolated from horizons Oi (1), Oh (2), A (3) of soil under the mosses *Sanionia uncinata* and *Polytrichum alpinum*; horizons OC (4), C (5) of soil under the well mineralized guano (both soils from King George Island); horizon O (6) of soil under the weak mineralized guano (Lindsey Island) and horizon O (7) Leptosol (Leningradskiy Nunatak). As a control 0.025 mg Chernozem HAs (8) was used. a = PAG with naturally coloured HAs under white light; b = PAG inspected under UV light (312 nm) with detection of fluorescence distribution between fractions; c = PAG inspected after staining with protein-specific dye Coomassie Brilliant Blue R-250 for detection of protein-like matter distribution between fractions.

Abb. 4: Elektrophorese in Polyacrylamid-Gel (10 %) von 0,1 mg Huminsäure, extrahiert aus den Horizonten Oi (1), Oh (2), A (3) der Böden unter den Moosen *Sanionia uncinata* und *Polytrichum alpinum*; Horizonte OC (4), C (5) des Bodens unter hochmineralisiertem Guano (beides Böden auf King George Island); Horizont O (6) des Bodens unter dem schwach mineralisiertem Guano (Lindsey Insel) und Horizont O (7), Leptosol (Leningradskiy Nunatak). Als Kontrolle wurde 0,025 mg Schwarzerde HAs (8) verwendet.

a = Polyacrylamid-Gel mit Huminsäuren natürlicher Färbung unter weißem Licht; b = Polyacrylamid-Gel inspiziert unter UV-Licht (312 nm) mit Detektion der Fluoreszenzverteilung zwischen den Fraktionen; c = Polyacrylamid-Gel geprüft nach der Färbung mit proteinspezifischem Farbstoff Coomassie Brilliant Blue R-250 für den Nachweis der proteinähnlichen Massenverteilung zwischen den Fraktionen.

indexes confirm the humification phenomena in Antarctic soils. Protein compounds decrease with the humification rate increasing, and a decreased portion of these were revealed for humus in the A horizons of the soils investigated.

Humification appears also in Ornithosols as well as in a Leptosol under very severe climatic conditions, which is confirmed by presence of all electrophoretic fractions in HAs. FAs prevails in the humus composition of the soils investigated.

ACKNOWLEDGMENTS

Grateful acknowledgments are made to Hans Ulrich Peter and Matthias Kopp, Jena University, for their kind assistance in the transportation of samples from Antarctica to Saint-Petersburg and to Olga Vybornova, Hamburg University for translation of Abstract into German. We thank Lars Kutzbach, Hamburg University, for editorial and scientific comments that helped improving this article. The work has been supported by the Russian foundation for basic research, grants No 13-05-0024, 12-04-00680, 13-04-90411, 12-04-33017

References

- Abakumov, E.V. (2010): Particle-size distribution in soils of West Antarctica.- Eurasian Soil Sci. 43 (3): 297-304
- Abakumov, E.V. (2010): The sources and composition of humus in some soils of West Antarctica.- Eurasian Soil Sci. 43 (5): 499-508.
- Abakumov, E.V. (2011): Soils of Western Antarctic.- St. Petersburg 1-112.
- Abakumov, E.V. (2012): Ornithic soils of Antarctic.- Transactions of young scientist of S-Petersburg University, 1: 5-19
- Abakumov, E.V. (2014): Zoogenic pedogenesis as the main biogenic soil process in Antarctica.- Russian Ornithological J. 972: 576-584.
- Abakumov, E.V. & Andreev, M.P. (2011): Temperature regime of humus horizons of soil of King-George Island.- Transact. St. Petersburg Univ. Ser. 3: Biol. 2: 129-133. (in Russian)
- Abakumov, E.V. & Krylenkov, V.A. (2011): Soils of Antarctica.- Priroda 3: 58-62.
- Abakumov, E.V., Pomelov, V.N., Vlasov, D.Y. & Krylenkov, V.A. (2008): Morphological organization of soils in Western Antarctica.- St.-Petersburg. Univ., Ser. 3: Biol. 3: 102-115. (in Russian)
- Abakumov, E.V., Trubetskoj, O., Demin, D., Celi, L., Cerli, C. & Trubetskaya, O. (2010): Humic acid characteristics in podzol soil chronosequence.- Chemistry Ecology 26: 59-66.
- Aiken G., Mciknight D., Harnish R. & Wershaw R. (1996): Geochemistry of aquatic humic substances in the Lake Fryxell Basin, Antarctica.- Biogeochemistry 34 (3): 157-188.
- Asakawa, Y. (1999): Phytochemistry of Bryophytes.- In: Phytochemicals in human health protection, nutrition and plant defence, New York, 320-339.
- Balks, M.R., Paetzold, R.F., Kimble, J.M., Aislabie, J. & Campbell, I.B. (2002): Effects of hydrocarbon spills on the temperature and moisture regimes of Cryosols in the Ross Sea region.- Antarctic Science 14 (4): 319-326.
- Beyer, L. (2000): Properties, formation, and geo-ecological significance of organic soils in the coastal region of East Antarctica (Wilkes Land).- Catena 39 (2): 79-93.
- Beyer, L., Blume, H.P., Schulten, H.R., Erlenkeuser, H. & Schneider, D. (1997): Humus composition and transformation in a pergelic cryochemist of coastal Antarctica.- Arctic Alpine Res 29 (3): 358-365.
- Beyer, L., Knicker, H., Blume H.-P., Bölter, M., Vogt, B. & Schneider, D. (1997): Soil organic matter of suggested spodic horizons in relic ornithogenic soils of coastal continental Antarctica (Casey Station, Wilkes Land) in comparison with that of spodic soil horizons in Germany.- Soil Science 162 (7): 518-527.
- Beyer, L., Pingpank, K. & Bölter, M. (1998): Variation of carbon and nitrogen storage in soils of coastal continental Antarctica (Wilkes Land).- Eurasian Soil Sci. 31 (5): 551-554.
- Beyer, L., Pingpank, K., Wriedt, G. & Bölter, M. (2000): Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Lands).- Geoderma 95 (3-4): 283-304.
- Beyer, L., Sorge, C., Blume, H.P. & Schulten, H.R. (1995): Soil organic matter composition and transformation in Gelic Histosols of coastal continental Antarctica.- Soil. Biol. Biochem. 27 (10): 1279-1288.
- Blume, H.-P., Beyer, L. & Schneider, D. (1998): Soils of the southern circumpolar region and their classification.- European Soil Sci. 31 (5): 477-485.
- Bockheim, J.G. & Hall, K.J. (2002): Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica.- South African J. Sci. 98 (1-2): 82-90
- Bölter, M., Blume, H.-P., Schneider, D. & Beyer, L. (1997): Soil properties and distributions of invertebrates and bacteria from King George Island (Arctowski Station), Maritime Antarctic.- Polar Biol. 18: 295-394
- Bonivata, M., Braguglia, C.M., DePaolis, F., Petronino, B.M. & Schinina, M. E. (1995): Humic compounds obtained from Antarctic soil poor in organic matter.- Annali Chimica 86(9-10): 429-437.
- Campbell, I.B. & Claridge, G.G.C. (1987): Antarctica: soils, weathering processes, and environment.- Elsevier, Amsterdam, 1-368.

- Casanova-Katny, A.M. & Cavieres, L.A. (2012): Antarctic moss carpets facilitate growth of *Deschampsia antarctica* but not its survival.- *Polar Biology* 35: 1869-1878.
- Cavani, L., Ciavatta, C., Trubetskaya, O., Reznikova, O.I., Afanas'eva, G.V. & Trubetskoj, O.A. (2003): Capillary zone electrophoresis of soil humic acid fractions obtained by coupling SEC-PAGE.- *J. Chromatography A* 938: 263-270.
- Clace, N., Campanella, L., Depaolis, F. & Petronio, B.M. (1995): Characterization of humic acids isolated from Antarctic soils.- *Internat. J. Environm. Analyt. Chem.* 60 (1): 71-78.
- Croll, D.A., Maron, J.L. & Estes, J.A. (2005): Introduced predators transform subarctic islands from grassland to tundra.- *Science* 307: 1959-1961.
- Day, T.A., Ruhland, C.T. & Xiong, F.S. (2008): Warming increases above ground plant biomass and C stocks in vascular-plant-dominated Antarctic tundra.- *Global Change Biol.* 14: 1827-1843.
- Decker, J.A., Spaargaren, O.C. & Nachtergaele, F.O. (1998): World Reference Base of Soil Resources: World Soils Resources Report, No 84, FAO, Rome.
- Elberling, B., Gregorich, E.G., Hopkins, D.W., Sparrow, A.D., Novis, P. & Greenfield, L.G. (2006): Distribution and dynamics of soil organic matter in an Antarctic dry valley.- *Soil Biol. Biochem.* 38 (10): 3095-3106.
- Fowbert, J.A. & Smith, R.I.L. (1994): Rapid population increases in native vascular plants in the Argentine Islands, Antarctic Peninsula.- *Arctic Alpine Res.* 26 (3): 290-296.
- Gilichinsky, D., Abakumov, E., Abramov, A., Fyodorov-Davydov, D., Goryachkin, S., Lupachev, A., Mergelov, N. & Zazovskaya, E. (2010): Soils of mid and low Antarctic: diversity, geography, temperature regime.- *Proceed. 19th World Congr. Soil Sci., Soil Solutions for a Changing World*, Publ. DVD; <http://www.iuss.org>; Sympos. WG. 1.4, Cold soils in a changing world, 2010 Aug 1-6. Brisbane, Australia, IUSS: 32-35.
- Glazovskaya, M.A. (1958): Weathering and initial pedogenesis in Antarctica.- *Nauchn. Dokl. Vyssh. Shk., Geol. Geogr. Nauki*, 1: 63-76
- Ilieva, R., Vergilov, Z. & Groseve, M. (2003): Micromorphology of organic matter in the Antarctic soils.- *Bulgarian J. Ecol. Sci.* 304: 52-54.
- Ivanov, A.N. & Avessalomova, I.A. (2012): Orhritogenic ecosystems – geochemical phenomena of biosphere.- *Biosphere* 4: 385-396.
- Kubiens, W.L. (1970): Micro morphologic investigations of Antarctic soils.- *Antarctic J.* 5: 105-106.
- Markov, K.K. (1956): Some data on periglacial phenomena in Antarctica (Preliminary Communication).- *Vestn. Mosk. Univ. Ser. Geogr.* (1), 139-148.
- Markov, K.K. (1958): Antarctica as a Model of the Ancient Glacial Region in the Northern Hemisphere.- *Nauchn. Dokl. Vyssh. Shk., Geol.-Geogr. Nauki* 1: 53-62.
- Mergelov, N.S., Goryachkin, S.V., Shorkunov, I.G., Zazovskaya, E.P. & Cherkinsky, A.E. (2012): Endolithic pedogenesis and rock varnish on massive crystalline rocks in East Antarctica.- *Eurasian Soil Science* 45: 901-917.
- De Nobili, M., Bragato G., Alcaniz, J.M., Puigbo, A. & Comellas L. (1990): Characterization of electrophoretic fractions of humic substances with different electrofocusing behavior.- *Soil Sci.* 150: 763-770.
- Orlov, D.S. (1990): Humic acids of soils and general theory of humification.- *Moscow State University* 1-325.
- Parnikoza, I., Korsun, S., Kozeretskaya, I. & Kunakh, V. (2011): A discussion note on soil development under the influence of terrestrial vegetation at two distant regions of the Maritime Antarctic.- *Polarforschung* 80 (93): 181-185.
- Peter H.-U. (2008): Risk assessment for the Fildes peninsula and Ardley Island and development of management plans for their designation as specially protected areas.- *Jena University, Jena*, 1-344.
- Ponomareva, V.V. & Plotnikova, T.A. (1980): Humus and soil formation.- *Nauka, Leningrad*, 1-222 (in Russian).
- Saiz-Jimenez, C., Trubetskaya, O.E., Trubetskoj, O.A. & Hermosin, B. (1999): Polyacrylamide gel electrophoresis of soil humic acids, lignins, model phenolic polymers, and fungal melanins.- *Com. Soil Sci. Plant Analysis* 30: 345-352.
- Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Gilkes, R.J., Mathison, C., da Costa, L.M. & Albuquerque, A. (2008): Micromorphology and microchemistry of selected cryosols from maritime Antarctica.- *Geoderma* 144: 104-115.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.R., Melo, V.F., Albuquerque-Filho, M.R., Muchel, R.F.M., Pereria, V.V., Gomes, M.R.M. & da Costa, L.M. (2007): Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process.- *Geoderma* 138: 191-203.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Filho, M.R.A., Francelino, M.R., Filho, E.I.F. & da Costa, L.M. (2008): Genesis, properties and classification of cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica.- *Geoderma* 144: 116-122.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Melo, V.F., Albuquerque-Filho, M.R., Michel, R.F.M., Pereira, V.V., Gomes, M.R.M. & da Costa, L.M. (2007): Ornithogenic cryosols from maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process.- *Geoderma* 138 (3-4): 191-203.
- Schnitzer, M. (1982): Organic matter characterization.- In: B.L. Page., R.H. Miller & D.R. Keeney. (eds), *Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological properties*, Agronomy Monograph 9, Soil Sci. Soc. Amer., 581-594.
- Shishov, L.L. (2004): Classification and Diagnosis Systems of Russian Soils.- *Oykumena, Smolensk*, 1-235.
- Syroechkovskii, E.E. (1999): The role of animals in the formation of primitive soils in the circumpolar regions of the Earth (with Antarctica as an Example).- *Zoologishekiy J.* 38 (12): 1770-1775
- Trubetskaya, O.E., Shaloiko, L.A., Demin, D.V., Marchenkov, V.V., Proskuryakov, I.I., Coelho, C., & Trubetskoj, O.A. (2011): Combining electrophoresis with detection under ultraviolet light and multiple ultrafiltration for isolation of humic fluorescence fractions.- *Analytica Chimica Acta* 690: 263-268.
- Trubetskoj, O.A., Trubetskaya, O.E., Afanas'eva, G.V., Reznikova, O.I. & Saiz-Jimenez, C. (1997): Polyacrylamide gel electrophoresis of soil humic acid fractionated by size-exclusion chromatography and ultrafiltration.- *J. Chromatogr. A* 767: 285-292.
- Trubetskaya, O.E., Trubetskoj, O.A., Borisov, B.A., & Ganzhara, N.F. (2008): Electrophoresis and size-exclusion chromatography of humic substances extracted from detritus and soils of different genesis.- *Eurasian Soil Sci.* 40 (2): 171-175.
- Trubetskaya O. E., Trubetskoj O. A. & Ciavatta C. (2001): Evaluation of the transformation of organic matter to humic substances in compost by coupling sec-page.- *Biores. Tech.* 77: 51-56.
- Trubetskoj, O.A., Trubetskaya, O.E. & Khomutova, T.E. (1992): Isolation, purification and some physico-chemical properties of soil humic substances fractions obtained by polyacrylamide gel electrophoresis.- *Soil Biol. Biochem.* 24 (9): 893-896.
- Trubetskoj, O., Trubetskaya, O., Reznikova O. & Afanas'eva G. (1999): Weight and optical differences between soil humic acids obtained by coupling SEC-PAGE.- *Geoderma*. 93: 277-287.
- Trubetskaya, O.E., Trubetskoj, O.A., & Saiz-Jimenez, C. (2001): Polyacrylamide gel electrophoresis of humic and fulvic acids after acid hydrolysis.- *Fresenius Environm. Bull.* 10 (7): 635-637.
- Vera, M.L. (2011): Colonisation and demographic structure of *Deschampsia antarctica* and *Colobantus quitensis* along an altitudinal gradient on Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctic.- *Polar Research* 30: 7146, DOI: 10.3402/polar.v30i0.7146.
- Vlasov, D.Y. & Abakumov, E.V. (2005): Lithosols of King George Island. Western Antarctica.- *Europ. Soil Sci.* 38 (7): 681-687.
- Walkley, A. & Black I. A. (1934): An examination of Degtjareff Method for determining soil organic matter and a proposed modification of the Chromic Acid Titration Method.- *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Zavarzina, A.G. (2011): Heterophase synthesis of humic acids in soils by immobilized phenol oxidases. *Soil Enzymology*.- In: G. Shukla & A. Varma (eds), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.- *Soil Biol.* 22: 207-228.

