

Hochauflösende unterwasserarchäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten und Seen mit Fächerecholot und Sediment-Sonar

IMMO TRINKS¹, WOLFGANG NEUBAUER^{1,2}, TIMOTHY TAYLOR²,
MARIO WALLNER¹, KLAUS LÖCKER^{1,3} & JUTTA LESKOVAR⁴

Zusammenfassung: Das Projekt „Archäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten“ hat zum Ziel mit moderner Sonartechnik den Grund des Attersees und des Mondsees sowie archäologische Ablagerungen und Sedimente im Bereich prähistorischer Pfahlbausiedlungen detailliert zu kartieren. Bisher wurden die Seen und ihr Untergrund nur relativ grob vermessen. Mit einem modernen Fächerecholot ist es möglich die genaue Wassertiefe effizient digital zu vermessen, während ein Mehrkanal-Sedimentsonar Einblicke in den Untergrund liefert. Daraus resultieren detaillierte 3D-Modelle des Seebodens, die seine Struktur sowie darauf befindliche künstliche und natürliche Objekte zeigen. Neben archäologischen Strukturen sind detektierte geologische Formationen für das Verständnis der Entwicklung der Seen von großer Bedeutung.

1 Motivation

In den circum-alpinen Seen liegen bedeutende, zum Weltkulturerbe zählende neolithische und bronzezeitliche Pfahlbauten. In Oberösterreich befinden sich vier Stätten des UNESCO-Welterbes Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen. Es handelt sich dabei um die Station See im Mondsee und die Stationen Abtsdorf I, Abtsdorf III und Litzlberg Süd im Attersee (POHL 2016). Im Rahmen der Vorbereitung der geplanten oberösterreichischen Landesausstellung zur Kultur der prähistorischen Pfahlbauten soll das Projekt „Archäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten“ durch den Einsatz moderner zerstörungsfreier archäologischer Prospektionsverfahren (MANDERS & GREGORY 2015) neue Erkenntnisse über diese speziellen Siedlungsplätze und ihre Umgebung liefern. Während an einigen Fundstellen auch noch über den Seegrund aufragende Reste von 4.000-5.000 Jahre alten Holzpfehlen bis heute im flachen Wasser erhalten sind, haben sich an anderen Stellen lediglich die Ablagerungen der prähistorischen Siedlungen erhalten (OFFENBERGER & RUTTKAY 1997). Das Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI ArchPro) hat in Zusammenarbeit mit dem Vienna Institute for Archaeological Science der Universität Wien (VIAS) und der Direktion Kultur des Landes Oberösterreich ein neues Prospektionssystem für die effiziente hochauflösende Unterwasserprospektion aufgebaut, mit dem Ziel den Seegrund und den Seeuntergrund des Mondsees wie auch des Attersees

¹ Ludwig Boltzmann Institute für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie, Hohe Warte 38, A-1190 Wien, E-Mail: [immo.trinks, wolfgang.neubauer, mario.wallner]@archpro.lbg.ac.at

² Universität Wien, Vienna Institute for Archaeological Science, Interdisziplinäre Forschungsplattform Archäologie, Franz Klein-Gasse 1/III, A-1190 Wien, E-Mail: timftaylor@gmail.com

³ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, A-1190 Wien, E-Mail: klaus.loecker@zamg.ac.at

⁴ Oberösterreichisches Landesmuseum, Land Oberösterreich, Museumstraße 14, A-4010 Linz, E-Mail: j.leskovar@landesmuseum.at

detailliert zu vermessen und zu erkunden. Bisher war die Wassertiefe dieser Seen nur in Form von Tiefenkonturlinien mit 10m bis 5m Tiefenabstand bekannt (Abb. 1) (BEHBEHANI 1987). Die im Projektrahmen geplante hochauflösende Vermessung soll wesentliche neue Erkenntnisse über die archäologischen Siedlungsreste im Wasser wie auch geologische Strukturen am Seegrund und im Seeuntergrund liefern. Das hier präsentierte wissenschaftliche Vorhaben ist am ehesten mit dem Projekt „Tiefenschärfe Bodensee“ (WESSELS et al. 2016) zu vergleichen, welches den Bodensee erfolgreich mit einem vergleichbaren Forschungsansatz durch Einsatz moderner Fächerecholot und Sedimentsonar Systeme komplett vermessen hat.