Buchbesprechungen / Book Reviews

Barry Scott Zellen (ed.): The Fast Changing Arctic – Rethinking Arctic Security for a Warmer World. University of Calgary Press, 2013, 410 pp., 110 maps, paperback (ISBN 978-1-55238-646-0) 41.95 USD; also available as a free open access book at <www.uofcpress.com>

Wissenschaftler, die in den arktischen Regionen forschen, erleben bereits den Wandel zu einer wärmeren Arktis. Vor wenigen Monaten erschien die von Barry Scott Zellen herausgegebene Zusammenstellung von Beiträgen namhafter Autoren aus den USA, Kanada, Norwegen, Dänemark und Finnland, aber auch aus China und Australien. Darin wird deutlich, dass sich Verantwortliche in den verschiedensten Universitäts-, Forschungs- und Regierungsnahen Institutionen seit mindestens zehn Jahren mit der Tatsache beschäftigen, dass sich die arktischen Lebensräume dramatisch verändern. Die Konsequenzen sind für Wissenschaftler zu spüren, aber für die Menschen, die in den zirkum-arktischen Regionen leben, ändern sich tradierte Lebensweisen. Die besonders empfindlichen arktischen Ökosysteme haben möglicherweise nicht genügend Zeit, sich auf die schnellen Veränderungen einzustellen. Hinzu kommen die Auswirkungen eines zunehmenden Schiffsverkehrs, sowohl von kommerziellen Frachtschiffen als auch von Kreuzfahrtschiffen.

Das fast 400 Seite dicke Buch ist in vier Großkapitel unterteilt. Im ersten Teil *Arctic Climate Change: Strategic Challenges and Opportunities* stecken vier Beiträge den Rahmen ab (*The Fast-Changing Maritime Arctic*, von Lawson W. Brigham; *Can We Keep Up with Arctic Change?* von Alun Anderson; *“Politization“ of the Environment: Environmental Politics and Security in the Circumpolar North* von Lassi Kalevi Heininen; *Conceptualizing Climate Security for a Warming World: Complexity and the Environment-Conflict-Linkage* von Daniel Clausen und LTJG Michael Clausen, USCG). Im zweiten Teil geht es ebenfalls in vier Beiträgen um *Cooperation and Conflict: Paths Forward (Cooperation or Conflict in a Changing Arctic? Opportunities for Maritime Cooperation in Arctic National Strategies* von Ian G. Broxnan, Thomas M. Leschine und Edward L. Miles; *Energy and the Arctic Dispute: Pathway to Conflict or Cooperation?* von Nong Hong; *Maritime Boundary Disputes in East Asia: Lessons for the Arctic* von James Manicom; *Babysteps: Developing Multilateral Institutions in the Arctic* von Maj. Henrik Jedig Jørgensen). Im Teil *Regional Perspectives* stellen sieben Beiträge die Sichtweise von Europa und des hohen Nordatlantiks (1), von Nordamerika (2) sowie Russland (4) vor. Im vierten Teil *Concluding Observations* geht Barry Scott Zellen auf *Stability and Security in a Post-Arctic World: Towards a Convergence of Indigenous, State, and Global Interests at the Top of the World* ein. Alle Autoren werden kurz vorgestellt.

Brauchen wir also mehr Regeln für das Miteinander in diesem riesigen, dünn besiedelten, klimatisch außerordentlich verletzlichen Gebiet? Barry Scott Zellen geht diese provokante

Frage an, indem er an die Zeit des Kalten Krieges erinnert. Auch damals ging es quasi um Leben oder Tod, vielleicht des gesamten Planeten. Die Strategien von damals sollten neu gedacht und auf die neue Herausforderung aktualisiert werden. Er plädiert dafür, die Entwicklung positiv als Herausforderung zu sehen, um proaktiv Lösungsmöglichkeiten zu suchen. Dazu müssen sich alle, die die Arktis nutzen, in ihr leben, in ihr forschen, tatsächlich (neue) Regeln setzen, deren Einhaltung auch überwacht werden muss. Zellen geht natürlich vor allem auf das gewachsene Selbstbewusstsein der arktischen Inuit-Völker in Alaska und Nordkanada sowie Grönland ein. Aber auch in Skandinavien, Russland und China gibt es indigene Völker, die ein Recht auf ihr Land haben. Er geht auf die *Circumpolar Inuit Declaration* ein, die am 18. April 2009 von einer Inuit-Delegation aus Grönland, Kanada, Alaska und Russland während einer Sitzung des Arctic Councils in Tromsø, Norwegen, vorgestellt wurde. Diese Deklaration fordert die Einbeziehung der indigenen Völker der Arktis in alle politischen und kommerziellen Entscheidungen. Abschließend macht Zellen noch einmal deutlich, wie sehr es auf den Standpunkt ankommt. Sehen wir die Veränderungen in der Arktis als Krise oder als historische Gelegenheit für einen „Arktischen Frühling“?

Wer sich nicht nur für die (natur-)wissenschaftliche Erforschung der Arktis interessiert, sondern auch die aktuellen Entwicklungen verfolgt, findet in diesem Buch eine Fülle von Informationen und Argumenten aus verschiedensten Blickwinkeln. Zumindest sollte es in jeder Handbibliothek von Forschungsgruppen stehen, die in der Arktis tätig sind.

In diesem Zusammenhang möchte ich auf den Vortrag von Karin Lochte, Direktorin des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung hinweisen, den sie während der 25. Internationalen Polartagung der DGP 2013 in Hamburg gehalten hat (Polarforschung 82: 141-143). Sie ging auf die Zukunft der Polarwissenschaften ein und wies darauf hin, dass sich die Bandbreite der wissenschaftlichen Forschungen in der Arktis erweitern wird, z.B. um Ingenieur-, Medizin-, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften. Sie forderte uns auf, uns vorzustellen, wie die Polarregionen beispielsweise in 20 Jahren aussehen würden und sprach davon, dass es bereits ein BMBF-Papier „*Arctic Strategy: Rapid Changes in the Arctic. Polar research in global responsibility*“ gibt. Ein komplizierter Pfad führt im Internet dorthin; er beginnt bei www.scar-iasc.de und führt unter News mit Datum 31.10.2013 „Leitlinien deutscher Arktispolitik“ ins Auswärtige Amt. Forschung in der Arktis bleibt eine Herausforderung, auch – oder gerade – weil es wärmer wird.

Monika Huch, Adelheidsdorf

Historisches und Aktuelles zu Kaiser Franz-Josef-Land

Die letzten Jahre brachten eine größere Anzahl von historischen Berichten und Quellen zutage, die alle mit der Entdeckung von Kaiser Franz-Josef-Land im Zuge der österreichisch-ungarischen Nordpolarexpedition von 1872/1874 im Zusammenhang stehen. Als Nachlasswalterin von Carl Weyprecht, dem Entdecker von Kaiser Franz-Josef-Land und einem der Begründer der internationalen Polarforschung, seien diese Werke in Form einer Sammelanzeige vorgestellt.

Heidi v. Leszczynski, Frankfurt am Main

Elling Carlsen: Aufzeichnungen von der österreichisch-ungarischen Polarexpedition 1872-74 (Franz Josef Land).

Übersetzt und herausgegeben von Frank Berger und Hallvard Stangeland, Frankfurt am Main/Oslo 2010, 170 S. (Books on Demand GmbH, Norderstedt, ISBN 978-3-8391-4609-5)

Bei dem vorliegende Tagebuch handelt es sich um die deutsche und englische Übersetzung einer Schrift von Elling Carlsen, die bereits 1875 in Tromsø unter dem Titel „Optegnelse fra den oesterriske-ungarske polarekspedisjon 1872-74 (Frans Josefs Land)“ erschienen war. Elling Carlsen (1819-1900) bestieg im Juli 1872 als letzter Mann das Expeditionsschiff „Admiral Tegetthoff“ und er ging am 8. September 1874 auch als erster von Bord. Carlsen war der älteste Teilnehmer der Expedition und verfügte über die bei weitem größte Erfahrung in polarer Schifffahrt. Unter anderem war er der Entdecker des Überwinterungsplatzes von Willem Barentsz aus dem Jahr 1596/1597. Carlsen war Träger des Ritterkreuzes des St. Olafs-Ordens. Er war als Eismeister und Harpunier verpflichtet worden und versah neben den Offizieren Brosch, Krisch, Orel und Lusina den meteorologischen Beobachtungsdienst. Das Tagebuch geht vom 19. September 1872 als das Schiff schon im Eis festgefroren war, bis zum 8. September 1874, der Ankunft in Tromsø. Carlsen nahm an jedem Tag einen Eintrag vor, der oft aber nur aus einer Bemerkung, der Temperatur und der Windstärke und -richtung bestand. Die Aufzeichnungen sind nüchtern, sachlich und überwiegend emotionslos. Dennoch stellen sie ein interessantes, wenn auch nicht allzu ertragreiches Dokument zum Verlauf dieser bedeutenden Expedition dar. Schlicht in Ausstattung und Druck, gehört die vorliegende Form von Elling Carlsons Tagebuch dennoch zum Kanon der österreichischen Polarliteratur.

Heidi v. Leszczynski, Frankfurt am Main

Enrico Mazzoli & Frank Berger: Eduard Ritter von Orel (1841-1892) und die österreichisch-ungarische Nordpol-Expedition mit seinem Rückzugstagebuch von 1874. Prima Edizione, Triest 2010, 160 S., 47 Abb., softcover (ISBN 978-88-96940-38-9) € 14,00

Schiffsfähnrich Eduard Orel war im Rang der vierthöchste Teilnehmer der Polarexpedition von 1872/1874. Am 12. April 1874 stand er zusammen mit Oberleutnant Julius Payer und Matrose Antonio Zaninovich auf dem 82. Breitengrad und war damit einer der drei Menschen, die dem Nordpol bisher am nächsten kamen. Geboren 1841 in Neutitschein in Mähren, wurde er 1861 in Triest als See-Eleve eingeschifft. Er avan-

cierte bald zum Linienschiffsfähnrich, wurde aber in den Personalunterlagen als zu gutmütig, bescheiden und nachsichtig bezeichnet, was sein Fortkommen verhinderte. Nach der Polarexpedition wurde er Verwalter des Schlosses Miramar bei Triest, wo er 1892 erst 51jährig verstarb. In Familienbesitz hat sich sein Rückzugstagebuch des Jahres 1874 in Form von 45 maschinenschriftlichen Blättern erhalten. Dieses Rückzugstagebuch, zeitlich vom 20. Mai bis zum 10. September 1874 reichend, ist im vorliegenden Werk abgedruckt.

Die Tageseintragungen dieser äußerst strapaziösen Unternehmung sind sehr ausführlich. Sie erzählen nicht nur die sachlichen Umstände des im Prinzip hoffnungslosen Marsches sondern auch die psychischen Belastungen, denen die Teilnehmer ausgesetzt waren. Sensible Bemerkungen verschlüsselte Orel durch Benutzung der Stenographie. Dabei schimmern die Spannungen innerhalb der Mannschaft durch, deren Ursprung im Verhalten von Julius Payer lag. Insgesamt ist das Rückzugstagebuch von Schiffsfähnrich Eduard Orel eine wertvolle Ergänzung der originalen Teilnehmerberichte dieser Polarexpedition.

In einem anderen Kapitel werden die Tagebücher anderer Teilnehmer erwähnt und beurteilt. Dabei handelt es sich um das Tagebuch des Bootsmanns Pietro Lusina (Erschienen 1874), das Expeditionstagebuch des Eismeisters Elling Carlsen (s.o., erschienen 1875), das Tagebuch des auf der Reise verstorbenen Maschinisten Otto Krisch (erschieden 1875), den wirkungsmächtigen Bericht von Oberleutnant Payer (erschieden 1875), die Erinnerungen des Jägers Johann Haller (erschieden 1959) und das Rückzugstagebuch von Kommandant Carl Weyprecht (erschieden 2008). Damit existieren insgesamt sieben Expeditionsberichte der Teilnehmer; hinzu kommt neuerdings die Kenntnis einer achten Quelle, einem gedruckten Tagebuchauszug des Heizers Josef Pospischill.

Dem gesamten Buch ist eine 30-seitige Biografie Eduard Orels vorangestellt, von Enrico Mazzoli aus Familienunterlagen, archivalischen und gedruckten Quellen sorgfältig recherchiert. Die 47 qualitativ guten Abbildungen zeigen unter anderem das Geburtshaus Orels mit zugehöriger Gedenktafel, Gemälde von seiner Hand, persönliche Dinge wie sein Fernglas und sein Wirken auf Schloss Miramar.

Heidi v. Leszczynski, Frankfurt am Main

Petr W. Boyarskiy: Franz-Josef-Land. Inseln und Archipel der russischen Arktis. Paulsen Editions, Moskau 2013, 676 S., 768 Abb. (ISBN 978-5-98797-077-5) 2000 Rubel, in russischer Sprache.

Dieses Werk und die bereits erschienenen gleichartigen Bücher über die Inseln Nowaja Semlja und Waigatsch erschienen im 2005 gegründeten Buchverlag des 1950 geborenen schwedischen Pharma-Milliardärs, Geschäftsmanns, Philanthropen und Forschungsreisenden Frederik Paulsen. Paulsen Editions publiziert wissenschaftliche, populärwissenschaftliche und fiktionale Literatur über arktische und antarktische Themen mit Schwerpunkt auf der russischen Arktis. Dementsprechend finden sich im Verlagsprogramm Reiseberichte von Forschungsreisenden, wissenschaftliche Monographien, Bücher über Eisbrecher und arktisches Flugwesen.

Bei dem vorliegenden Werk handelt es sich um nichts weniger als die gewichtigste und bedeutendste Publikation, die je über Kaiser Franz-Josef-Land erschienen ist. Es ist das Ergebnis der Prospektionskampagnen 1990, 1992, 2005, 2007 und 2009 des großen polaren Erschließungsunternehmens „Meeresarktische Komplex-Expedition“ (MAKE), das seit 1990 von Petr W. Bojarskiy mit großem Erfolg durchgeführt wird. Dieses Buch hat als ein Anlass auch den 140. Jahrestag der Entdeckung von Kaiser Franz-Josef-Land durch die österreichisch-ungarische Nordpolarexpedition unter Carl Weyprecht. Das im Folgenden Gesagte gilt in ähnlicher Weise für die Bände über Nowaja Semlja (Moskau 2009, 409 S.) und Waigatsch (Moskau 2011, 575 S.). Das vorzustellende Buch, wie die Vorgängerbände auch, ist thematisch zweigeteilt.

Der erste Teil, genau 400 Seiten im Umfang, behandelt das kulturelle Erbe auf Kaiser Franz-Josef-Land, also die Auswirkungen menschlichen Daseins auf den Inseln des Archipels. Diese Inselgruppe ist sicher eines der am wenigsten besuchten Gebiete dieses Planeten. In vier Kampagnen gingen russische Polarwissenschaftler seit 1990 jedweden Spuren menschlicher Aktivität nach und haben diese auf das präziseste dokumentiert. Am Anfang des Werks steht eine Chronik (S. 17-147) der menschlichen Aktivitäten auf dem Archipel, begonnen mit der Entdeckung von 1873 bis zur letzten Forschungsexpedition der Jahre 2010 und 2011. Der Augenblick der Entdeckung, das Betreten des neuen Landes, die Erreichung des nördlichsten Punktes durch Oberleutnant Payer und die spätere Rettung durch ein russisches Schiff werden aus zahlreichen Auszügen teilweise neu publizierter Tagebücher der Teilnehmer dargestellt (S. 148-193). Dem schließen sich 30 Kurzbiografien von Forschern an, die an der Erforschung der Inselgruppe maßgeblich beteiligt waren (S. 194-223).

Der in den Augen der Rezensentin wertvollste Abschnitt des Buches thematisiert die Hinterlassenschaften der Erschließungsgeschichte von Kaiser Franz-Josef-Land (S. 224-416). Auf 25 Inseln der Gruppe dokumentierte Boyarskiy mit seinem Team in sorgfältigster archäologischer Arbeitsweise alle Spuren menschlicher Präsenz. Die meisten dieser Komplexe sind in Karten sowie mit Zeichnungen und Fotos der Funde dargestellt. Einige dieser Plätze seien genannt: Die Grabstätte von Otto Krusch auf der Wilczek-Insel, Kap Tegetthoff mit dem Basislager der Wellman-Expedition von 1898/1899, die beiden Camps der Baldwin/Ziegler-Expedition von 1901/1902 auf der Alger-Insel, die Station von Frederick Jackson bei Kap Flora auf der Northbrook-Insel, wo am 17.6.1896 Nansen eintraf, das Eira-Haus von Benjamin Leich-Smith auf der Bell-Insel, die deutsche Wetterstation „Schatzgräber“ von 1943/1944 auf der Alexandra-Insel, das Steinhaus auf Kap Heller, wo 1899 Bernt Bentsen starb, der Überwinterungsplatz von Fridtjof Nansen und Hjalmar Johansen nahe Kap Norwegia auf der Jackson-Insel, die von Payer, Luigi Amadeo von Savoyen und Fiala aufgesuchte Teplitzbucht an der Rudolfinsel. Diese polararchäologische Erschließung bildet geradezu einen Reiseführer zur Entdeckungsgeschichte des Archipels wobei die touristischen Besucherströme sich bislang noch im überschaubaren Rahmen bewegen.

Der zweite Hauptteil des Buches (S. 417-555) gilt der physikalisch-geographischen Charakteristik der Inselgruppe. Behandelt werden deren geologischer Aufbau, die Geomorphologie, die Geoökologie, das Klima, die Glet-

scherverhältnisse, die Binnengewässer, die Böden sowie die gleichermaßen spärliche Vegetation und Fauna von Kaiser Franz-Josef-Land.

Den Schluss dieses Werks bilden neun kleinere Beiträge zu Querschnittsthemen. Eine Aufstellung und Erklärung der Toponyme, ein Namensregister, ein geographisches Register, Überlegungen zur historischen Kartografie, die Navigationsausrüstung sowie sozialpsychologische Bemerkungen über das Verhalten der Entdecker unter den extremen Bedingungen. Eine Bestandsaufnahme der bisherigen MAKE-Kampagnen beschließt diesen gewichtigen und wertvollen Beitrag zu diesem nördlichsten Landgebiet Europas. Leider wird dieses bedeutende Werk durch die Sprachbarriere kaum Eingang in die deutsche und internationale Polarforschung finden.

Heidi v. Leszczynski, Frankfurt am Main

Enrico Mazzoli: Carl Weyprecht. Nel 150° anniversario della nascita. Luglio Editore Triest 2013, 432 S., SW-Abb. (ISBN 978-88-6803-043-8) € 24,00

Äußerer Anlass für diese Biografie Carl Weyprechts (1838-1881) ist die 150. Wiederkehr seines Geburtstags. Geboren 1838 in Darmstadt im Großherzogtum Hessen, trat er im April 1856 in den Dienst der österreichischen Kriegsmarine, wo er 1868 als Linienschiffsleutnant seinen höchsten Rang erreichte (Teil I des Buchs). 1871 befuhr er mit Oberleutnant Payer drei Monate lang die Spitzbergensee und 1872 war er Kommandant der österreichisch-ungarischen Nordpolar-Expedition, die 1873 Kaiser Franz-Josef-Land entdeckte (Teil II). Seit 1874 widmete sich Weyprecht der Organisation der internationalen Polarforschung, die sich mit der Durchführung des Ersten Internationalen Polarjahres 1882/1883 fest in den Geowissenschaften etablierte (Teil III).

Am Anfang sei auf den größten Nachteil des Buches hingewiesen: Es liegt nur in italienischer Sprache vor, deren Kenntnis unter den Beteiligten an der Polar- und Meeresforschung eher begrenzt ist. Der Autor, Triestiner, Alpinist, promovierter Politologe und Oberstleutnant der kommunalen Polizei, war bereits Mitarbeiter eines früheren biographischen Werkes über Carl Weyprecht (s. Polarforschung 77, 2007, S. 127-128) in Form einer Briefedition. Mit der vorliegenden Biographie ist Enrico Mazzoli eine reflektierte und sachlich ausgewogene Darstellung gelungen, die alle Aspekte des kurzen Lebens von Carl Weyprecht berücksichtigt.

Der erste Teil beschreibt den Werdegang eines österreichischen Marineoffiziers. Für seine Ausbildung durchlief er mehrere Stationen auf Kriegsschiffen. Bald zum Schiffsführer befördert diente er zeitweise unter dem Kommando von Wilhelm von Tegetthoff. Die Lektüre von August Petermanns Geographische Mittheilungen weckte in ihm die Leidenschaft zur Erforschung des „offenen Polarmeeres“. Hochdekoriert als Seeheld nach der Schlacht von Lissa 1866 befuhr er noch im gleichen Jahr zur Unterstützung des Kaisers Maximilian von Mexiko die Karibik, wo er beinahe tödlich erkrankte. Als möglicher Teilnehmer der Ersten und Zweiten Deutschen Polarexpedition sah er sich ausgebootet und war stattdessen mit Küstenaufnahmen in Dalmatien befasst.