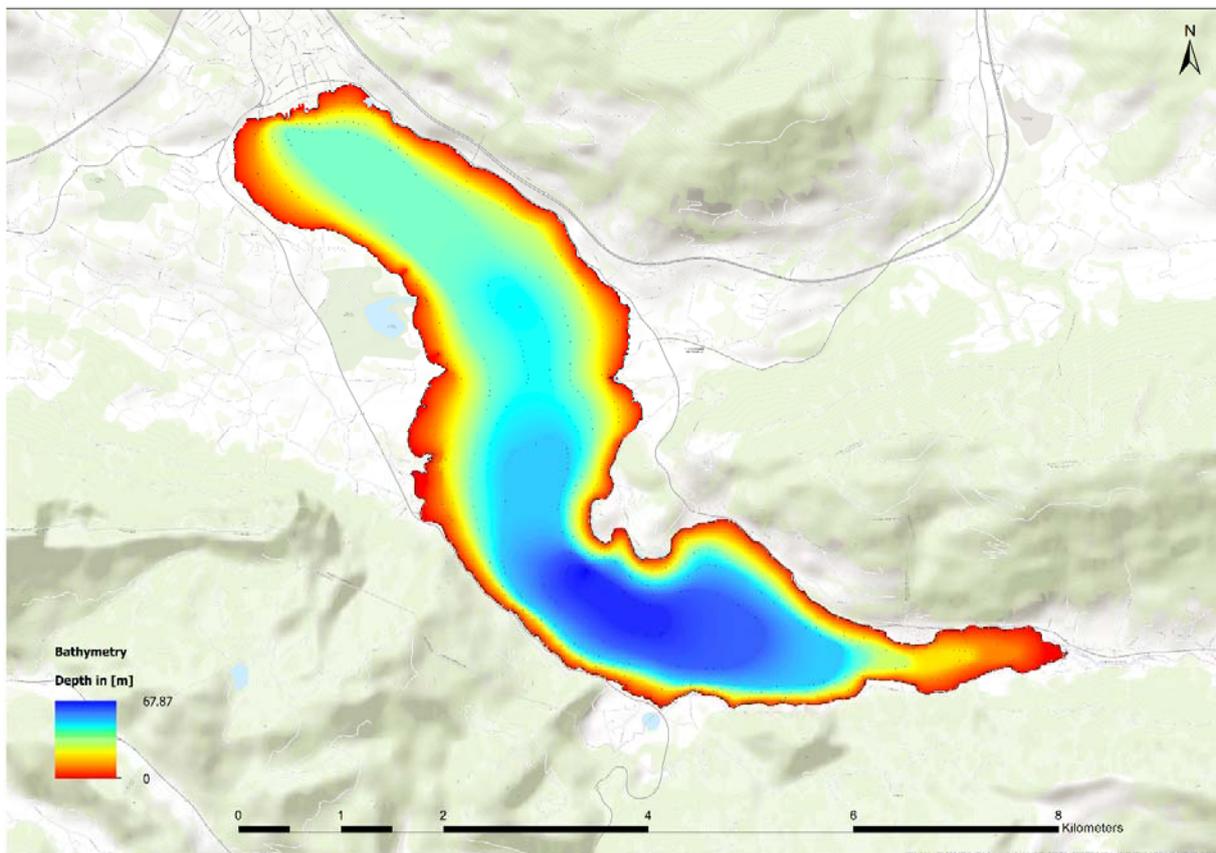


Abb. 1: Bathymetrische Karte des Mondsees nach bisherigem Kenntnisstand basierend auf 10m bis 5m Tiefenlinien

2 Methoden

Moderne Sonartechnik ermöglicht die detaillierte Vermessung und Kartierung von Seeböden sowie die dreidimensionale Untersuchung von Sedimentschichten und Strukturen im Untergrund. Für dieses Projekt wurden modernste Fächerecholot- und Sedimentsonarsysteme mit geeigneter Positionierungstechnologie auf einem Messboot installiert und am Mondsee und Attersee zum Einsatz gebracht.