Der zweite Teil ist jener Großtat gewidmet, die Weyprechts zeitgenössischen Ruhm begründete. Dank des Engagements von Graf Hans Wilczek, einem der einflussreichsten Männer im Österreich seiner Zeit, wurden binnen weniger Monate die Mittel für eine große Polarexpedition eingeworben. Ihr Ziel war die Verfolgung des warmen Golfstroms bis zum offenen Polarmeer, die Umfahrung Sibiriens im Norden, wobei im günstigen Fall ein Abstecher zum Nordpol erwogen wurde, das Erreichen der Beringsee und die endliche Ankunft in Kalifornien. Drei Jahre sollte die Unternehmung dauern. Bekanntlich fror das Expeditionsschiff schon nach wenigen Tagen für immer ein, mit zwei Überwinterungen im Eis und der Entdeckung von Kaiser Franz-Josef-Land. Dank der besonderen Führungsqualitäten Weyprechts gelang im Spätsommer 1874 der Rückzug mit den Booten über das Eis zum offenen Meer und die Rettung der Männer durch ein russisches Schiff. In diesem zweiten Teil sind einige Kapitel zu ausführlich dargestellt, denn sie referieren nur die weithin bekannten Einzelheiten dieser Polarexpedition.

Der dritte Teil ist von besonderem Wert in Hinblick auf die Historie der internationalen Polarforschung. Weyprecht nutzte den Schwung seiner Berühmtheit für sein großes Vorhaben: Die Errichtung zirkumpolarer Messstationen, finanziert durch die Nationen der „gebildeten“ Welt, für die Dauer eines Jahres. Hartnäckig, von vielen Rückschlägen getroffen, setzte er seine ganze schwindende Energie in dieses Vorhaben. Als das Projekt endlich 1882/1882 mit gutem Erfolg realisiert wurde war Weyprecht schon tot. Mazzoli geht an dieser Stelle über das Ableben Weyprechts hinaus und behandelt die österreichische Polarstation auf Jan Mayen, als deren Leiter Weyprecht vorgesehen war. Zum Abschluss verfolgt der Autor die Fortentwicklung der Initiative und Gedanken Weyprechts bis zum Internationalen Polarjahr 2007/2009.

Heidi v. Leszczynski, Frankfurt am Main

Edition Erdmann

Unter diesem Namen werden seit etlichen Jahren historische Reiseberichte herausgegeben. Zu den bereits über 150 existierenden Titeln sind kürzlich drei weitere Titel (als Nachdruck bzw. Neuauflage) erschienen, die sich jeweils mit Polarforschungsthemen befassen. Es handelt sich um die Bücher:

- Erich von Drygalski: *Zum Kontinent des eisigen Südens*. Verlag Georg Reimer, Berlin 1904, 668 S.
- Sir Ernest Shackleton: *South – The story of Shackleton's last expedition 1914-1917*. William Heinemann, London 1919, 380 S.
- Alfred Wegener. Mit Beiträgen von Johannes Georgi, Fritz Loewe und Ernst Sorge: *Mit Motorboot und Schlitten in Grönland*. Velhagen & Klasing, Leipzig 1930, 192 S.

Für den modernen Leser und Wissenschaftler, sind die Hintergründe der historischen Expeditionen nicht immer ohne weiteres erkennbar. Fragen beziehen sich dabei hauptsächlich auf drei Bereiche. Zunächst sei der zeitgeschichtliche Hintergrund organisatorisch-institutionelle und finanzielle Aspekt erwähnt, dann die Sinnfrage: Welches sind die wissenschaftlichen Ziele der Expedition? Und drittens können heute die technischen und logistischen Bedingungen nicht mehr als allgemein bekannt vorausgesetzt werden.

Um das Verstehen dieser Hintergründe zu erleichtern, lässt der Verlag die Herausgabe seiner Nachdrucke von anerkannten Fachleuten begleiten.

Erich von Drygalski: Zum Kontinent des eisigen Südens – Die erste deutsche Südpolarexpedition 1901-1903. Edition Erdmann, Marix Verlag Wiesbaden 2013, 366 S. (ISBN 978-3-86539-856-7) 24,00 €

Für Drygalskis Bericht über die erste deutsche Antarktisexpedition 1901-1903 zeichnet Cornelia Lüdecke als Herausgeberin. Sie hat auch die Kürzungen vorgenommen, denen gut die Hälfte des Textes zum Opfer gefallen ist. In der Tat ist Drygalskis Originalwerk eine sehr detailreiche Schilderung, so dass die Reduktion des Textes denjenigen Lesern entgegenkommen dürfte, die sich zunächst über die wichtigsten Ereignisse der Expedition einen Überblick verschaffen möchten.

Drygalski stellt die Wissenschaftler, die Offiziere und die Mannschaft des Polarforschungsschiffes „Gauss“ vor, macht dann einige Angaben zu Letzterem, bevor er den eigentlichen Reisebericht beginnt. Er rechtfertigt auch die Routenwahl dieser mit erheblichem Aufwand konzipierten Expedition (S. 99). Nach dem Besuch des Kerguelen-Archipels, auf dem eine mit fünf Personen besetzte Beobachtungsstation etabliert wird, geht es direkt nach Süden. Man hofft hier auf einen unterstützenden Strom und träumt insgeheim von einer Transpolar drift mit einem Wiedereintreten in den Südatlantik im Bereich des Weddellmeeres. Die Routenwahl entpuppt sich allerdings als wenig glücklich. Auch der sich immerhin bis 70 °S erstreckende Südeinschnitt, die Prydzbucht (Amery Basin) wird knapp verpasst.

Schon Ende Februar 1902 ist absehbar, dass sich die „Gauss“ aus der Umklammerung des sich verdichtenden Meereises im Gebiet 66° S, 90° E vor Winteranfang nicht wieder befreien kann. Und noch im März 1902 stößt eine Hundeschlittenexpedition nach Süden vor bei der ein einzeln stehender Basaltkegel entdeckt wird. Dieser 370 m hohe Gaussberg (66°48' S, 89°11' E) wird im Laufe des Jahres 1902 noch mehrfach aufgesucht. Während der Überwinterung werden meteorologische, ozeanographische und geomagnetische Daten aufgenommen und u.a. die Bodenfauna des Meeres beprobt.

Es vergeht fast genau ein Jahr, bevor die „Gauss“ wieder manövrieren kann. Drygalski unternimmt energische Versuche die antarktische Küste nach Westen zu verfolgen. Aber man muss bald erkennen, dass die Saison schon zu weit fortgeschritten ist, um gewünschte Zielgebiete zu erreichen. Ein Rückzug nach Südafrika, verbunden mit einem erneuten Vorstoß in der folgenden Saison, ist eine vernünftige Entscheidung.

Im Juni 1903 läuft man Simonstown (30 km von Kapstadt) an. Aber statt, wie von Drygalski geplant und von den meisten Wissenschaftlern gewünscht, von hier erneut nach Süden zu dampfen, wird die Expedition von der Reichsregierung zurück beordert (S. 319). Kiel wird am 24.11.1903 erreicht. Aber damit nicht genug, das Spezialschiff „Gauss“ wird kurze Zeit später verkauft und so einer deutschen Polarforschung das wichtigste Instrument entzogen. In der öffentlichen Wahr-

nehmung in Deutschland wird die Expedition zurückhaltend beurteilt und speziell an den Leistungen der englischen Expedition unter Robert F. Scott (1868-1912) gemessen. Drygalski ist allerdings der Auffassung, alles erreicht zu haben was sich erreichen ließ (S. 359).

Über Art und Schwerpunkt der Kürzungen des Originalwerkes gibt die Herausgeberin im Vorwort Auskunft. Interessant ist, dass auf die Übernahme der Abbildungen aus dem Original verzichtet wurde. Stattdessen hat Frau Lüdecke Bildmaterial des Geographischen Instituts der Universität München sowie anderer Institutionen und aus privaten Quellen verwendet. Auch wenn die Wiedergabe der Abbildungen grundsätzlich durch die verwendete Drucktechnik beschränkt ist, verleihen die zum Teil noch nie publizierten Abbildungen der Ausgabe einen erheblichen Reiz, der zweifellos auch von Kennern gewürdigt werden wird. Diesbezüglich unterscheidet sich die neue gekürzte Ausgabe auch wesentlich von der, die der Brockhausverlag, Leipzig 1989, 200 S. mit einem Nachwort von Hans-Peter Weinhold (Hrg.) publiziert hat.

Bemerkenswert ist das Vorwort der Herausgeberin, die mit größter Sachkenntnis das Entstehen und den Hintergrund dieser klassischen Expedition ausleuchtet – allein schon ein Grund, sich diese wohlfeile Ausgabe anzuschaffen.

Reinhard A. Krause, Bremerhaven

Ernest Shackleton: Südwärts – Die Endurance Expedition 1914-1917. Neu übersetzt von Axel Monte, Edition Erdmann, Marix Verlag Wiesbaden 2014, 448 S., 25 SW-Abb. u. Karten (ISBN 978-3-86539-863-5) € 24,00

Auch das zweite oben angeführte Werk, Sir Ernest Shackletons (1874-1922) „South“, wurde unter der Mitarbeit von Cornelia Lüdecke herausgegeben, die dazu eine 21 Druckseiten starke Einleitung beigesteuert hat. Diese Ausgabe ist eine kleine Sensation. Zunächst sei hervorgehoben, dass es sich um nichts weniger als um eine Neuübersetzung von „South“ handelt; Rezensent gesteht gerne, dass er zuvor stets das englische Original, aber nie eine deutsche Übersetzung benutzt hat, schlicht deswegen, weil eine solche nicht nachzuweisen war. Jedenfalls ist die vorliegende Übersetzung von Axel Monte, die die erste vollständige Übersetzung von „South“ sein soll, aus dem Blickwinkel des Rezensenten gut gelungen; beachtlich auch die z.T. kenntnisreichen Fußnoten.

Ein paar Worte zu dem Buch selbst, über dessen Grundlagen und Umstände seiner Entstehung Frau Lüdecke interessante Einzelheiten präsentiert. U.a. schreibt sie: Schon Anfang 1917 hat Shackleton, er hielt sich damals in Neuseeland und in Australien auf, ... *in bewährter Manier dem Ghostwriter Saunders sein Buch diktiert, sich dann aber nicht mehr weiter darum gekümmert. Dieser Umstand erklärt nicht nur den uneinheitlichen Schreibstil, die Wiederholungen im Text und die vielen ergänzenden Zitate aus den Tagebüchern, sondern auch die manchmal unterbrochene Chronologie der Ereignisse.* Auch wenn sich die Logik der Beziehung zwischen dem erprobten Ghostwriter und den aufgeführten Textmängeln nicht ohne weiteres nachvollziehen lässt, „South“ ist unter literarischen Aspekten zweifellos inhomogen. Eine zwanglose Erklärung findet dieser Mangel in den Begleitumständen

des Ersten Weltkrieges und man muss akzeptieren, dass alle, auch „der Boss“, andere Sorgen hatten, als ein gutes Buch zu schreiben. Das heißt aber nicht, dass es quälend wäre den Text zu lesen. Eher ist das Gegenteil zutreffend, „Südwärts“, so der Titel der deutschen Übersetzung, ist in weiten Teilen ein gut zu lesendes, spannendes Opus.

Allerdings ist der Titel „South“, vorsichtig ausgedrückt, nichtssagend und wenig hilfreich („Südwärts“ – southbound trifft die Sache jedenfalls besser). Das Buch beschreibt das Scheitern einer Expedition, die eine Querung des antarktischen Kontinents zum Ziel hatte (offizielle Bezeichnung: Imperial Trans-Antarctic Expedition). Diese Expedition besteht aus zwei Teilen. Der Plan ist, den zwei Jahre zuvor von der zweiten deutschen antarktischen Expedition unter der Leitung von Wilhelm Filchner (1877-1957) entdeckten inneren Teil der Weddellmeeres aufzusuchen und von dieser Position eine Querung des Kontinents möglichst via Pol bis zum Rossmeer durchzuführen. Dazu sollten auf der Strecke vom inneren Rossmeer (Mc Murdo Sound, 77°40' S) bis mindestens zum Fuß des Beardmore-Gletscher (83°45' S) Depots angelegt werden, eine unverzichtbare Voraussetzung zur Verwirklichung der Antarktisquerung. Die Schilderung dieser Expedition („Aurora“-Expedition) nimmt in „South“ 100 Seiten ein (von 347 Seiten ohne Appendix und Apparat).

Aber die Grundvoraussetzung des Expeditionsplans kann nicht erfüllt werden. Die Weddellmeer-Gruppe erreicht nicht ihren geplanten Ausgangspunkt auf dem Filchner Schelfeis. Das Expeditionsschiff „Endurance“ wird durch Eispres-sungen vernichtet. Nach fast sechsmonatiger Driftfahrt auf dem Meereis werden am 11. April 1915 in Sichtweite von Clearence und Elephant Island (S. 182) die Boote zu Wasser gelassen. Nach einer nicht ungefährlichen Überfahrt beginnt man einige Tage später sich auf Elephant Island (61° S, 66° W) einzurichten. Zusammen mit Kapitän Frank Worseley (1872-1943) und vier weiteren Leuten gelingt es Shackleton in einem Beiboot die 715 sm lange Strecke bis zu der Insel Südgeorgien (54°15' S, 34°45' W), auf der sich mehrere Walfangstationen befinden, zurückzulegen. Erst nach vielen weiteren Hindernissen und Abenteuern kann er Monate später die 22 Kameraden von Elephant Island abbergen.

Die Umdeutung der Geschichte des Scheiterns dieser Doppel-expedition in ein Heldenepos ist allerdings weniger der Rezeption von „South“ geschuldet, als vielmehr dem globalen Bestseller von Caroline Alexander 1998: „Die Endurance“. Von der „Aurora“, dem Schiff mit dem das tragische Schicksal der Rossmeer-Gruppe verknüpft ist, erfährt man in diesem Buch nichts. Bei dieser Unternehmung mussten tragischer weise drei Männer ihr Leben lassen.

Frau Lüdecke gibt auch zu diesem Teil des Unternehmens detaillierte Hintergrundinformationen, wobei sie ihren Text mit Angaben zur letzten Expedition Shackletons ausklingen lässt, der am Ort seines Todes, in Grytviken auf Süd Georgien, seine letzte Ruhe fand.

Es gibt nur einen kleinen Wermutstropfen, der der obigen Lobeshymne auf die Herausgabe von „Südwärts“ beizugeben ist: Nicht mit in das Buch aufgenommen wurden die beiden kurzen Anhänge des englischen Originals der Autoren James

Wordie (1889-1962) und Shackleton. Es wäre hinreichend gewesen, die Anhänge in Englisch anzufügen. Aber unabhängig von dieser Mäkelei gibt es nur ein Fazit: Für jeden, der sich für die Geschichte der Polarforschung interessiert, ist es ein Muss, diese Übersetzung in seiner Bibliothek einen prominenten Platz zuzuweisen.

Reinhard A. Krause, Bremerhaven

Alfred Lothar Wegener: Mit Motorboot und Schlitten in Grönland – „Deutsche Grönland-Expedition Alfred Wegener“. Edition Erdmann, Marix Verlag Wiesbaden 2013, 256 S. (ISBN: 978-3-86539-866-6) € 24,00

Ein Polarwerk besonderer Art ist Alfred Wegeners (1880-1930) Buch „Mit Motorboot und Schlitten in Grönland“ an dem die drei Physiker Johannes Georgi (1888-1972), Fritz Loewe (1895-1974) und Ernst Sorge (1899-1946) beteiligt sind. Das Buch wird eingeleitet durch den bekannten Wegener-Biographen Ulrich Wutzke, der weniger auf die Umstände der Buchentstehung eingeht, sondern hier einen Abriss des Wegenerschen Lebens gibt.

Als Wegener 1928 mit seinen drei Gefährten nach Westgrönland aufbricht, hat er bereits dreieinhalb Jahre an den unterschiedlichsten geographischen Orten dieser faszinierenden Insel zugebracht. Der unmittelbare Anlass seiner neuerlichen Rückkehr lässt sich angeben. Ein Kollege hatte ihm von erfolgreichen Messungen der Dicke alpiner Gletscher mit seismischen Methoden berichtet – eine Methode, die sich offensichtlich auch auf das grönländische Inlandeis anwenden lässt. Von dieser neuen Möglichkeit Gebrauch machen zu können, war zweifellos reizvoll, aber nur einer von vielen Punkten, die Wegener als Forschungsprogramm im Rahmen einer umfangreichen Denkschrift darlegt (den vollständigen Text der Denkschrift vgl. z.B. J. Georgi „Im Eis vergraben“ ab 5. Auflage 1936).

Der wichtigste Punkt, die Voraussetzung für viele andere Messprogramme und Aktivitäten, ist jedoch die Einrichtung von drei Stationen auf einer Breite um 71° N. Eine der Stationen soll an der Ostküste, im Gebiet des Scoresbysund die anderen in der Mitte und am Westrand des Inlandeises errichtet werden. Das Material für zwei Expeditionen, immerhin eine Gesamtmasse von über 100 t, muss also von der Westküste auf das Inlandeis geschafft werden. Das Inlandeis hat aber, abgeschirmt durch ein mehr oder weniger ausgeprägtes Küstengebirge, in seinem Randgebiet eine Höhe um 1000 m über dem Meeresspiegel. Der Aufstieg auf dieses Niveau ist nur an den Stellen möglich, an denen Eiskörper die Gebirgsformationen passiert haben und bis in die Nähe des Meeresspiegels vorgezungen sind.

Es gilt also, solche Gletscher aufzufinden, die einen vom Wasser aus gut zu erreichenden, möglichst spaltenfreien, nicht zu steilen Aufstieg ermöglichen, bevor man überhaupt an die Realisierung der Expedition denken kann.

Die Suche nach einem praktikablen Aufstiegsweg zum Inlandeis ist somit die zentrale Aufgabe der Expedition von 1929. Dafür kommt ein Küstenareal von beinahe drei Breitengraden in Betracht. Um ein derartig großes Gelände abzu prüfen, ist ein

solides Boot unumgänglich. Wegener lässt für diesen Zweck in Dänemark ein vergleichsweise schlankes, 10 m langes geklinkertes Boot mit Kajüte und Takelage bauen, die „Krabbe“, in die ein acht PS leistender Glühkopfmotor eingebaut ist. Dieser verleiht dem Schiffchen immerhin eine Geschwindigkeit von sechs Knoten. Das ausgeprägte Eigenleben des „Dan Motors“, das häufig zu humorigen Bemerkungen Anlass gibt, aber in der Anfangsphase der Expedition manches Problem aufwirft, kann nur einer zügeln, nämlich Johannes Georgi. Tatsächlich werden mit dem Boot bis zum Ende der Expedition 2.100 sm zurückgelegt (S. 245).

Die umfangreichen und anstrengenden Erkundungsfahrten kommen Anfang Juli zu einem Ende. In einem Fjord, den die Grönländer Kamarujuk (helle Bucht) nennen (S. 108), beschließt man einen kurz vor dem Ufer endenden Gletscher zu begehen, von dem man aber nicht genau erkennen kann ob er direkt aufs Inlandeis führt. Nach 14stündigem Fußmarsch kommen Georgi und Löwe *mit der überraschenden Nachricht zurück, daß der Gletscher ein unmittelbarer Ausfluss des Inlandeises sei und eine brauchbare Aufstiegslinie darstelle.* Bei dieser Feststellung bleibt es, und in der Folge wird dieser Gletscher genutzt, um Gerätschaften und Proviant (2.000 kg, davon 200 kg Sprengstoff und 530 kg Hundefutter) in das Randgebiet des Inlandeises zu transportieren. Dieses ist eine aufwendige Aktion, die nur durch die Hilfe zahlreicher Grönländer erfolgreich bewältigt wird. Ziel dieser Anstrengungen ist die Durchführung einer größeren Hundeschlittenexkursion samt wissenschaftlichen Messungen auf dem Inlandeis. Die Kapitel, die den Aufstieg und die anschließende erfolgreiche 209 km lange Reise schildern, die sich bis zu einer Höhe des Inlandeises von 2.500 m erstreckt (31.8.1929 S. 182), gehören zu den spannendsten des Buches. Hier nur so viel: Respektvoll sind die diffizilen Arbeiten zur Bestimmung der Eisdicke, die im Wesentlichen von Sorge und Löwe durchgeführt werden (S. 162). 50 km vom Randgebiet wird die Mächtigkeit des Inlandeises zu 1.200 m gemessen, ein Ergebnis, das als beispiellos empfunden und von Wegener gebührend kommentiert wird (S. 167). Die Hundeschlittenfahrten (Sorge und Loewe machen eine Fahrt nach Norden, Wegener, Georgi und der Grönländer Johann reisen nach Osten) werden glücklich beendet. Aber auf dem finalen Abschnitt der Unternehmung kommt es noch zu einem ersten Zwischenfall: Die „Krabbe“ bekommt Eis in die Schraube, die daraufhin unbrauchbar wird. Aber das erprobte Wissenschaftlerquartett hat Glück im Unglück – die Disko Bucht kann mit günstigen Winden durchsegelt, und die gefährliche Einfahrt nach Godhavn im Dunkeln bewältigt werden.

Selbstkritisch hinterfragt Wegener seine Leistungen und die Erfolge und Abenteuer der Expedition und kann dann konstatieren: *Aber wundervoll war es gewesen, dies spannende Leben voller Kampf und Arbeit.*

Ausklingend einige Anmerkungen: Den eigentlichen Erkundungsfahrten lässt Wegener eine sich bis 150 km vom Aufstiegsort erstreckende Handschlittenreise auf das Inlandeis vorangehen, die den vier Reisenden äußerste Anstrengungen abverlangt (S. 45-83). Diese Tour ist aber nicht nur eine wichtige Lektion für die Neulinge der arktischen Reisetchnik, sondern dient insbesondere der Erprobung der Bekleidung, der Zelte und anderer wichtiger Ausrüstungsgegenstände.

Nicht ganz verständlich ist die Gestaltung des Titelblattes des Nachdrucks. Erstens lautet im Original der Name des Verfassers Alfred Wegener und zweitens fehlen die im Original deutlich aufgeführten Namen der Mitautoren. Der Zusatz „Lothar“ der im Nachdruck gegeben wird, ist historisch auch nicht korrekt, da Wegener diesen zweiten Namen bei seinen eigenen Publikationen nie benutzt.

Der Umstand, dass die für das Verständnis des Buches so wichtige Kurskarte, nicht beigegeben, sondern um 20 % vergrößert in den Vorsatz verbannt wurde, ist gegenüber dem Original ein Vorteil.

Ein besonderer Reiz des Buches besteht nach Auffassung des Rezensenten auch darin, dass an vielen Stellen die Wechselwirkung mit der einheimischen grönländischen und dänischen Bevölkerung thematisiert wird. Tobias Gabrielsen (1878-1945, Porträtfoto S. 36), der, wie Wegener, Teilnehmer der Mylius Erichsen-Expedition in Nord-Ost-Grönland 1906-1908 war, übernimmt jeweils die „Krabbe“, wenn sich die Wissenschaftler auf „Landexkursionen“ befinden. Johann Davidson (Lebensdaten. nicht ermittelt, 1929 ca. 40jährig, Porträtfoto S. 173) ist der wichtigste Mann beim Vorstoß ins Inlandeis mit Hundeschlitten im August-September 1929.

Eine weitere Bemerkung sei noch gestattet. Kaum jemand weiß, dass die Originalausgabe seinerzeit mit einem mehrfarbigen, von einem nicht ermittelten Künstler entworfenen Schutzumschlag erschien, der nur schwer nachweisbar ist.

Ein paar Worte zur Ausstattung, die mehr oder weniger alle drei Werke betreffen: Bestechend sind der Ganzleinenband mit Rückenprägung, die gute Bindung, das gute Papier, der klare Satz. Leider weniger überzeugend ist die Qualität der Fotos.

Reinhard A. Krause, Bremerhaven

Jost Auf der Maur & Martin Riggenbach: Xavier Mertz, verschollen in der Antarktis – Das Tagebuch, Die Bilder. Echtzeitverlag Basel, 2013, zwei Bände in Schuber; Bd. 1 Das Tagebuch, 154 S.; Bd. 2 Die Bilder, 192 S., über 100 doppel-seitige Bilder, 2 historische Karten. (ISBN: 978-3-905800-74-6) 58,00 SFr.; 48,00 €

Als Einleitung zum Band 1 schreibt Jost Auf der Maur einen Brief an Xavier Mertz (1882-1913). Mertz war der erste Schweizer in der Antarktis, aber diese Tatsache ist so gut wie vergessen. Er war Alpinist und Schifahrer und übte den Beruf eines Advokaten aus. Mit seinem finanziellen Hintergrund war er in der Elite der Baseler Gesellschaft angesiedelt. Warum er an der Australasian Antarctic Expedition (AAE) teilnahm und warum der Expeditionsleiter Douglas Mawson (1882-1958) ihn angeworben hat, ist nicht eindeutig zu klären. Mertz war für die Schiausrüstung und die grönländischen Hunde verantwortlich aber auch für die Verschiffung der physikalisch-meereskundlichen Ausrüstung die ein Geschenk des monegasischen Prinzen, des Fürsten Albert I, war. Auf der Maur beschreibt einige Motivationen der Expeditionsteilnehmer die als typisch für die „Heroic Age“ angesehen werden. Mertz schien alle diese Anforderungen zu erfüllen. Auf der Maur gibt auch Einblick in die zwischenmensch-

lichen Verbindungen wie etwa die Freundschaft zwischen Mertz und dem jungen Offizier, Belgrave Edward Sutton Ninnis (1887-1912) welche schon in der Anfangsphase der Expeditionsvorbereitungen begonnen hat. Beide arbeiteten auch die meiste Zeit zusammen.