2.1 Fächerecholot

Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wurde nach Testmessungen mit verschiedenen hochauflösender Fächerecholotsysteme am Mondsee im Mai 2016 von der Universität Wien ein hochauflösendes Teledyne Reson SeaBat T50-P Fächerecholotsystem erworben, welches eine Vermessung des Seebodens mit 512 Strahlen ($1^\circ \times 0,5^\circ$ Strahlbreite @ 400kHz) mit einem interaktiv justierbaren Fächer ermöglicht und pro Sekunde bis zu 25.600 Punkte und die zugehörige Reflexionsintensität aufzeichnet. Dieses kompakte Fächerecholot-System ist speziell für den Einsatz auf kleineren Booten geeignet und bietet im Frequenzbereich zwischen 190 Hz und 420 Hz ausgesprochen saubere Daten mit sehr hoher Auflösung. Die Strahldichte kann flexibel angepasst werden und Reflexionen im Bereich 0,5m bis 200m (maximal 575m) können detektiert werden. Es ist möglich für jeden Strahl Mehrfachdetektionen sowie die gesamte Wassersäule aufzuzeichnen um komplexe Strukturen detaillierter abbilden zu können. Die angegebene Tiefenauflösung beträgt 6mm. Zur Kalibrierung des Fächerecholotsystems werden regelmäßig sogenannte Patch Tests gefahren und Wasserschallgeschwindigkeitsprofile gemessen um automatisch die Roll-, Nick-, und Richtungswinkel der aktuellen Sensorlage zu berechnen und für die Streifenanpassung anzuwenden.

2.2 Sedimentsonar

Zusätzlich zum Fächerecholot wurde mit Mitteln des Landes Oberösterreich ein innovatives vierkanaliges parametrisches Sedimentsonar SES-2000 quattro erworben, welches von Innomar in Rostock für höchstauflösende dreidimensionale Messungen des Seeuntergrundes in extrem flachem Wasser entwickelt wurde (LOWAG et al. 2010). Der parametrische Sub-Bottom Profiler besteht aus vier Schallgebern und Empfängern die mit nur 25cm Abstand als Linienanordnung montiert werden können um sehr dicht im Flachwasser den Untergrund dreidimensional untersuchen zu können. Es ist prinzipiell möglich die Sender/Empfänger im Single-, Dual-, Triple- oder Quad-Strahlmodus einzusetzen, je nach Aufgabenstellung und benötigter Eindringtiefe, bzw. gewünschtem horizontalem Auflösungsvermögen. So bietet es sich an, bei größeren Wassertiefen eine quadratische Sender/Empfängeranordnung zu wählen und gemeinsam zu pulsen, während im Flachwasser mit einem 1m breiten Sensorbalken quer zur Fahrtrichtung der Untergrund mit nur 25cm Profilabstand vermessen werden kann. Dieser Quad-Strahlmodus lässt sich im Tiefenbereich von 0,5m bis 30m einsetzen.

2.3 Positionierung und Navigation

Die Positionierung der Messdaten erfolgt mit einem Doppelantennen Echtzeit Global Navigation Satelliten System (Septentrio AsteRx-U) mit 6.5m Distanz zwischen Bug- und Heckantenne sowie einem hochgenauen SBG Apogee-E inertialen Navigationssystem (0.008° Rollen und Nicken, 0.02° Richtungswinkel, 9mm Position, 20mm delayed heave). Mittels des Echtzeit Positionierung Dienstes (EPOSA) und des Empfangs von Korrekturdaten über NTRIP ist es möglich die Sonardaten effizient hochgenau zu positionieren. Die Navigation und Aufzeichnung der Fächerecholotdaten erfolgt mit QPS QINSy Software auf einer Workstation mit SSD Festplatte und einer GeForce GTX 1080 Grafikkarte. Am Fächerecholotkopf wird die Wasserschallgeschwindigkeit mit einer Valeport UltraSV Sonde gemessen, während vertikale Wasserschallgeschwindigkeitsprofile mittels einer Valeport SWiFT Sonde gezogen werden.