Als die „Aurora“ am 27. Juli 1911 auslief nahm Mertz seinen ersten Tagebucheintrag vor (S. 17/18). Danach folgt die Beschreibung der Familie Mertz in Basel und Xaviers Kindheit bis zur Aufnahme in das Expeditionsteam. Die genauen, fast minutiösen, Ausführungen zeigen von gewissenhafter und detailgetreuer Forschung um das Leben von Mertz nachzuzeichnen. Die Quellenlage ist mehrmals lückenhaft, aber Auf der Maur ist hier sehr gewissenhaft und erdichtet nicht „Lückenfüller“. Er ist weit davon entfernt Mertz als einen bloßen Abenteurer auszuweisen.

Mertz schreibt sehr ehrlich in seinem Tagebuch über die Verhältnisse an Bord und während des Aufenthaltes in der Antarktis. Er fühlt sich manchmal nicht recht wohl unter den „Engländern“ und versucht sich anzupassen oder vergleicht Verhalten und Erfahrungen der Seeleute und Bergsteiger um selbst in dieser Gruppe seinen Platz zu finden: „[...] *Seekrank wurde ich zum Glück nicht. Darauf habe ich im Stillen einen Stolz. Die Engländer müssen nicht glauben, dass wir Schweizer gar keine Seeleute sein können. [...] In den Bergen braucht es schwindelfreie Leute, doch auf See desgleichen.*“ (S. 27)

Mertz wird jedoch nicht nur in seinen Tagebucheinträgen, die im Text abgehoben gedruckt sind, zitiert sondern auch seine Briefe die er am Weg von London bis in die Antarktis schrieb, werden herangezogen um ihn in seinem Umfeld vorzustellen. Er macht Fotoaufnahmen auf der Überfahrt von England nach Hobart, er versucht sich einzugliedern, er arbeitet und studiert geologische, meteorologische und kynologische Literatur. Sein größtes Hindernis ist die Sprache. Er selbst vermerkt, dass seine Fehler im Englischen so „blöd“ (S. 36) seien, dass sie als Witz wirken und das der Grund für Hänseleien sei. Mertz hilft an Bord aus wo Hilfe gefragt ist, wie etwa als Heizer als dieser wegen Fieber ausfiel.

In Hobart angekommen, wurde das Schiff überholt. Die Expeditionsteilnehmer treffen ein und alles ist in Bewegung um die letzten Vorbereitungen durchzuführen. Nach dem Auslaufen von Hobart war die erste Station Macquarie Island. Hier nahm die Expedition beinahe ihr Ende, doch das Schlimmste konnte abgewendet werden. Es wurde sichtbar wo die Probleme lagen wie etwa in der Überladung des Schiffes. Am 29. Dezember 1911 schreibt Mertz von der Sichtung der ersten Eisberge. Die Ereignisse nach dem Erreichen auf Cape Denison sind sehr anschaulich ausgeführt und Auf der Maur gibt detaillierte Einblicke in die sozialen Gegebenheiten innerhalb der Männergesellschaft an solch einem abgeschiedenen und unbittlichen Ort. Es wird aber auch auf vorhandene Missstände in der Organisation eingegangen. Es wird nicht angeklagt oder „schlecht gemacht“, die Situation wird nüchtern erwähnt und stellt somit einen weitreichenden Kontext her der der Unternehmung ein vollständigeres Bild verleiht.

Das letzte Kapitel ist mit der Überschrift „Verloren im Eis“ versehen. Die Anstrengungen dieser Schlittenreise sind unermesslich. Die ständigen Winde, die überladenen Schlitten und

das gnadenlose Gelände durchzogen mit Gletscherspalten machen den drei Teilnehmern das Leben schwer. Mawson, Ninnis und Mertz kämpfen auch gegen die Zeit. Ihre Rückkehr wird bis spätestens 15. Januar 1913 erwartet aber das Terrain ist schwerer zu durchreisen als angenommen. Die ersten Hunde werden erschossen um für ihre Artgenossen als Nahrung zu dienen. Die Kalorienzuteilung für die drei Männer stellt sich ebenfalls als unzureichend heraus. Am 18. November geht das Messrad kaputt und die Entfernung kann nun nicht mehr abgelesen werden. Ohne diese Vorrichtung musste die Wegstrecke mit dem Theodoliten und der genauen Uhrzeit ausgerechnet werden. Mertz machte Eindruck auf Mawson durch seine fast unerschöpfliche Leistungsfähigkeit. Das Fortkommen war mühsam. Ninnis litt an einer Entzündung an der Hand die ihn nicht mehr schlafen ließ vor lauter Schmerzen. Mawson litt an neuralgischen Schmerzen der unteren linken Gesichtshälfte. Auch die Hunde sind am Ende ihrer Kräfte. Man entschließt sich nur noch zwei Schlitten zu gebrauchen. Die Ladungen waren ungleich verteilt. Den Schlitten den Ninnis Hunde ziehen mussten, war mit dem Großteil der Nahrungsmittel beladen. Der 13. Dezember 1912 war ein sonniger Tag, alles schien gut zu verlaufen. Es war jedoch der Tag an dem Ninnis in eine Gletscherspalte einbrach und sein Leben verlor. Für Mertz war dies ein Schock, war Ninnis doch sein einziger wirklicher Freund während der letzten Monate gewesen. Der Schlitten war ebenfalls verloren und mit ihm die Lebensmittel und ein Großteil der Ausrüstung. 507 km von Cape Denison entfernt hatte diese Unternehmung kaum eine Chance zu überleben. Die Empfindungen die Mertz zu diesem Zeitpunkt hatte, sind auf den zwei einzigen Originalseiten seines Tagebuches erhalten und geben ein erschütterndes Zeugnis seiner tiefen Trauer (s. Lucas & Lean 2012, Polar Record 49: 297-306). Mit dem Wenigen was ihnen noch geblieben war, versuchten Mawson und Mertz ihre Fahrt wieder aufzunehmen. Ihre Anstrengungen waren enorm und trotz der schwindenden Kräfte legten sie eine beachtliche Strecke zurück. Alles was sie noch mitführten, konnte manchmal sehr zweckentfremdet verwendet werden. Das Gepäck wurde aber weiter reduziert und unter anderem auch die gesamte Fotoausrüstung mit samt den bisher gemachten Aufnahmen zurückgelassen. Am 25. Dezember waren sie noch 258 Kilometer von der Hütte in Cape Denison entfernt. Am 28. Dezember erschoss Mertz den letzten Hund der sie bis dahin begleitet hatte und zu dem Mertz eine besondere Beziehung hatte. Mertz wurde stiller und schwächer. Am 1. Januar 1913 macht er die letzte Eintragung in seinem Tagebuch. Mawson ist hin und hergerissen zwischen dem Weiterkommen und der Rücksicht auf Mertz. Die Situation wird immer prekärer. Am 8. Januar 1913 stirbt Mertz. Mawsons ist immer noch 160 km von der Basisstation entfernt.

Im Anhang wird Mawsons einsamer Weg kurz dargestellt. Der medizinische „Verdacht“ wird diskutiert, der in einer Vitamin A Vergiftung zu suchen sei. Aber auch der Seelenzustand von Mertz nach dem Tod seines Freundes und dem Ende seiner Hunde, die in einer solch unerbittlichen Gegend immer wieder ein emotionaler Anker für die Männer waren, wird als mögliche Todesursache zusätzlich zu den schier unmenschlichen Anstrengungen diskutiert. Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit der Todesnachricht, dem Mertz-Gletscher und dem Tagebuch und dessen Verbleib. Es ist nur noch eine unpräzise ausgeführte Abschrift des Tagebuchs erhalten wenn man die beiden Originalseiten damit vergleicht. Der Luft-

schlitten und ein Meteoritenfund nahe Cape Denison, der als erster Fund seiner Art in der Antarktis anerkannt ist, wird ebenfalls festgehalten. Der letzte Teil des Anhangs ist mit kurzen Biographien der Expeditionsteilnehmer ergänzt.

Das kurze Leben von Xavier Mertz ist hier in eindrucksvoller Weise dargestellt und in einen umfassenden Kontext eingebettet. Die Ereignisse sind erzählerisch spannend ausgeführt. Es ist nur bedauerlich, dass nicht das gesamte Tagebuch als solches wiedergegeben ist. Somit ist der Titel „Das Tagebuch“ ein wenig irreführend.

Band 2 ist den Bildern gewidmet die von Frank Hurley (1885-1962) und Xavier Mertz stammen. Martin Riggbach gibt einen kurzen Überblick über die Entdeckung des antarktischen Kontinents. Er stellt als Gegenstück die Entdeckung Grönlands durch den Schweizer Alfred de Quervain dar die zur gleichen Zeit stattfand als Mertz bereits in der Antarktis war. Beide Orte bestehen nur aus Eis, so die ernüchternde Schlussfolgerung. Weiters gibt er einen kurzen Überblick der Entwicklung der Fotografie. So erfahren wir auch, dass Sir John Franklin als erster Polarforscher die Fotografie als Mittel einsetzte. Allerdings ist nicht mehr viel davon erhalten weil dies Franklins letzte Unternehmung war. Doch Riggbach sieht dies als Beginn der Reisefotografie. Triebfeder dieser Art von Fotografie hatte private, kommerzielle und militärische Hintergründe. In relativ kurzer Zeit haben sich verschiedene Verfahren der Fotoherstellung entwickelt, doch bis zu der Australasian Antarktischen Expedition waren die Verfahren schon recht gut auch von Amateuren zu gebrauchen. Mertz hat in seiner Bewerbung zu dieser Expedition sogar angegeben: „*Photographiere seit rund zehn Jahren*“ (S. 337). Mertz beginnt schon auf der Überfahrt von London nach Tasmanien seine Bilder zu entwickeln um sie vor seiner Abreise ins Eis noch nachhause schicken zu können. Mawson selber sieht in der Fotografie eine Möglichkeit seine Geschichten zu „visualisieren“ um damit die angespannte finanzielle Lage zu lindern, die mit der Expedition verbunden war. Riggbach erzählt auch von Frank Hurley und seiner ausgeprägten künstlerischen Veranlagung wenn es um Motive in der Fotografie geht.

Die Bilder in diesem Band sind chronologisch angeordnet. Trotz der anstrengenden Aufbauarbeiten der Hütten und wissenschaftlichen Einrichtungen auf Cape Denison werden viele Bilder aufgenommen um die Ereignisse festhalten. „*Ab jetzt beginnen die Grenzen zwischen Dokumentation, Arrangement und Inszenierung zu zerfließen*“ (S. 340) Die bekannten Bilder die während eines Orkans aufgenommen wurden, sind orchestriert trotz der widrigen Umstände. Hier geht Riggbach ins Detail um auf die Qualität der Aufnahmen aufmerksam zu machen. Selbst die Entwicklung der Bilder ist fast so abenteuerlich wie die Expedition selbst.

Während Hurley oft großen Aufwand betrieb und daher künstlerische Fotos schaffte, hat Mertz mehr an dokumentarischem Wert vorzuweisen (S. 343). Vor allem auf den Schlittenreisen fotografierte Mertz und hinterlässt so wertvolle Zeugnisse der Ereignisse. Die Bilder werden noch Gegenstand heftiger Debatten sein; der größte Anteil der Mertzschen Bilder befindet sich heute in der State Library of New South Wales in Sydney, Australien, da Mawson diese für seine Expeditionsberichte verwendet hat nachdem die Kommunikation zwischen ihm und Hurley eine negative Wendung nahmen.

Die Bildlegenden und die Einteilung der Bilder sind nach der Einführungen zu finden mit genauen Angaben der Größe und dem Aufbewahrungsort der Originale.

Die beiden Bücher werden in einer Kartonverpackung geliefert und diese enthält zusätzlich noch zwei Karten in sehr guter Qualität. Die Karten sind auf einem Bogen Papier abgedruckt wobei eine die „Australasian Antarctic Expedition of King George V Land“ zeigt und eine „Regional Map showing the area covered by the Australasian Antarctic Expedition 1911-1914“. Die Beschreibung der Karten mit Übersetzung der Angaben folgt auf Seite 350 des zweiten Bandes. Es wird auch noch eine chronologische Liste der Fahrten des Expeditionsschiffes „Aurora“, angefügt (S. 351).

Die beiden Bücher sind sehr wertvolle Beiträge zur Geschichte der Antarktis weil sie einem kaum bekannten Teilnehmer gewidmet sind und von der Hervorhebung der üblichen Charaktere abweicht. Mertz wird nicht als Schweizer Held gefeiert. Sein privates und historisches Umfeld ist gut miteinander verwoben und gibt ein umfassendes Bild der Zeit der ersten Antarktisexpeditionen und der Männer die an der Gestaltung dieser Geschichte mitwirkten. Xavier Mertz war einer von ihnen. Der einzige Kritikpunkt ist der Titel des ersten Bandes wie oben erwähnt. Selbst wenn jemand mit der Geschichte der Polarforschung vertraut ist, geben diese beiden Bände interessante Einsichten in diese Materie.

Ursula Rack, Christchurch

Noack, G.: Antarktis – Abenteuer Wissenschaft. Ein Lausitzer im ewigen Eis.- REGIA Verlag, Cottbus, 2014, 358 S., 2 Kartenskizzen im Anhang (ISBN 978-3-86929-250-2) € 19,95

Gerold Noack, Geodät und heute Professor an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, war der Leiter der letzten Überwinterermannschaft auf der Antarktisstation „Georg Forster“. Im Buch beschreibt er episodenhaft seine Eindrücke und Erlebnisse bei der Vorbereitung und auf der von Oktober 1990 bis März 1992 dauernden Expedition. Einsatz und Programm der nur vierköpfigen deutschen Gruppe wurden letztmalig vom Zentralinstitut für Physik der Erde in Potsdam geplant und ausgerichtet. Das Alfred-Wegener-Institut übernahm im Verlauf der Expedition deren Betreuung und die Gruppe wurde vom „FS Polarstern“ am Expeditionsende abgeholt. Die in der Schirmacheroase (Dronning Maud Land) seit 1976 bestehende DDR-Station ist nach dieser Expedition nur noch für Saisonarbeiten genutzt und 1996 im Rahmen eines deutsch-russischen Projektes zurückgebaut und entsorgt worden.

Das Buch beschreibt in sehr gut lesbarer Weise die Gedanken und Empfindungen der fern von der Heimat arbeitenden Ostdeutschen, die einerseits die enormen Veränderungen daheim registrieren, andererseits aber von den konkreten alltäglichen Gegebenheiten ihrer polaren Umgebung geprägt werden. Noack reflektiert dies anekdotenhaft mit einem hintergründigen Humor. Er beschreibt den einfach strukturierten regelmäßigen Tagesablauf der Überwinterer, bei dem die Arbeit sich als das beste Mittel gegen Depression in der Polarnacht erweist. Dabei ist die Gruppe immer wieder Situ-

ationen ausgesetzt, die neue und untrainierte Handlungen erfordern. Das beginnt beim Backen von Frühstücks- oder gar Geburtstagskuchen, setzt sich fort im Finden einer Route bei der Erstbesteigung des über 3000 m hohen Mt. Ritscher und endet bei der Bergung eines in eine Gletscherspalte gerutschten Kettenfahrzeuges. Der Autor verschweigt dabei nicht die Fehlversuche der Beteiligten, die – in Anlehnung an einen geografischen Begriff der Antarktis – ihre Station als „Pol der relativen Unzulänglichkeit“ beschreiben. Die Überwinterer sind gezwungen immer wieder Neues auszuprobieren und Gerold Noack tut dies mit Freude sowohl in der Arbeit als auch in der Freizeit, in der er Dunkelkammer und Billardtisch kennen und schätzen lernt. Erfolge und Misserfolge seiner Vermessungsarbeiten werden geschildert, die in von ihm nicht erwartetem Maße wetterabhängig sind. Sehr eindrücklich sind die Beschreibungen von Schneesturm oder von Naturschauspielen wie Polarlichtern, Farben des Himmels oder seltenen Wetterereignissen.

Von historischem Interesse sind die Funkkontakte der Vorgängergruppe zur deutschen „Damenmannschaft“ der „Georg von Neumayer Station“, die Noack während seiner ersten Antarktissaison miterlebte. Für seine Vorgänger waren diese Gespräche der sonntägliche Höhepunkt der Woche und betrafen alle Dinge der Arbeit, des Alltags und die zu erwartenden neuen Umstände in der ehemaligen DDR.

Nach der Abreise der Altüberwinterer, von denen ein Teil die Wende in der DDR nur durch Radio, Briefe und Fernschreiben erlebt hatte, finden sich die vier verbleibenden Deutschen zusammen. Die Aufgaben, aber auch besonderen Eigenschaften jedes Einzelnen werden beschrieben. Obwohl sie einander vorher kaum gekannt haben, entwickelt sich eine gut funktionierende Mannschaft. Sehr humorvoll werden die stets wiederkehrenden Redewendungen einzelner Protagonisten zitiert.

Einen breiten Raum nimmt die Beschreibung des Zusammenlebens der „Bevölkerung“ der Schirmacheroase ein, die sich aus Indern, Deutschen und Einwohnern der ehemaligen Sowjetunion – keinesfalls nur Russen – zusammensetzte. Die drei benachbarten Stationen „Georg Forster“, „Novolazarevskaya“ und „Maitri“ beherbergen Menschen unterschiedlicher Rasse, Religion und Kultur, die miteinander nicht nur auskommen, sondern sich ergänzen, im Alltag wie in Notlagen helfen und dadurch einander bereichern. Dabei lässt uns der Autor in indische Kochtöpfe und russische Seelen schauen. Gut nachvollziehbar ist seine Unsicherheit in fremden Sprachen, die eine gute Vorbereitung beispielsweise von offiziellen Reden erfordert. Nationalfeiertage werden gemeinsam begangen, Geburtstage gemeinsam gefeiert, Schlittenzüge zur Versorgung der Stationen gemeinsam geplant und ausgeführt. Als Höhepunkt der internationalen Beziehungen wird ein gemeinsamer Wochenendausflug der drei Stationsleiter in das „Domik“ genannte deutsche Häuschen im Westteil der Oase geschildert. In Klausur sprechen sie dort nicht nur über die Probleme ihrer Stationen, sondern kochen, wandern und philosophieren miteinander wie alte Freunde.

Zwischen den Schilderungen einzelner Begebenheiten wird der Leser über naturwissenschaftliche und historische Fakten informiert. Der Autor nennt nicht nur Daten aus Geologie, Geografie oder des Klimas, sondern erklärt in sehr anschauli-

cher Weise die Ursachen für die von ihm beschriebenen Phänomene wie zum Beispiel die Himmelsmechanik mit ihren von Milanković entdeckten Zyklen als Grund der langzeitlichen Veränderung der Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche oder verschiedene Formen von Gletscherspalten als Folge unterschiedlichen Fließens von Eis. Kleine Wiederholungen dabei sind dem Verfasser nachzusehen, wie auch eine Inhomogenität bei der Transliteration russischer Namen, die in der Nachauflage einheitlich geschrieben werden sollten.

Beigefügt sind dem Buch biografische Informationen, Meinungsäußerungen der Mitüberwinterer, Tabellen zum zeitlichen Ablauf und zu den Expeditionsteilnehmern, zahlreiche Farbbildungen sowie zwei orientierende Kartenskizzen. Es ist dem Werk eine 20jährige Reifezeit anzumerken, die aber nichts an der Frische der Schilderungen ändert. Es wird sicherlich Polarforscher besonders interessieren, die die Schirmacheroase bereist oder gar selber dort gearbeitet haben. Die flüssige Schreibweise macht es aber für jedermann sehr gut lesbar und ermöglicht einen Einblick in den Alltag des „Abenteurers Wissenschaft“.

Diedrich Fritzsche, Potsdam

Gerard, Vern: With Hillary at Scott Base – a Kiwi among the penguins. Bateson Publishing Ltd., Wellington, New Zealand, 2012, 147 p +XVI p, illustrated, softcover, (ISBN 978-1-877520-07-5) £ 29.00

Vernon (Vern) Bruce Gerard, geboren 1924, gehörte 1957 als einziger Physiker der Gruppe von Neuseeländern an, die erstmals auf der für das Internationale Geophysikalische Jahr neu errichteten Station „Scott Base“ in der Antarktis überwinterte. Leiter dieser Mannschaft war Edmund Hillary. Gerard schildert die Wahl des Stationsstandortes, der ursprünglich bei „Butter Point“ auf dem Kontinent gegenüber von Ross Island geplant war. Wegen der Meereis-Situation 1957 konnte das Expeditionsschiff „Endeavour“ nicht nahe genug an diesen Platz heran kommen. Der endgültige Standort, „Pram Point“ genannt, lag nur 3 km entfernt von der US-amerikanischen Station „McMurdo“, beide auf Ross Island gelegen. Dadurch war größere logistische Unterstützung durch die Nachbarn möglich als ursprünglich geplant. Die Amerikaner halfen den „Kiwis“ wo immer möglich. Sie schlugen einen Bauplatz vor und planierten diesen. Gegenseitige Besuche waren häufig, insbesondere im Polarwinter. Kenner der Geschichte der ehemaligen Antarktisstation „Georg Forster“ der DDR werden an deren Verhältnis zur sowjetischen Nachbarstation erinnert.

Im Buch beschreibt Gerard in 19 Kapiteln seine Expeditionserlebnisse und spätere Gedanken hierüber wobei er auf Tagebuchaufzeichnungen zurückgreift. Der Text entstand weitgehend vor über 50 Jahren und wurde vom Autor 2011 und 2012 überarbeitet. Zu dieser Zeit lebten noch sieben der 23 ehemaligen Expeditionsteilnehmer. Neben der Errichtung von „Scott Base“ bestand eine der wesentlichen Aufgaben der Neuseeländer darin, eine geeignete Route in Richtung Südpol zu finden, auf der Route Versorgungsdepots anzulegen und so die Commonwealth Trans-Antarctic Expedition (TAE) unter Vivian Fuchs zu unterstützen. Dieser Aufgabe widmete sich Edmund Hillary schon während des Stationsbaus 1956/57. Im Sommer 1957/58 entscheidet Hillary am letzten planmä-

ßigen Depot weiter bis zum Pol zu gehen, was mit modifizierten landwirtschaftlichen Traktoren der Firma „Ferguson“ erfolgt und sich in den Augen der Medien als Wettrennen zum Pol Fuchs gegen Hillary gestaltet das Hillary für sich „entscheidet“. Die Neuseeländische Expedition ist damit nach Amundsen und Scott die Dritte, die diesen Punkt auf dem Landwege erreicht. Mit der Durchquerung Antarktiks wurde Shackletons Plan der „Endurance“-Expedition verwirklicht.

Ein Problem der Neuseeländer bestand darin, einerseits eine Forschungsstation im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGJ) zu errichten und zu betreiben, wofür lediglich fünf Wissenschaftler und Techniker vorgesehen waren, andererseits einen Teil der Logistik für die TAE zu sichern. Das führte zu sehr unterschiedlichen Herangehensweisen, einer eher militärischen der teilweise aus Kriegsveteranen bestehenden Logistikgruppe und einer auf wissenschaftliche Untersuchungen ausgerichteten. Während des IGJ sollten auf „Scott Base“ Beobachtungen auf den Gebieten Polarlicht, Geomagnetismus, Ionosphäre, Seismologie und Meteorologie erfolgen. Hillary übernahm die Leitung beider Gruppen, obwohl er wenig von Wissenschaft verstand.

Für Gerard war die Zeit ausgefüllt mit dem Aufbau eines magnetischen Observatoriums, für das er zuständig war und das mit Beginn des IGJ Mitte 1957 arbeitsfähig sein musste. Die Stationslage auf vulkanischem Gestein war für geomagnetische Messungen wenig geeignet. Während der Überwinterung hatte er in der Messhütte alle 12 Stunden das Registrierpapier zu wechseln und wöchentliche Absolut-Messungen durchzuführen. Dies erfordert bei jedem Wetter den Gang zum Observatorium, um eine lückenlose Aufzeichnung zu garantieren. Sehr anschaulich beschreibt er einen solchen Gang in der Polarnacht während eines Schneesturms. Wie alle Überwinterer ist Gerard außerdem für Stations- und Küchendienste eingeteilt. Ende 1958 kommt Gerard nochmals nach „Scott Base“ zurück und schildert bedrückende Zustände die er dort vorfindet. Das Magnetik-Programm ist von unqualifiziertem Personal betreut worden und die Aufzeichnungen sind durch Unachtsamkeit gestört. Die niedergedrückte Atmosphäre auf der Station ist teilweise wohl auf den freien Zugang zum Alkohol zurückzuführen.