Abb. 2: Lage und Verteilung der Messprofile der Fächerecholotmessungen auf dem Mondsee mit einer Gesamtlänge von 304km

2.4 Messboot

Als Vermessungsboot wurde ein Buster XXL AWC Kabinenmotorboot aus Finnland angeschafft mit 6,35m Länge und nur 35cm Tiefgang, 3,5mm Aluminiumrumpf und 150PS Außenbordmotor, sowie separater Stromversorgung für die Messelektronik, ein Bootstyp wie er auch von mehreren professionellen hydrographischen Vermessungsbüros in Deutschland, Finnland und Estland eingesetzt wird. Eine schwenkbare Halterung wurde für die Sonarsysteme konstruiert und am Bug des Bootes montiert und eingemessen.

3 Ergebnisse

Seit Mai 2018 wurde der Seegrund des Mondsees nahezu vollständig mit Fächerecholot-Messungen kartiert, mit Ausnahme des extrem flachen Küstenstreifens, der aufgrund des im Sommer 2018 herrschenden Niedrigwassers bisher nicht vermessen werden konnte (Abb. 2). Seit Anfang Oktober wurde das Boot an den Attersee verlegt und es wurden erste Messungen durchgeführt. Die erzeugten bathymetrischen Daten sind nicht nur aus archäologischer und historischer Sicht von großem Interesse, sondern liefern auch eine detaillierte Karte des Seebodens in bisher unerreichter Auflösung, die die Morphologie des Sees aufzeigt, zahlreiche geologisch interessante Strukturen wie Felsvorsprünge, Seebodenfazies, Erosionskanäle, Ablagerungen von Massenbewegungen, Rohrleitungen, Wracks sowie Spuren am Seegrund von Ankern, Bojen oder anderen Störungen der lakustrinen Sedimente deutlich abbildet (Abb. 3).

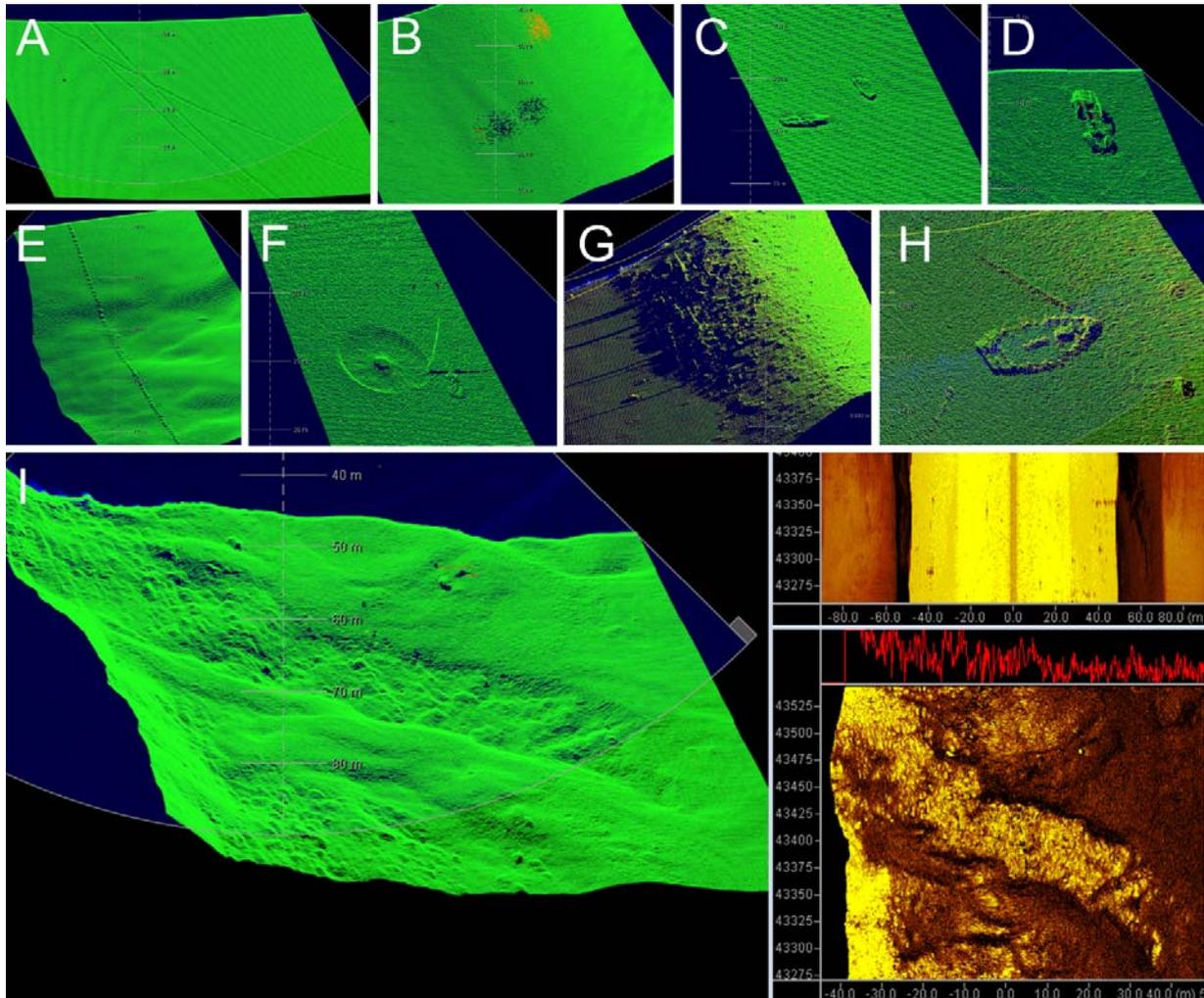


Abb. 3: A: Schleifspuren eines Bojenankers. B: Fischschwarm und dessen Sonarschatten. C: Zwei gesunkene Boote. D: ein Citroen Traktion Avant Autowrack. E: Rohrleitung und Topographie. F: Schwoiradienkrater einer Boje mit Bojenkette. G: Pfahlbaustation Mooswinkel mit Pfosten, Steinen und liegenden Holzstämmen. H: Bootswrack. I: Rutschung als 3D Punktwolke (links) und als simulierter Sidescan Plot (rechts oben) und normalisierte Backscatter Energie Darstellung (rechts unten)

Die insgesamt 333 auf dem Mondsee aufgezeichneten Fächerecholot-Datenstreifen, welche eine Gesamtfläche von mehr als 13km² abdecken, werden bearbeitet um ein optimiertes dreidimensionales Gesamtmodell des Seegrundes erzeugen zu können. Hierzu wird in Zusammenarbeit mit der TU Wien die für Airborne Laserscanning Datenbearbeitung und Streifenanpassung entwickelte Software OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data) für die Anwendung auf Fächerecholotdaten zu adaptiert (PFEIFER et al. 2014). Die Datenbearbeitung ist aufgrund der Datenmenge vom Mondsee noch nicht abgeschlossen. Es wird derzeit an einem optimierten Bearbeitungsverfahren gearbeitet, damit die Daten des wesentlich größeren Attersees entsprechend effizient bearbeitet werden können. Die dreidimensionalen Sedimentsonardaten werden nach Zeit-Tiefen Konvertierung in horizontale Tiefenscheiben geschnitten, um eine flächenhafte Analyse archäologisch relevanter Strukturen zu ermöglichen.

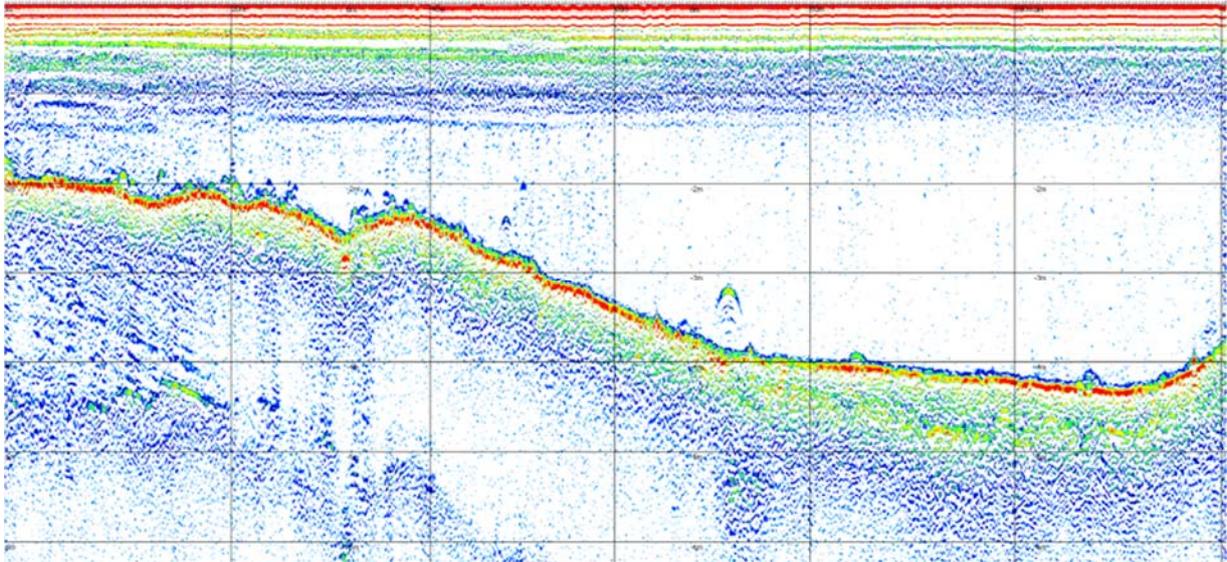


Abb. 3: Mit dem Innomar SES2000 quattro Sedimentsonar aufgezeichnetes Einzelprofil aus dem Bereich der Pfahlbaufundstätte Station See am Mondsee. Die horizontalen Linien haben einen vertikalen Abstand von 1m. Die über den Seeboden herausragenden jahrtausendealten Holzpfähle erzeugen deutlich erkennbare Reflexionen

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Datenaufnahme an Mondsee und Attersee ist noch nicht abgeschlossen und wird sobald möglich fortgesetzt werden. Der extreme Föhnsturm in der Nacht vom 29. auf den 30. Oktober 2018 hat bedauerlicherweise zum Sinken des Messbootes wie auch der Havarie zahlreicher anderer Boote am Attersee geführt. Es wird derzeit daran gearbeitet ein Ersatzboot zu beschaffen und nach abgeschlossener Befundung der Messgeräte mit der Vermessung der Seen fortzusetzen. Die Daten werden nach erfolgter Bearbeitung publiziert und im Rahmen der geplanten Landesausstellung der Öffentlichkeit anschaulich präsentiert werden. Dieses Projekt wird wesentliche Grundlagendaten für die weitere Erforschung dieser bedeutenden Seen generieren, von großem Nutzen für zukünftige Umweltüberwachungsvorhaben sein und gezielte unterwasserarchäologische Untersuchungen wie auch geologische und limnologische Forschungen in der Zukunft erleichtern.

5 Danksagung

Wir danken Frau Mag. Nicoletta Waechter für die freundliche Genehmigung den Grund des Mondsees untersuchen zu dürfen. Das Institut für Limnologie in Mondsee hat das Projekt ganz wesentlich durch das Bereitstellen einer Boje und Zugang zu seinem Bootshaus unterstützt, wofür dem Institutsleiter Herrn Prof. Martin Hahn wie auch dem Werkstattleiter Herrn Hannes Höllner herzlichst gedankt sei. Herr Dipl.-Ing. Christian Klug hat sehr großzügig Zugang zur Echtzeit Positionierung Austria (EPOSA) gewährt und dadurch eine effiziente hochgenaue differentielle Satellitenpositionierung und Navigation ermöglicht. DI Johannes Pfeffer war eine große logistische Hilfe bei der Planung der Arbeiten am Mondsee. Herr Rudolf Wilflingseder sei für die Zurverfügung-

tellung von Bootshaus und Steg gedankt. Nikolaus Studnicka von Riegl Laser Measurement Systems hat freundlicherweise mit dem neuen Riegl VZ-4000i Laser Scanner dreidimensionale Testmessungen des Mondseeufers ermöglicht. Johannes Häupl aus Attersee hat freundlicherweise sein Bootshaus für Messarbeiten am Attersee zur Verfügung gestellt. DI Jörg Brunken, Florian Hämmerling und Alexander Schmidt von MacArtney Germany haben großartige Unterstützung bei den Messarbeiten geleistet. Mag. Heinz Gruber vom Bundesdenkmalamt hat das Projekt wohlwollend unterstützt. Nach der Bootshavarie im Oktober 2018 haben die Wasserrettung Attersee und die Freiwillige Feuerwehr Attersee und Nußdorf das gesunken Messboot unter großem Einsatz gehoben und geborgen. Heimatforscher Gerald Egger war bei der Bootsbergung und Reinigung eine enorme Hilfe. Marco Pajer hat beim Aufbau des Messsystems geholfen. Hannes Schiel, Geert Verhoeven und Lisa Aldrian waren an den Messarbeiten beteiligt.

Das Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (arch-pro.lbg.ac.at) beruht auf einer internationalen Kooperation der Ludwig Boltzmann Gesellschaft (A), des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung (A), der Universität Wien (A), der Technischen Universität Wien (A), der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (A), Airborne Technologies (A), 7reasons (A), des Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (D), des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe – Archäologie für Westfalen (D), des Norwegischen Instituts für Kulturgüterforschung – NIKU (N) und von Vestfold fylkeskommune – Kulturarv (N).

6 Literaturverzeichnis

- BEHBEHANI, A.-R. 1987: Sedimentations- und Klimageschichte des Spät- und Postglazials im Bereich der Nördlichen Kalkalpen (Salzkammergutseen, Österreich). *Göttinger Arbeiten zur Geologie & Paläontologie*, **34**, Geologische Institute der Georg-August-Universität Göttingen.
- JANSA, V. 2013: Probleme und Lösungsansätze beim Monitoring unterwasserarchäologischer Fundstellen am Beispiel des UNESCO-Weltkulturerbes Pfahlbauten. Diplomarbeit. Universität Wien.
- LOWAG, J., WUNDERLICH, J. & HUEMBS, P. 2010: Three-dimensional investigation of buried structures with multi-transducer parametric sub-bottom profiler as part of hydrographical applications. *Proc. Hydro 2010*, Rostock-Warnemünde, Germany, 02-05 November 2010.
- MANDERS, M. & GREGORY, D. 2015: SASMAP Guideline Manual 2. Best Practices for locating, surveying, assessing, monitoring and preserving underwater archaeological sites, 29-49.
- OFFENBERGER, J. & RUTTKAY, E. 1997: Pfahlbauforschung in den österreichischen Salzkammergutseen. *Pfahlbauten rund um die Alpen. Archäologie in Deutschland, Sonderheft*, 76-86.
- PFEIFER, N., MANDLBURGER, G., OTEPKA, J. & KAREL, W. 2014: OPALS - A framework for Airborne Laser Scanning data analysis. *Computers, Environment & Urban Systems*, **45**, 125-136.
- POHL, H. 2016: Drei Jahre unterwasserarchäologisches Monitoring an den österreichischen UNESCO-Welterbestätten. *Archäologie Österreichs*, **27(1)**, 29-35.
- WESSELS, M., ANSELMETTI, F.S., BARAN, R., HILBE, M., GESSLER, S. & WINTERSTELLER, P. 2016: Tiefenschärfe – Hochauflösende Vermessung Bodensee. *Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Blaue Reihe*, **61**.