Im ersten Teil des Buches benutzt der Autor vorwiegend seine Tagebuchtexte. Er betont das Interesse Neuseelands an der Antarktis, was sich in der 1923 beanspruchten New Zealand Dependency ausdrückt, allerdings dort zunächst nicht zu substantieller Forschung führte. Gerard war bereits 1947 in die Planung eines geomagnetischen Observatoriums einer zu gründenden Neuseeländischen Antarktisstation einbezogen. Erst im IGJ wurden die Pläne mit dem Bau der „Scott Base“ umgesetzt und er wurde als Geomagnetiker in die Expeditionsmannschaft aufgenommen. Mit jugendlicher Frische beschreibt Gerard seine Vorbereitung im Trainingscamp auf dem Tasman-Gletscher der Southern Alps in dem er den Umgang mit Skiern und Traktoren beigebracht bekommt.

Die Überfahrt in die Antarktis auf einem überfüllten US-amerikanischen Eisbrecher und die Suche nach einem geeigneten Platz zum Stationsbau werden geschildert, wie auch der Aufbau von „Scott Base“ aus vorgefertigten Hüttensegmenten. Am 20. Januar 1957 wird die Station eröffnet

und Ende Februar beginnt die Überwinterung. Jeder Mann erhält seine persönliche Schlafkabine, die nach einer Idee von Hillary konstruiert ist. Ehe der Winter einbricht werden Schlittentouren zum Testen der für die Südpolroute vorgesehenen Ausrüstung unternommen. Es werden historische Plätze der Umgebung besucht und dabei Gegenstände der Scott Expedition entdeckt. Im Winter konstruieren die Männer einen Kabinenschlitten für die vorgesehene Traverse, in dem man Kochen und Schlafen konnte und in dem sich die Funkstation befand. Der Autor nimmt an Flügen teil, die mit den kleinen Expeditionsflugzeugen auch im Winter unternommen werden. Die Amerikaner ermöglichen ihm einen Flug über den Südpol.

Gerard beschäftigt sich mit Fotografie, belegt Kurse im Funken, in Navigation und erster Hilfe einschließlich „Zähne ziehen“ ohne Betäubung. Unterhaltsam sind die Beschreibungen der Mahlzeiten, die an Sonntagen – zur Entlastung des Kochs – der Reihe nach von den anderen Expeditionsmitgliedern zubereitet werden. Kunstvoll gestaltete Menükarten gehören dazu. Zur Mitwinterfeier bekommt jeder eine solche Karte mit seinem Portrait. Dem Dinner schließen sich Wein- und Zigarrenrunden mit Gesang an und Höhepunkt ist die aus Neuseeland übertragene Funksendung am Sonntagabend.

Während der Überwinterung wird die Zeit unter anderem mit Vorträgen der Expeditionsteilnehmer über alle möglichen Themen, mit Schach- und Bridgespielen sowie Malen und Fotografieren gefüllt. Die Schlittenhunde werden für die Sommerkampagne trainiert. An den Sonnabendabenden erfolgt die Vorführung von Filmen, die man von den Amerikanern ausleiht. Es entstehen auch seltsam anmutende Ideen. So wird als Antwort auf den sowjetischen Sputnik-Start auf „Scott Base“ darüber nachgedacht, von dort ebenfalls einen Satelliten zu starten, wofür man eine mehrstufige Rakete aus 500-1000

Feststoff-Hilfsbrennern von amerikanischen Flugzeugen, so genannten „jeto bottles“, bauen will.

In der anschließenden Sommersaison wird die amerikanische Station „McMurdo“ häufig von Neuseeland aus angefliegen, was die Versorgung der Mannschaft mit Post, Zeitungen und frischem Obst und Gemüse möglich macht. Ein spektakuläres Ereignis ist die Ankunft eines Charterflugzeugs mit Bauleuten der US Navy, weil zur Mannschaft zwei Stewardessen gehören. Humorvoll schildert der Autor ein amerikanisch-neuseeländisches Hundeschlittenrennen mit je einer der Damen auf jedem Schlitten.

Im zweiten Teil des Buches informiert Gerard über das Brutverhalten von Kaiser- und Adeline-Pinguinen, vergleicht die Umstände seiner Expeditionen mit denen von Scott 1911/1912 und geht auf den Antarktismus ein. Dabei berichtet er u.a. über Hintergründe des Flugzeugunglücks am Mt. Erebus im Jahr 1979. Gerard arbeitet später im National Physical Laboratory bei London an Atomuhren, dann auf dem Gebiet der Aeromagnetik in Neuseeland, und baut dort den ersten Gas-Laser. Für seine Pionierarbeiten erhielt er 1960 die „Polar Medal“ im Buckingham Palace von der Mutter der Queen überreicht. Zur Millenniumsfeier 2000 kehrt er noch einmal mit Expeditionskameraden nach „Scott Base“ zurück.

Das flüssig und unterhaltend in Englisch geschriebene Buch gibt authentische Einblicke in die Geschichte der ersten neuseeländischen Überwinterung auf „Scott Base“. Die Schilderungen von der Überwinterung zeigen viele Parallelen zu anderen Antarktisexpeditionen vor und nach dem IGJ. Zahlreiche teils farbige Abbildungen ergänzen den Text.

Diedrich Fritzsche, Potsdam

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR POLARFORSCHUNG E. V.
Konten: Postbank Hannover, BLZ 250.100.30, Konto-Nr. 1494.306 – Deutsche Bank Hamburg, BLZ 200.700.24, Konto-Nr. 5703459.00
Bank transfer from abroad: Postbank Hannover, IBAN DE15 25010030.0001 4943.06 BIC PBNKDEFF
Deutsche Bank Hamburg, IBAN DE 34 2007.0024.0570.3459.00 BIC DEUTDE33HAN

Vorstand <i>Board of Directors</i>	Eva-Maria Pfeiffer, Hamburg, 1. Vorsitzende, <i>Chair</i> Heidmarie Kassens, Vorsitzende des Wiss. Beirats, <i>Chair of the Scientific Advisory Board</i> Ralf Tiedemann, Bremerhaven, Geschäftsführer, <i>General Secretary</i> Mirko Scheinert, Dresden, Schatzmeister, <i>Treasurer</i>		
Erweiterter Vorstand <i>Extended Board of Directors</i>	Eva-Maria Pfeiffer, Hamburg, 1. Vorsitzende, <i>Chair</i> Heidmarie Kassens, Kiel, Vorsitzende des Wiss. Beirats, <i>Chair of the Scientific Advisory Board</i> Detlef Damaske, Hannover, stellv. Vorsitzender des Wiss. Beirats, <i>Vice Chair of the Scientific Advisory Board</i> Ralf Tiedemann, Bremerhaven, Geschäftsführer, <i>General Secretary</i> Dieter K. Fütterer, Bremerhaven, Schriftleiter, <i>Executive Editor</i>	Angelika Brandt, Hamburg, 2. Vorsitzende, <i>Vice Chair</i> Mirko Scheinert, Dresden, Schatzmeister, <i>Treasurer</i> Michael Spindler, Kiel, Schriftleiter, <i>Executive Editor</i>	
Wissenschaftlicher Beirat <i>Scientific Advisory Board</i>	Detlef Damaske, Hannover Hartmut Hellmers, Bremerhaven Enn Kaup, Tallin Hans-Ulrich Peter, Jena	Dieter K. Fütterer, Bremerhaven Monika Huch, Adelheidsdorf Cornelia Lüdecke, München Birgit Sattler, Innsbruck	Günther Heinemann, Trier Heidmarie Kassens, Kiel Christoph Mayer, München Jörn Thiede Kiel/St. Petersburg
Geschäftsstelle / <i>Office</i>	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Postfach 12 01 61, D-27515 Bremerhaven		
Mitgliedschaft <i>Membership</i>	Der jährliche Mitgliedsbeitrag beträgt € 30.00 für ordentliche Mitglieder, € 12.50 für Studenten, € 60.00 für korporative Mitglieder. Beitrittserklärungen sind an die Geschäftsstelle zu richten. Die Mitgliedschaft umfasst den Bezug der Zeitschrift Polarforschung. <i>Membership is by calendar year. Dues are: € 30.00 full members, € 12.50 student members, € 60.00 corporate members. Membership forms can be obtained from the website at www.dgp-ev.de. Members receive the journal Polarforschung. Single copies of Polarforschung may be purchased for € 20.00 each.</i>		

POLARFORSCHUNG

Organ der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR POLARFORSCHUNG E. V.
Journal of the German Society for Polar Research

Schriftleiter / <i>Editors</i>	Dieter K. Fütterer, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Postfach 12 01 61, D-27515 Bremerhaven Michael Spindler, Institut für Polarökologie, Universität Kiel, Wischhofstraße. 1-3, Gebäude 12, D-24148 Kiel		
Redaktionsausschuss <i>Editorial Board</i>	Manfred Bölter, Kiel Reinhard Dietrich, Dresden Rolf Gradinger, Fairbanks Heidmarie Kassens, Kiel Heinz Miller, Bremerhaven Franz Tessensohn, Hannover	Horst Bornemann, Bremerhaven Hajo Eicken, Fairbanks Monika Huch, Adelheidsdorf Enn Kaup, Tallin Hans-Ulrich Peter, Jena Rainer Sieger, Bremerhaven	Jörn Thiede, Kopenhagen / Kiel Detlef Damaske, Hannover Joachim Jacobs, Bergen Cornelia Lüdecke, München Helmut Rott, Innsbruck Dietmar Wagenbach, Heidelberg

Mitteilungen für die Autoren: Die Zeitschrift POLARFORSCHUNG, herausgegeben von der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR POLARFORSCHUNG E.V. (DGP) und dem ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG (AWI) dient der Publikation von Originalbeiträgen aus allen Bereichen der Polar- und Gletscherforschung in Arktis und Antarktis wie in alpinen Regionen mit polarem Klima. Manuskripte können in englischer (bevorzugt) und deutscher Sprache eingereicht werden und sind zu richten an: Deutsche Gesellschaft für Polarforschung, Schriftleitung Polarforschung, c/o Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Postfach 12 01 61, D-27515 Bremerhaven, E-mail: <Dieter.Fuetterer@awi.de>. Eingesandte Manuskripte werden Fachvertretern zur Begutachtung vorgelegt und gelten erst nach ausdrücklicher Bestätigung durch die Schriftleitung als zur Veröffentlichung angenommen. Für detaillierte Angaben zur Manuskripterstellung siehe die Web-Seite der DGP: <<http://www.dgp-ev.de>>

Erscheinungsweise: POLARFORSCHUNG erscheint ab Jahrgang 2011, Band 81 mit jährlich zwei Heften

Open access: Alle Artikel sind in elektronischer Form im Internet verfügbar <<http://www.polarforschung.de>>. POLARFORSCHUNG ist im Directory of Open Access Journals (DOAJ) <<http://www.doaj.org>> geführt.

Bezugsbedingungen: Für Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung e.V. (DGP) ist der Bezugspreis für die Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten. Für Nichtmitglieder beträgt der Bezugspreis eines Heftes € 30,00; Bezug über den Buchhandel oder über die Geschäftsstelle.

Information for contributors: POLARFORSCHUNG – published by the DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR POLARFORSCHUNG (DGP) and the ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG (AWI) – is a peer-reviewed, multidisciplinary research journal that publishes the results of scientific research related to the Arctic and Antarctic realm, as well as to mountain regions associated with polar climate. The POLARFORSCHUNG editors welcome original papers and scientific review articles from all disciplines of natural as well as from social and historical sciences dealing with polar and subpolar regions. Manuscripts may be submitted in English (preferred) or German. In addition POLARFORSCHUNG publishes Notes (mostly in German), which include book reviews, general commentaries, reports as well as communications broadly associated with DGP issues. Manuscripts and all related correspondence should be sent to: Deutsche Gesellschaft für Polarforschung e.V., Editorial Office POLARFORSCHUNG, c/o Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, PO Box 12 01 61, D-27515 Bremerhaven, e-mail <Dieter.Fuetterer@awi.de>. Manuscripts can be considered as definitely accepted only after written confirmation from the Editor. – For a detailed guidance of authors please visit the DGP web page at: <<http://www.dgp-ev.de>>

Publication: POLARFORSCHUNG will be published effective of volume 81, 2011 two times a year.

Open access: PDF versions of all POLARFORSCHUNG articles are freely available from <<http://www.polarforschung.de>>. POLARFORSCHUNG is listed in the Directory of Open Access Journals (DOAJ) <<http://www.doaj.org>>

Subscription rates: For members of the German Society for Polar Research (DGP), subscription to POLARFORSCHUNG is included in the membership dues. For non-Members the price for a single issue is € 30.00.



Deutsche Gesellschaft für Polarforschung

26. Internationale Polartagung

6. – 11. September 2015 in München

German Society of Polar Research

26th International Polar Symposium

September 6 – 11, 2015 Munich, Germany

Information: <http://www.DGP-EV.de>

E-mail: post@keg.badw.de



Bayerische
Akademie der Wissenschaften

TUM
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN