

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Moderne unterwasserarchäologische Prospektion und
Dokumentation am Anwendungsbeispiel Attersee und Mondsee

verfasst von | submitted by

Stefan Krojer BA

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

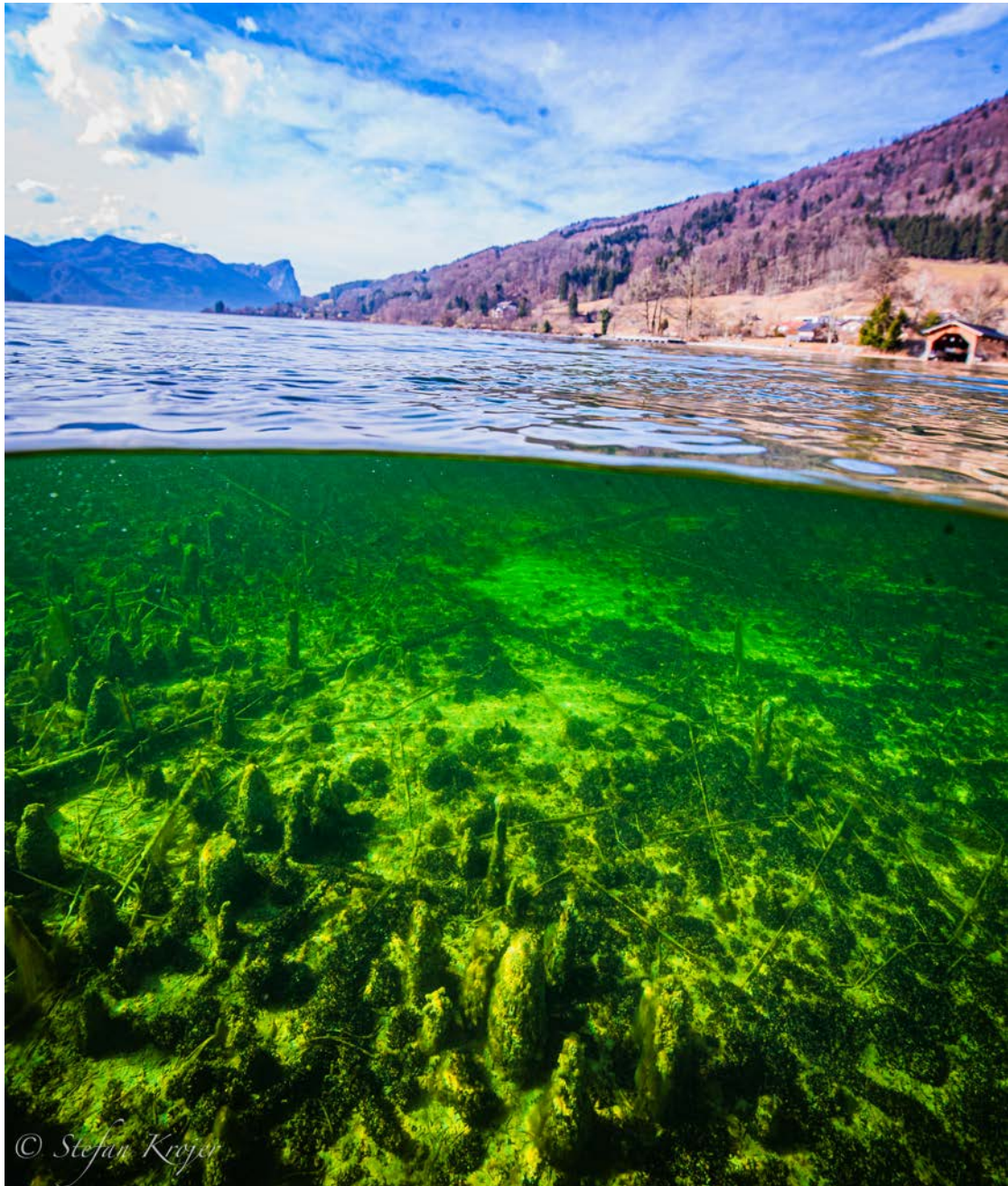
UA 066 801

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Urgeschichte und Historische
Archäologie

Betreut von | Supervisor:

Assoz. Prof. Dipl.-Geophys. Immo Trinks Privatdoz.
PhD



Station See im Mondsee über und unter Wasser, Februar 2025.

Danksagung

Mit dem Ende dieser Arbeit endet auch eine intensive Zeit voller Nässe, Kälte und zahlloser Stunden mit verschnaufter Pressluft. Dieses Kapitel meines Lebens wäre ohne die Unterstützung, Fähigkeiten und das offene Ohr vieler großartiger Menschen nicht denkbar gewesen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer und Mentor, Immo Trinks, dessen Engagement weit über das übliche Maß hinausging. Seine ständige Unterstützung – sei es bei Korrekturen, der Beschaffung von Equipment oder auch einfach als geduldiger Zuhörer – hat mich motiviert und mir das Gefühl gegeben, dass meine Arbeit von Bedeutung ist. Seine Fürsorge und Expertise waren unbezahlbar. Ich hätte mir keinen besseren Betreuer wünschen können.

Ein ebenso herzlicher Dank geht an Claudia Theune, die auch schon während meines Bachelorstudiums eine inspirierende Begleiterin war. Sie hat mich gelehrt, wissenschaftlich zu arbeiten, und war stets eine zuverlässige Ansprechpartnerin. Besonders prägend war der Moment, als ich sie bei meiner Entdeckung der hier behandelten Fernschreiber – noch vor meinem Archäologiestudium – kontaktieren durfte. Ihr Zuspruch und ihre Begeisterung haben mich auf meinem Weg bestärkt.

Ich danke dem Team des Kuratoriums Pfahlbauten – Cyril Dworsky, Helena Seidl da Fonseca, Fiona Leipold und Lieselore Meyer – für ihre Unterstützung. Besonders hervorheben möchte ich Henrik Pohl, den ich nicht nur als Kollegen, sondern auch als Freund sehe. Er hatte stets ein offenes Ohr für mich und unterstützte mich auch in seiner Freizeit. Ohne ihre Unterstützung und die wertvollen Erfahrungen, die ich in ihren Projekten sammeln durfte, wäre diese Arbeit in diesem Umfang nicht möglich gewesen.

Ebenso danke ich den Fachleuten der Universität, insbesondere Geert Verhoeven, Michael Doneus, Doris Jetzinger und Gabriele Gattinger, für ihre Bereitschaft, jederzeit meine Fragen zu beantworten.

Ein besonderer Dank gilt auch Alexandra Krenn-Leeb für ihren Zuspruch, ihre Unterstützung und ihren festen Glauben an mich und meine Arbeit. Ihr herzlicher Umgang und ihre stets offene Tür haben meinen Weg während meiner gesamten universitären Zeit bereichert und begleitet.

Mein Dank gilt auch einigen besonderen Persönlichkeiten aus der Taucherbranche: Nadine und Gregor Bockmüller von der Tauchschule *UnderPressure* in Weyregg, die mir

Danksagung

stets mit ihren Ressourcen halfen, sowie Clemens Schützenhofer und der Firma *Suex*, die mir das SEIKA-System kostenfrei, leihweise zur Verfügung stellten. Ein weiterer Dank geht an Christian Klug von der EPOSA – Wiener Netze.

Dem Vienna Institute for Archaeological Science, insbesondere Roland Filzwieser und Erich Nau, danke ich für ihre Geduld, wenn ich sie mit meinen Fragen – im Gegenzug zu Leberkäsemmeln – löchern durfte.

Ein besonderer Dank geht an meine Tauchkolleg:innen Marie-Luise Kienzle, Marcus Haslinger und Martin Zinner für die unzähligen Stunden mit mir im eiskalten Wasser.

Von ganzen Herzen danke ich meiner Familie – meinen Eltern, Renate und Helmut, die mich mein ganzes Leben lang bedingungslos mit all ihrer Kraft und Zeit unterstützt haben und immer ein offenes Ohr und offene Arme für mich hatten, sowie meiner Großmutter Irmgard, die mir stets zur Seite stand. Zuletzt möchte ich meinem verstorbenen Großvater danken, der mich mit seinen Geschichten über die „Ur-Seewalchner“ schon früh für die Archäologie begeisterte. Opa, du fehlst mir jeden Tag. Danke für alles.

Abstract

This thesis explores modern underwater archaeological prospection and documentation methods, using the Austrian lakes Attersee and Mondsee as case study areas. These lakes contain underwater archaeological sites that are part of the UNESCO World Heritage *Prehistoric Pile Dwellings around the Alps*, which offer significant insights into early human settlement patterns in the Alpine region. The study outlines the challenges posed by environmental factors and human interventions, emphasising the need for effective documentation and preservation strategies.

A comprehensive suite of data sets and techniques, including sonar (side-scan, multi-beam and sediment), and in particular 3D photogrammetry, were employed to map submerged archaeological sites. The research underscores the importance of integrating advanced geophysical archaeological prospection methods with traditional archaeological practices to document and protect underwater cultural heritage.

This master thesis illustrates the results of the prospection and documentation efforts in form of detailed 3D models of various artifacts and structures on the lakebeds, which contribute to the broader understanding of the region's prehistoric and historical significance. In particular, the extensive detailed 3D photogrammetric underwater mapping of the prehistoric site *See* in lake Mondsee presents an outstanding result. This work not only supports ongoing archaeological studies, but also helps to preserve valuable cultural assets for future generations.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit untersucht moderne Methoden der unterwasserarchäologischen Prospektion und Dokumentation, wobei die Seen Attersee und Mondsee als Fallstudien dienen. Diese Seen enthalten unterwasserarchäologische Fundstätten, die Teil des UNESCO-Welterbes „*Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen*“ sind und bedeutende Einblicke in frühe Siedlungsmuster im alpinen Raum bieten. Die Studie beleuchtet die Herausforderungen durch Umweltfaktoren und menschliche Eingriffe und betont die Notwendigkeit effektiver Erhaltungsstrategien.

Ein umfassendes Spektrum an Technologien, darunter Sonartechniken (Seitensichtsonar, Fächerecholot, Sedimentsonar), und insbesondere 3D-Fotogrammetrie, wurde eingesetzt, um die unter Wasser liegenden archäologischen Fundstätten zu kartieren. Diese Forschung unterstreicht die Bedeutung der Integration fortschrittlicher geophysikalischer Methoden mit traditionellen archäologischen Praktiken, um das unterwasserarchäologische Kulturerbe zu dokumentieren und zu schützen.

Die Ergebnisse der Prospektionsbemühungen und dieser Masterarbeit umfassen detaillierte 3D-Modelle verschiedener Artefakte und Strukturen, die zum besseren Verständnis der prähistorischen und historischen Bedeutung der Region beitragen. Besonders hervorzuheben ist die umfangreiche wie detaillierte 3D-Fotogrammetrie der prähistorischen Fundstätte „*See*“ im Mondsee, die ein herausragendes Ergebnis darstellt. Diese Arbeit unterstützt nicht nur laufende archäologische Studien, sondern trägt auch zur Erhaltung wertvoller Kulturgüter für zukünftige Generationen bei.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abstract	iii
Kurzfassung	v
Abbildungsverzeichnis	xi
1. Einleitung	1
1.1. Überblick über die Unterwasserarchäologie	1
1.1.1. Internationale Perspektive	2
1.1.2. Die Situation in Österreich	5
1.2. Unterwasserarchäologische Prospektion und Dokumentation	8
1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum	10
1.3.1. Historischer und archäologischer Kontext	13
1.3.2. Bedeutung der Seen im UNESCO-Welterbe	15
1.3.3. Archäologische Funde und Überreste in den Seen	17
1.3.4. Relevante historische Ereignisse und Perioden	19
1.4. Zielsetzung und Relevanz der Studie	22
2. Methodik	25
2.1. Einführung	25
2.2. Multibeam-Sonar	26
2.3. Unterwasserarchäologischer Survey	31
2.3.1. Durch Taucher:innen	31
2.3.2. Durch den Einsatz eines ROV	32
2.4. Unterwasserfotografie	33
2.5. Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation	37
2.5.1. Datenerhebung	38
2.5.2. Photogrammetrische Verarbeitung	40
2.5.3. Anwendungen der bildbasierten 3D Modellierung	43
2.5.4. Herausforderungen	45
2.6. Georeferenzierung der Daten	46
3. Fallstudien und Feldarbeit	51
3.1. Auswahl der Untersuchungsgebiete	51
3.1.1. Mondsee	52

Inhaltsverzeichnis

3.1.2. Attersee	53
3.2. Vorbereitung und Planung der Datenerhebung	54
3.3. Durchführung der Prospektionen und Dokumentationen	57
3.4. Dokumentation und Fotografie der Fundstellen	59
3.5. Erstellung von 3D-Modellen	61
4. Ergebnisse	67
4.1. Analyse und Interpretation der Sonardaten	68
4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde	72
4.2.1. Prähistorische Befunde – Flächen	73
4.2.2. Historische Befunde – Einzelfunde	84
4.3. Einzelobjekt-basierte 3D-Dokumentation	111
4.3.1. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Einbaums aus Weyregg . . .	114
4.3.2. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Fernschreibers L15 Lo . . .	116
4.3.3. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Fernschreibers T36 Lo . . .	119
4.3.4. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Renault Dauphine	120
4.3.5. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Flugzeug-Zusatztanks . . .	124
4.4. Flächendeckende 3D-Dokumentation	126
4.4.1. Die Seeleitung im Bereich der Pfahlbaustation Miesling I	126
4.4.2. Die Sprungturmgrube innerhalb der Pfahlbaustation Seewalchen I	128
4.4.3. Keramikfragmente und Pfähle im Bereich der Sprungturmgrube .	131
4.4.4. Anlegestelle der Atterseeschifffahrt in Seewalchen	134
4.4.5. Mondsee Station See	137
5. Diskussion	147
5.1. Vergleich der Ergebnisse mit bestehenden Studien	147
5.1.1. 3D-Modellierungsergebnisse und deren Bedeutung	151
5.2. Herausforderungen und Grenzen der Methodik	153
5.3. Beiträge zur Unterwasserarchäologie und zum Denkmalschutz	157
6. Zusammenfassung	161
7. Ausblick	163
7.1. Empfehlungen für zukünftige Forschung	163
7.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Erhaltung des UNESCO-Welterbes . . .	165
Literaturverzeichnis	169
A. Anhang	189
A.1. Technische Spezifikationen der verwendeten Geräte	189
A.1.1. Kameraausrüstung	189
A.1.2. Tauchausrüstung	190
A.1.3. Georeferenzierung	190
A.1.4. Computer Hardware	190

A.1.5. Computer Software	191
A.2. Detaillierte Karten der Untersuchungsgebiete	191
A.3. Dokumentation	191
A.3.1. Flugzeug Zusatztank	191
A.3.2. Beschreibung	192
A.3.3. Erhaltungszustand	192
A.4. Einbaum	194
A.4.1. Beschreibung	194
A.4.2. Erhaltungszustand	195
A.5. Blattschreiber L15	197
A.5.1. Beschreibung	197
A.5.2. Erhaltungszustand	197
A.6. Fernschreiber T36 Lo	200
A.6.1. Beschreibung	200
A.6.2. Erhaltungszustand	200
A.7. Renault Dauphine	202
A.7.1. Beschreibung	202
A.7.2. Erhaltungszustand	202
A.8. Station Seewalchen I – Bereich Sprungturmgrube	204
A.8.1. Beschreibung	204
A.8.2. Erhaltungszustand	204
A.9. Station Seewalchen I – Bereich Anlegestelle der Atterseeschiffahrt	206
A.9.1. Beschreibung	206
A.9.2. Erhaltungszustand	207
A.10. Station See – Mondsee	208
A.10.1. Beschreibung	208
A.10.2. Erhaltungszustand	208

Abbildungsverzeichnis

1.	Station See im Mondsee über und unter Wasser, Februar 2025.	3
1.1.	Übersichtskarte der Seen im Untersuchungsgebiet	14
2.1.	Graukarte Unterwasser.	36
3.1.	Unterwasserfotografie an der Station See im Mondsee	61
4.1.	Multibeam-Sonar Datenbild, Attersee, Seeleitung	69
4.2.	Attersee, Station Miesling, gekrümmte Seeleitung	70
4.3.	Attersee, Station Miesling, Seeleitung und Fels	71
4.4.	Foto: Seewalchen I – Sprungturm mit Sprungturmgrube.	73
4.5.	Foto: Attersee, Station Seewalchen I, Keramikfragment und Pfähle . . .	75
4.6.	Foto: Attersee, Seewalchen I, Anlegestelle Schifffahrt.	77
4.7.	Foto: Mondsee, Station See, Oberflächenaufnahme.	79
4.8.	Foto: Mondsee, Station See, Pfähle bei Nacht.	80
4.9.	Foto: Mondsee, Station See, Pfähle 2014.	81
4.10.	Foto: Mondsee, Station See, Pfahl bei Nacht mit Quagga-Muschelbefall	82
4.11.	Foto: Mondsee, Station See, Pfähle mit Quagga-Muschelbefall.	83
4.12.	Foto: Attersee, Renault Dauphine.	84
4.13.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Frontscheinwerfer.	85
4.14.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Benzinwanne (oben).	86
4.15.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Heckbereich mit entferntem Motor. .	87
4.16.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Frontbereich und Kofferraum	88
4.17.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Gaspedal.	89
4.18.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Zustand 2019.	90
4.19.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, zunehmender Quagga-Muschelbefall	90
4.20.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Front, starker Quagga-Muschelbefall	91
4.21.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, mit starkem Quagga-Muschelbefall .	92
4.22.	Foto: Attersee – Renault Dauphine, Fahrzeugschürze	93
4.23.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Fahrzeugschürze 10 m vom Wrack . . .	94
4.24.	Foto: Attersee, Steyr 50, Zustand 2020. © C. Kotrc	95
4.25.	Foto: Attersee, Steyr 50, Zustand 2024. © R. Wagner	95
4.26.	Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand Januar 2025.	96
4.27.	Foto: P-51 mit Zusatztank, © IWM.	97
4.28.	Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand 2020.	98
4.29.	Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand im Januar 2025.	98

Abbildungsverzeichnis

4.30.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand 2021.	99
4.31.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Seriennummer.	100
4.32.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, mit deutlicher Schleifspur	101
4.33.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15 mit Schleifspur, Orthoperspektive	101
4.34.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2025.	102
4.35.	Foto: Attersee – Fernschreiber Lo 15, versedimentierte Schleifspur	103
4.36.	Foto: Attersee, Fernschreiber L15, Mai 2021, Januar 2024	104
4.37.	Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2025.	104
4.38.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Mai 2021.	105
4.39.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Tastatur.	106
4.40.	Foto: Fernschreiber T36 Lo, Tastatur, © kpemig.de.	106
4.41.	Foto: Fernschreiber T36 Lo, © kpemig.de.	107
4.42.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Zustand Januar 2024.	108
4.43.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Zustand Januar 2025.	109
4.44.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, massiver Quagga-Muschelbefall	109
4.45.	Foto: Attersee, Einbaum, Zustand 2024.	110
4.46.	Foto: Attersee, Einbaum, 2017, kein Quagga-Muschelbefall.	111
4.47.	Foto: Attersee, Einbaum, Trennwand, 2024, starker Muschelbefall	112
4.48.	Foto: Attersee, Einbaum, Juni 2024, Fragmentierung	113
4.49.	3D-Modell: Attersee, Einbaum, Aufsicht.	114
4.50.	3D-Modell: Attersee, Einbaum, Quagga-Muschelbefall.	115
4.51.	3D-Modell: Attersee, Einbaum, Bordwand	116
4.52.	3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Süd-Profil.	117
4.53.	3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Schleifspur	118
4.54.	3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Quagga-Muschelbefall.	118
4.55.	3D-Modell: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, West-Profil	119
4.56.	3D-Modell: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, massiver Muschelbefall	120
4.57.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Süd-Profil.	121
4.58.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Heckteil	121
4.59.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Unterseite	122
4.60.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Aufsicht	122
4.61.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, bewegte Fahrzeugtüre	123
4.62.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Orthoperspektive	123
4.63.	3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Entfernte Fahrzeugtüre	124
4.64.	3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank	125
4.65.	3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank Öffnungen	125
4.66.	3D-Modell: Attersee, Seeleitung bei Miesling I	127
4.67.	3D-Modell: Attersee, Miesling I, Seil	127
4.68.	3D-Modell: Attersee, Miesling I, Seeleitung auf Fels	127
4.69.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Sprungturmgrube	129
4.70.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Blätterwerk	130
4.71.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Abgrenzung	130
4.72.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfahlreste	131

4.73.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pflanzenreste	131
4.74.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfähle & Keramik .	132
4.75.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfähle & Keramik .	132
4.76.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfähle & Keramik .	133
4.77.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Keramik & Muscheln	133
4.78.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Ablegestelle	134
4.79.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Erosion	135
4.80.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, erodierter Bereich .	135
4.81.	3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, aufgesch. Material .	136
4.82.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Übersicht.	137
4.83.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Offenberger-Rahmen	138
4.84.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Offenberger-Rahmen, Detail	139
4.85.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Kamerapositionen	139
4.86.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Confidence	140
4.87.	3D-Modell: Mondsee, Station See, ohne Textur	141
4.88.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Pfähle im untexturierten Zustand. . .	141
4.89.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Detailansicht	142
4.90.	3D-Modell: Mondsee, Station See, texturiert	142
4.91.	Abbildung: Detailvermessung Offenberger Grabungsjahre 1982-1984 .	143
4.92.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Überlagerung Offenberger-Plan . . .	144
4.93.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Steinansammlung	145
4.94.	3D-Modell: Mondsee, Station See, Tiefenbereiche mit Hölzern	146
A.1.	Foto: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, Jänner 2025	192
A.2.	3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, West-Profil	193
A.3.	Foto: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, mit und ohne Muschelbewuchs . .	193
A.4.	Foto: Einbaum, Attersee, Übersicht Januar 2025	194
A.5.	Foto: Attersee, Einbaum, Heckbereich, Muschelbewuchs	196
A.6.	Foto: Attersee, Blattschreiber L15	197
A.7.	Foto: Attersee, Blattschreiber L15, Plakette mit Seriennummer	198
A.8.	Foto: Attersee, Blattschreiber L15, Oben: Oktober 2021, Unten: Januar 2024	199
A.9.	Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Oben: Oktober 2021, Unten: Januar 2024	201
A.10.	Foto: Attersee, Renault Dauphine, Unterseite, Januar 2024	202
A.11.	Foto: Attersee, Seewalchen I, Drohnenaufnahme des Bereichs der Sprung- turmgrube, © Immo Trinks	204
A.12.	3D Modell: Attersee, Seewalchen I, Sprungturmgrube, Pfähle mit Keramik	205
A.13.	Foto: Attersee, Seewalchen I, Panoramasteganlage	206
A.14.	3D Modell: Attersee, Seewalchen I, Ausspülung durch die Schifffahrt .	207
A.15.	Foto: Mondsee, Station See, über und unter Wasser mit dem Offenberger- Rahmen	209
A.16.	Foto: Mondsee, Station See, Pfahl mit zunehmenden Muschelbewuchs .	210

Abbildungsverzeichnis

A.17.	Foto: Mondsee, Station See, Oben: September 2014, Unten: Januar 2025	211
A.18.	Mondsee Station See: Feld A7	212
A.19.	Mondsee Station See: Feld A8	213
A.20.	Mondsee Station See: Feld B2	214
A.21.	Mondsee Station See: Feld B5	215
A.22.	Mondsee Station See: Feld B7	216
A.23.	Mondsee Station See: Feld B8	217
A.24.	Mondsee Station See: Feld C1	218
A.25.	Mondsee Station See: Feld C2	219
A.26.	Mondsee Station See: Feld C3	220
A.27.	Mondsee Station See: Feld C4	221
A.28.	Mondsee Station See: Feld C5	222
A.29.	Mondsee Station See: Feld C6	223
A.30.	Mondsee Station See: Feld C7	224
A.31.	Mondsee Station See: Feld C14	225
A.32.	Mondsee Station See: Feld D1	226
A.33.	Mondsee Station See: Feld D2	227
A.34.	Mondsee Station See: Feld D3	228
A.35.	Mondsee Station See: Feld D4	229
A.36.	Mondsee Station See: Feld D5	230
A.37.	Mondsee Station See: Feld D6	231
A.38.	Mondsee Station See: Feld D7	232
A.39.	Mondsee Station See: Feld D8	233
A.40.	Mondsee Station See: Feld D9	234
A.41.	Mondsee Station See: Feld D13	235
A.42.	Mondsee Station See: Feld D14	236
A.43.	Mondsee Station See: Feld E1	237
A.44.	Mondsee Station See: Feld E2	238
A.45.	Mondsee Station See: Feld E3	239
A.46.	Mondsee Station See: Feld E4	240
A.47.	Mondsee Station See: Feld E5	241
A.48.	Mondsee Station See: Feld E6	242
A.49.	Mondsee Station See: Feld E7	243
A.50.	Mondsee Station See: Feld E8	244
A.51.	Mondsee Station See: Feld E9	245
A.52.	Mondsee Station See: Feld E10	246
A.53.	Mondsee Station See: Feld E11	247
A.54.	Mondsee Station See: Feld E12	248
A.55.	Mondsee Station See: Feld E13	249
A.56.	Mondsee Station See: Feld E14	250
A.57.	Mondsee Station See: Feld F1	251
A.58.	Mondsee Station See: Feld F2	252
A.59.	Mondsee Station See: Feld F3	253

A.60.	Mondsee Station See: Feld F4	254
A.61.	Mondsee Station See: Feld F5	255
A.62.	Mondsee Station See: Feld F6	256
A.63.	Mondsee Station See: Feld F7	257
A.64.	Mondsee Station See: Feld F8	258
A.65.	Mondsee Station See: Feld F9	259
A.66.	Mondsee Station See: Feld F10	260
A.67.	Mondsee Station See: Feld F11	261
A.68.	Mondsee Station See: Feld F12	262
A.69.	Mondsee Station See: Feld F13	263
A.70.	Mondsee Station See: Feld F14	264
A.71.	Mondsee Station See: Feld G2	265
A.72.	Mondsee Station See: Feld G3	266
A.73.	Mondsee Station See: Feld G4	267
A.74.	Mondsee Station See: Feld G5	268
A.75.	Mondsee Station See: Feld G6	269
A.76.	Mondsee Station See: Feld G7	270
A.77.	Mondsee Station See: Feld G8	271
A.78.	Mondsee Station See: Feld G9	272
A.79.	Mondsee Station See: Feld G10	273
A.80.	Mondsee Station See: Feld G11	274
A.81.	Mondsee Station See: Feld G12	275
A.82.	Mondsee Station See: Feld H2	276
A.83.	Mondsee Station See: Feld H3	277
A.84.	Mondsee Station See: Feld H4	278
A.85.	Mondsee Station See: Feld H5	279
A.86.	Mondsee Station See: Feld H6	280
A.87.	Mondsee Station See: Feld H7	281
A.88.	Mondsee Station See: Feld H8	282
A.89.	Mondsee Station See: Feld H9	283
A.90.	Mondsee Station See: Feld H10	284
A.91.	Mondsee Station See: Feld H11	285
A.92.	Mondsee Station See: Feld H12	286
A.93.	Mondsee Station See: Feld I1	287
A.94.	Mondsee Station See: Feld I2	288
A.95.	Mondsee Station See: Feld I3	289
A.96.	Mondsee Station See: Feld I4	290
A.97.	Mondsee Station See: Feld I5	291
A.98.	Mondsee Station See: Feld I6	292
A.99.	Mondsee Station See: Feld I7	293
A.100.	Mondsee Station See: Feld I8	294
A.101.	Mondsee Station See: Feld I9	295
A.102.	Mondsee Station See: Feld I10	296

Abbildungsverzeichnis

A.103. Mondsee Station See: Feld I11	297
A.104. Mondsee Station See: Feld J1	298
A.105. Mondsee Station See: Feld J2	299
A.106. Mondsee Station See: Feld J5	300
A.107. Mondsee Station See: Feld J6	301
A.108. Mondsee Station See: Feld J7	302
A.109. Mondsee Station See: Feld J8	303
A.110. Mondsee Station See: Feld J9	304
A.111. Mondsee Station See: Feld J10	305
A.112. Mondsee Station See: Feld J11	306
A.113. Mondsee Station See: Feld K5	307
A.114. Mondsee Station See: Feld K6	308
A.115. Mondsee Station See: Feld K7	309
A.116. Mondsee Station See: Feld K8	310
A.117. Mondsee Station See: Feld K9	311
A.118. Mondsee Station See: Feld K10	312
A.119. Mondsee Station See: Feld L7	313
A.120. Mondsee Station See: Feld L8	314
A.121. Mondsee Station See: Feld L9	315
A.122. Mondsee Station See: Feld L10	316
A.123. Mondsee Station See: Feld M9	317

1. Einleitung

1.1. Überblick über die Unterwasserarchäologie

Wie John Goggin bereits 1960 an der Universität von Florida erklärte (Goggin, 1960), hat sich die Unterwasserarchäologie als multidisziplinäres Forschungsfeld etabliert, das archäologische Überreste in marinen und limnischen Umgebungen systematisch untersucht und dokumentiert. Ihr Ziel ist es, mittels moderner Technologien und wissenschaftlicher Ansätze Einblicke in die Lebensweisen vergangener Gesellschaften zu gewinnen. Sie kombiniert dabei Methoden aus der Archäologie, Geophysik, Ozeanografie und hydrografischen Vermessung, um Fundstellen wie Schiffswracks, Hafenanlagen und prähistorische Siedlungen zu erforschen (Vinson, 2004). Besonders hervorzuheben ist das Potenzial von Unterwasserfundstätten, organische Materialien zu konservieren, die unter anderen Bedingungen oft einem raschen Zerfall unterliegen (Offenberger u. a., 2015).

Ein Beispiel für den hohen wissenschaftlichen Wert dieser Disziplin sind die prähistorischen Pfahlbauten in den alpinen Seen Europas. Eine Auswahl dieser Fundstellen, welche heute, teilweise aufgrund von Seespiegelschwankungen, unter Wasser liegen, wurden 2011 von der UNESCO zum Welterbe erklärt. Sie bieten einzigartige Einblicke in die Jungsteinzeit bis hin zur Bronzezeit und Eisenzeit, da die Feuchtbodenbedingungen hervorragende Erhaltungszustände ermöglichen. Projekte wie „*Zeitensprung*“ in Oberösterreich haben gezeigt, wie moderne wissenschaftliche Methoden neue Erkenntnisse über Siedlungsstrukturen und Umweltbedingungen dieser Zeit liefern können (Pohl, 2019b; Dworsky u. Novak, 2012). Die archäologische Forschung wird hierbei durch interdisziplinäre Kooperationen, etwa in den Bereichen der Dendrochronologie und Archäozoologie, gestärkt (Stradal u. Dworsky, 2002).

Allgemein ist die Forschung unter Wasser jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Klimatische Veränderungen wie steigende Meeresspiegel und Stürme setzen Fundstellen zunehmend unter Druck. Gleichzeitig bedrohen invasive Arten wie der Schiffsbohrwurm (*Teredo navalis*) und die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) (Brümmer u. a., 2021) sowie Bauvorhaben und intensive Schifffahrt die Erhaltung der Fundstätten. Solche anthropogenen und natürlichen Gefahren machen es notwendig, gezielte Schutzmaßnahmen zu entwickeln. In Regionen wie Schleswig-Holstein wird beispielsweise seit Jahrzehnten intensiv daran gearbeitet, Fundstellen zu dokumentieren und vor Zerstörung zu bewahren (Bailey u. Flemming, 2008; Vinson, 2004; Müller u. a., 2009).

1. Einleitung

Auch die Methoden der Unterwasserarchäologie haben sich stetig weiterentwickelt. Neben Sonar- und Fotogrammetrie-Technologien kommt zunehmend Robotik zum Einsatz, um schwer zugängliche Fundstellen zu erforschen. Ein weiteres Beispiel ist die Spundwand-Caisson-Technik, die unter anderem bei der Bergung des Wracks in Haiti eingesetzt wurde, um trübes Wasser und Sicht einschränkungen zu überwinden (Müller u. a., 2009; Kalmring, 2010). Der Fokus liegt dabei nicht nur auf der Bergung, sondern auch auf der präzisen Dokumentation und dem langfristigen Schutz der Fundstellen.

Die Bedeutung der Unterwasserarchäologie wird besonders in Bezug auf den Schutz des Kulturerbes deutlich. Sie trägt dazu bei, das Verständnis menschlicher Geschichte zu erweitern und einzigartige Zeugnisse vergangener Epochen zu bewahren. Der UNESCO-Schutz des Unterwasserkulturerbes zielt darauf ab, entsprechende wissenschaftliche Forschung zu fördern und das Bewusstsein für den Erhalt dieser kulturellen Schätze zu schärfen (Dworsky u. Novak, 2012). Angesichts der wachsenden Bedrohungen und der begrenzten Ressourcen bleibt die internationale Zusammenarbeit eine zentrale Herausforderung, um die einzigartigen Möglichkeiten dieser Disziplin weiter zu nutzen und zu entwickeln, und Unterwasserfundstellen für zukünftige Generationen zu erhalten.

1.1.1. Internationale Perspektive

Der Schutz des kulturellen Erbes, insbesondere des Unterwasser-Kulturerbes, ist eine globale Aufgabe, die durch eine Vielzahl von Herausforderungen geprägt ist. Die UNESCO-Konvention zum Schutz des Unterwasser-Kulturerbes von 2001 bietet eine Grundlage für internationale Zusammenarbeit und den Einsatz moderner Technologien zur Bewahrung archäologischer Stätten unter Wasser. Diese Konvention definiert Unterwasser-Kulturerbe als „alle Spuren menschlicher Existenz mit kulturellem, historischen oder archäologischen Charakter, die seit mindestens 100 Jahren ganz oder teilweise unter Wasser liegen“ (Pieters, 2001; Bulut u. Yüceer, 2023; Aznar-Gómez, 2010). Unterwasser-Fundstätten, wie antike Schiffswracks oder versunkene Siedlungen, sind nicht nur ein wertvoller Schatz archäologischer Informationen, sondern auch ein Zeugnis menschlicher Geschichte, das durch verschiedene Bedrohungen gefährdet ist. Diese reichen von natürlichen Prozessen wie Korrosion bis hin zu menschlichen Eingriffen wie Raubgrabungen und unregulierter kommerzieller Nutzung (Memet, 2008; Bethencourt u. a., 2018; Pacheco-Ruiz u. a., 2018).

Die UNESCO-Konvention von 2001 ist eines der wichtigsten internationalen Instrumente zur Bewahrung des Unterwasser-Kulturerbes. Sie betont die Notwendigkeit einer globalen Kooperation und einer rechtlichen Grundlage, um kommerzielle Ausbeutung zu verhindern. Besonders die Bestimmungen zur in-situ Konservierung haben die Denkmalpflege revolutioniert, indem sie vorschreiben, dass die Erhaltung an Ort und Stelle die bevorzugte Methode sein sollte (Bethencourt u. a., 2018; Aznar-Gómez, 2010; Pearson, 2019). Spanien war eines der Länder, das frühzeitig die Vorteile der Konvention

1.1. Überblick über die Unterwasserarchäologie

erkannte. Obwohl es zunächst Bedenken hinsichtlich der Souveränitätsrechte über gesunkene Kriegsschiffe gab, ratifizierte Spanien die Konvention 2005 und setzte damit ein Zeichen für die Bedeutung des Schutzes des kulturellen Erbes im maritimen Raum (Aznar-Gómez, 2010; Nishikawa, 2021).

Unterwasser-Fundstätten sind einer Vielzahl von Bedrohungen ausgesetzt, die von physikalisch-chemischen Prozessen bis hin zu menschlichen Aktivitäten reichen. Memet (2008) hebt hervor, dass Korrosion, biologische Besiedlung und Sedimentbewegungen zu den Hauptursachen für den Verfall von Fundstücken gehören. Gleichzeitig betonen Bethencourt u. a. (2018), dass hohe Sedimentbewegungen durch Wellen besonders großen Schaden an metallischen Objekten wie Kanonen verursachen können. Ein weiteres Problem ist die Zerstörung durch Raubgrabungen und kommerzielle Ausbeutung. Polkinghorne u. a. (2024) beschreiben, wie in Südostasien viele Fundstätten geplündert und wertvolle Artefakte auf dem internationalen Antiquitätenmarkt verkauft werden. Diese Praktiken entziehen den Herkunftsländern nicht nur wertvolle kulturelle Ressourcen, sondern untergraben auch die wissenschaftliche Erforschung dieser Funde (Pearson, 2019; Haydar u. a., 2011).

Die technologische Entwicklung hat den Schutz und die Erforschung von Unterwasser-Kulturerbe revolutioniert. Fotogrammetrie und die Erstellung von digitalen 4D-Modellen ermöglichen eine präzise Dokumentation selbst unter schwierigen Bedingungen, wie Pacheco-Ruiz u. a. (2018) am Beispiel der Schwarzmeer-Expedition aufzeigen. Diese Methoden verbessern die Datenqualität und erlauben selbst in trüben Gewässern detaillierte Untersuchungen (Gribble, 2011). Moderne DNA-Analysen haben ebenfalls neue Erkenntnisse ermöglicht. Hansson u. Foley (2008) konnten durch die Analyse antiker DNA-Fragmente in Amphoren Rückschlüsse auf Handelsrouten und den Inhalt von Frachtgütern ziehen, wie z. B. Olivenöl und Kräuter, die vor über 2400 Jahren transportiert wurden (Leidwanger, 2017; Briggs, 2019).

Die Einbindung lokaler Gemeinschaften in den Schutzprozess ist essenziell. Pearson (2019) hebt hervor, dass kulturelle Diplomatie eine entscheidende Rolle bei der Erhaltung von Unterwasser-Kulturerbe spielt. Das Beispiel der Zusammenarbeit zwischen Australien und Indonesien zur Bewahrung des Schiffswracks der HMAS Perth zeigt, wie internationale Kooperation den Schutz solcher Stätten verbessern kann (Polkinghorne u. a., 2024; Gribble, 2011). Die Beteiligung der Öffentlichkeit und der Einsatz von Technologien wie virtueller Realität, wie von Haydar u. a. (2011) beschrieben, können das Bewusstsein für den Wert des Unterwasser-Kulturerbes stärken und zur Bildung beitragen (Memet, 2008; Nishikawa, 2021).

Die Rolle führender Nationen wie der USA, China, Großbritannien und Frankreich im Schutz des Unterwasser-Kulturerbes ist von zentraler Bedeutung und spiegelt sowohl die Komplexität internationaler Zusammenarbeit als auch die Konflikte zwischen wirtschaftlichen Interessen und dem Erhalt kultureller Ressourcen wider. Die USA gehören nicht zu den Vertragsstaaten der UNESCO-Konvention von 2001, obwohl sie eine bedeutende maritime Macht darstellen und zahlreiche wertvolle Fundstätten in ihren Gewässern

1. Einleitung

besitzen. Ihre ablehnende Haltung wird durch nationale Souveränitätsansprüche und Bedenken hinsichtlich der Rechte an gesunkenen staatlichen Schiffen begründet. Dennoch haben die USA durch nationale Gesetzgebung wie den *Sunken Military Craft Act* von 2004 wichtige Schritte unternommen, um militärische Wracks vor kommerzieller Ausbeutung zu schützen. Dieser gesetzliche Rahmen hebt hervor, dass militärische Wracks weiterhin als Eigentum der USA betrachtet werden, unabhängig von ihrem Standort (Pearson, 2019; Aznar-Gómez, 2010).

China spielt eine doppelte Rolle im Zusammenhang des Unterwasser-Kulturerbes. Einerseits investiert die Volksrepublik massiv in archäologische Forschungen, insbesondere entlang der maritimen Seidenstraße, um ihren kulturellen Einfluss und ihre historische Bedeutung in der Region zu betonen. Projekte wie die archäologische Untersuchung von Handelsrouten im südchinesischen Meer haben wertvolle wissenschaftliche Erkenntnisse geliefert (Polkinghorne u. a., 2024). Andererseits wird China auch kritisiert, da es in internationalen Gewässern wirtschaftliche Interessen verfolgt, die den Schutz von Fundstätten gefährden könnten, beispielsweise durch großangelegte Bauprojekte und Rohstoffförderung (Polkinghorne u. a., 2024; Nishikawa, 2021).

Großbritannien, ein Land mit einer reichen maritimen Geschichte, hat die UNESCO-Konvention von 2001 bisher auch nicht ratifiziert. Dies liegt hauptsächlich an Vorbehalten gegenüber den Auswirkungen der Konvention auf kommerzielle Bergungsunternehmen und der Komplexität internationaler rechtlicher Verpflichtungen. Dennoch hat Großbritannien nationale Regelungen eingeführt, die einen gewissen Schutz bieten, wie das *Protection of Wrecks Act* von 1973. Laut Gribble (2011) hat die britische Regierung zusätzlich die in der Konvention enthaltenen Richtlinien für bewährte Praktiken bei der Unterwasserarchäologie als nationale Leitlinien übernommen, was einen wichtigen Schritt in Richtung einer verbesserten Verwaltung von Unterwasser-Kulturerbe darstellt (Aznar-Gómez, 2010).

Frankreich, eine weitere maritime Großmacht, hat die Konvention ebenfalls nicht ratifiziert, obwohl die Nation eine Vorreiterrolle in der Erforschung des Unterwasser-Kulturerbes spielt. Frankreich hat umfangreiche wissenschaftliche Arbeiten an Schiffswracks durchgeführt und durch Institutionen wie das DRASSM (*Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines*) eine starke Präsenz in der Unterwasserarchäologie etabliert. Allerdings gibt es auch hier Konflikte zwischen den Prinzipien der Konvention und der Wahrung nationaler Interessen, insbesondere bei gesunkenen staatlichen Schiffen und deren Souveränität (Aznar-Gómez, 2010; Nishikawa, 2021).

Mit dem ältesten Denkmalschutzgesetz von 1666 hat Schweden bereits frühzeitig eine starke Grundlage für den Kulturerbeschutz geschaffen und sich ebenfalls dem Unterwasser-Kulturerbe gewidmet. Schweden ratifizierte die UNESCO-Konvention von 2001 und hat mit dem Wrack der Vasa eines der am besten erhaltenen historischen Kriegsschiffe der Geschichte erfolgreich konserviert. Diese Arbeit zeigt, wie durch nationale Initiativen und die Entwicklung und Anwendung neuer Technologien lang-

1.1. Überblick über die Unterwasserarchäologie

fristiger Schutz möglich ist (Bulut u. Yüceer, 2023; Gribble, 2011). Norwegen hat mit seiner langen Küstenlinie und zahlreichen Schiffswracks, die unter Wasser aber auch an Land gefunden wurden, eine bedeutende Rolle in der Erforschung frühmittelalterlicher Schiffswracks gespielt und arbeitet eng mit internationalen Forschungsgruppen zusammen (Easton u. a., 2021).

1.1.2. Die Situation in Österreich

Die Unterwasserarchäologie in Österreich hat in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen, auch wenn sie im Vergleich zu anderen archäologischen Disziplinen noch immer budgetär und institutionell vernachlässigt wird. Im Mittelpunkt steht die Erforschung und der Schutz der Pfahlbauten, die seit 2011 als Teil des UNESCO-Welterbes *„Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“* einen internationalen Schutzstatus genießen. Die inkludierten Fundstätten im Attersee, Mondsee und Keutschacher See gelten als einzigartige Zeugnisse prähistorischer Lebensweise und liefern entscheidende Informationen über die Beziehung zwischen Mensch und Umwelt in der Jungsteinzeit und Bronzezeit. Gleichzeitig existiert in Österreich eine Vielzahl weiterer prähistorischer und historischer Fundstätten in Flüssen und Seen, die vom Neolithikum bis zur Neuzeit reichen, jedoch bisher kaum systematisch erforscht wurden. Dieses Ungleichgewicht verdeutlicht die Notwendigkeit, das enorme Potenzial der Unterwasserarchäologie in Österreich besser auszuschöpfen (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020a,b; Pohl, 2023; Willvonseder, 1966; Offenberger u. a., 2015; Dworsky u. Reitmaier, 2004b; Seidl Da Fonseca, 2019; Pieters, 2001).

Die Konzentration auf die Pfahlbauten wird durch die einzigartige archäologische und kulturelle Bedeutung dieser Stätten gerechtfertigt. Sie repräsentieren nicht nur die ältesten bekannten Holzsiedlungen Mitteleuropas, sondern auch komplexe soziale und wirtschaftliche Strukturen prähistorischer Gesellschaften. Durch die dendrochronologische Analyse von Holzresten konnten präzise Bau- und Nutzungsdaten ermittelt werden, während palynologische und archäobotanische Untersuchungen Erkenntnisse über die damaligen Umweltbedingungen und die Nutzung der natürlichen Ressourcen liefern (Cichocki, 2003; Pohl, 2015a, 2016b, 2021a; Dworsky u. Novak, 2012; Offenberger, 1976).

Trotz dieser Erfolge bleibt die österreichische Unterwasserarchäologie budgetär und vom Forschungsstand her stark unterentwickelt. Der Bereich leidet unter einer chronischen Unterfinanzierung, die eine systematische Erforschung und den langfristigen Schutz der Fundstätten erheblich erschwert. Diese Defizite stehen in starkem Kontrast zum wissenschaftlichen und kulturellen Potenzial, das die Unterwasserarchäologie bietet. Die zahlreichen unentdeckten Fundstätten in Gewässern wie beispielsweise dem Neusiedler See, der Donau, dem Hallstättersee oder dem Traunsee zeigen, dass die bisherige Forschung nur einen Bruchteil der möglichen Erkenntnisse liefert (Jansa, 2013; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020a; Pohl, 2023; Dworsky u. Reitmaier, 2004b; Seidl Da Fonseca, 2019; Pohl, 2016b, 2021b; Pohl u. Schauer, 2022; Neubauer u. a., 2010).

1. Einleitung

Seit 2016 gibt es Bestrebungen, die an Land sehr erfolgreichen Ansätze zur großflächigen, hochauflösenden geophysikalischen archäologischen Prospektion auch auf die Untersuchung von Gewässern zu übertragen. Dazu wurden seit 2016 durch das Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (2010-2024) in Kooperation mit dem Vienna Institute of Archaeological Science (VIAS) der Universität Wien, sowie durch finanzielle Unterstützung der Direktion Kultur des Landes Oberösterreich professionelle Infrastruktur für hochauflösende unterwasserarchäologische Prospektion aufgebaut. Dazu zählen ein hochwertiges Fächerecholot, ein Mehrkanal-Sedimentsonar speziell entwickelt für Flachwasseruntersuchungen, und ein Kajütmotorboot als Sensorplattform, samt präziser Positionierungstechnologie. Initial wurde der Seegrund des Mondsees hochaufgelöst bathymetrisch vermessen, mit Ausnahme der extremen Flachwasserbereiche aufgrund des niedrigen Wasserstandes zum Zeitpunkt der Messungen 2018. Erste Fächerecholot Testmessungen fanden auch im Attersee statt. Seit 2020 werden diese Bemühungen am VIAS fortgesetzt. Der technologische Prospektionsansatz ermöglicht die Erstellung präziser dreidimensionaler digitaler Modelle der Seeböden und der Untergründe, und liefert somit wichtige, die Umgebung betreffende Zusammenhänge und Informationen zur Ausdehnung und Entwicklung der Seen. Außerdem erlaubt er die effiziente Identifizierung neuer Fundstellen von archäologischem oder historischem Interesse, die wichtige Einblicke in die Geschichte und Vorgeschichte der Seen und ihrer Nutzung geben. Die Zusammenarbeit zwischen dem Kuratorium Pfahlbauten und VIAS hat gezeigt, wie innovative Technologien die archäologische Forschung voranbringen können (Trinks u. a., 2019b; Pohl, 2016c; Seidl Da Fonseca, 2019; Dworsky u. Reitmaier, 2004b; Dworsky u. a., 2016; Neubauer u. a., 2010).

Die Prospektionskampagnen des Kuratoriums Pfahlbauten sind ein zentraler Bestandteil der österreichischen Unterwasserarchäologie. Seit der Aufnahme der Pfahlbauten in das UNESCO-Welterbe konzentrieren sich diese systematischen Untersuchungen auf die Dokumentation, Analyse und den Schutz der Fundstätten. Neben visuellen Surveys und Probenentnahmen spielen technologische Verfahren wie die geophysikalische Prospektion eine Schlüsselrolle. Besonders erfolgreich waren die Arbeiten an den Fundstätten See, Litzlberg-Süd, Abtsdorf I, Abtsdorf III und Keutschacher See, wo durch die systematische Kartierung neue Verdachtsstellen identifiziert und deren archäologische Bedeutung bewertet wurden (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020a; Pohl, 2023, 2022, 2021a; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020b; Offenberger, 1994; Offenberger u. Nicolussi, 1982; Jansa, 2013).

Die Herausforderungen, vor denen die österreichische Unterwasserarchäologie steht, sind vielfältig. Eine der größten Gefahren geht vom Klimawandel aus, dessen Auswirkungen besonders an den Pfahlbauten sichtbar werden. Steigende Wassertemperaturen Pohl u. Schauer (2022) , veränderte Strömungsmuster Pohl u. Schauer (2022) und extreme Wetterereignisse fördern die Erosion Pohl u. Schauer (2022) und destabilisieren die schützenden Sedimentschichten. Am Mondsee und Attersee wurden bereits erhebliche Schäden dokumentiert, die eine dringende Umsetzung von Schutzmaßnahmen

1.1. Überblick über die Unterwasserarchäologie

erforderlich machen. Besonders gefährdet sind die freiliegenden Kulturschichten, die ohne ausreichenden Schutz schnell zerstört werden können (Pohl u. Schauer, 2022; Pohl, 2015b, 2016b, 2017a; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018, 2020b; Pohl, 2021a; Offenberger, 1994).

Neben klimatischen Veränderungen stellen auch menschliche Aktivitäten eine ernsthafte Bedrohung für die Fundstätten dar. Der zunehmende Wassersport, der Bau von Uferanlagen und die Nutzung von Ankerplätzen führen zu mechanischen Schäden, welche die Stabilität der archäologischen Schichten gefährden. Bojen und Anker hinterlassen tiefe Krater im Sediment, welche die darunterliegenden Kulturschichten freilegen und anfällig für weitere Schäden machen können. Die Sprungturmgrube Seewalchen am Attersee ist ein Beispiel für eine Fundstätte, die durch Seegrund-Eingriffe stark beschädigt wurde. Um solche Schäden einzudämmen, wurden in anderen Seen wie dem Keutschachersee Geotextilien verlegt, welche die Kulturschichten stabilisieren sollen (Pohl u. Schauer, 2022; Pohl, 2021c, 2016c,b).

Die neueren Forschungen unter der Leitung von Marie-Claire Ries am Wörthersee zeigen, dass auch in anderen Gewässern Österreichs ein enormes Potenzial für die Unterwasserarchäologie besteht. Erste Untersuchungen deuten auf bislang unbekannte Siedlungsspuren hin, die das Verständnis der prähistorischen Besiedlung Österreichs erweitern könnten. Obwohl die Ergebnisse noch nicht veröffentlicht wurden, verdeutlichen sie, dass die österreichische Unterwasserfundstätten weit über die bekannten Pfahlbauten hinausgehen. Der Wörthersee könnte als Modell für zukünftige Forschungsprojekte dienen, die sich auf weniger bekannte Gewässer konzentrieren (Ries, 2016, 2014; Pohl, 2009).

Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist ein wesentlicher Faktor für den Erfolg der österreichischen Unterwasserarchäologie. Neben der Ur- und Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie und der Geschichtswissenschaften bis hin zur Neuzeit, spielen auch naturwissenschaftliche Methoden wie die Dendrochronologie, die Palynologie und die geophysikalische archäologische Prospektion eine entscheidende Rolle. Die naturwissenschaftlichen Analysen liefern wertvolle Daten zur Datierung und Umweltrekonstruktion, während archäobotanische und archäozoologische Studien wichtige Einblicke in die Ernährung und Lebensweise prähistorischer Gemeinschaften geben. Internationale Projekte wie „*Beyond Lake Villages*“ zeigen, wie wichtig ein grenzüberschreitender Austausch für die Weiterentwicklung der Forschung ist. Diese Kooperationen ermöglichen es, österreichische Fundstätten in einen globalen Kontext zu stellen und neue Perspektiven auf die prähistorische Besiedlung zu eröffnen (Kowarik u. a., 2017; Seidl Da Fonseca, 2019; Pohl, 2016c; Dworsky u. Reitmaier, 2004a; Dworsky u. a., 2016).

Trotz der Fortschritte bleibt die österreichische Unterwasserarchäologie jedoch unterfinanziert und institutionell schwach aufgestellt. Dieses strukturelle Defizit verhindert eine systematische Erforschung und den Schutz der zahlreichen Fundstätten, die Österreichs Gewässer zu bieten haben. Die begrenzten finanziellen Mittel stehen in starkem Kontrast zu dem wissenschaftlichen und kulturellen Potenzial, das dieser

1. Einleitung

Forschungszweig birgt. Angesichts der zunehmenden Bedrohungen durch eine sich verändernde Umwelt und menschliche Eingriffe ist es entscheidend, die finanziellen und institutionellen Rahmenbedingungen zu verbessern, um die Unterwasserarchäologie in Österreich nachhaltig zu stärken. Nur so kann dieses Feld sein volles Potenzial entfalten und einen bedeutenden Beitrag zum internationalen Kulturerbemanagement leisten (Pohl u. Schauer, 2022; Pohl, 2019a; Dworsky u. a., 2022; Pohl, 2009; Cichocki u. Dworsky, 2006; Offenberger, 1994).

1.2. Unterwasserarchäologische Prospektion und Dokumentation

Die unterwasserarchäologische Prospektion ist eine zentrale Methode zur Erfassung, Dokumentation und somit eine Voraussetzung zum Schutz des kulturellen Erbes unter Wasser. Fundstellen wie prähistorische Pfahlbauten, römische Hafenanlagen, oder mittelalterliche Schiffswracks bieten unschätzbare Einblicke in die Lebensweisen und Umweltbedingungen vergangener Epochen. Gleichzeitig steht die Unterwasserarchäologie vor der Herausforderung, diese empfindlichen Stätten effizient zu erfassen, ohne sie zu beschädigen. Die Entwicklung moderner Prospektionstechnologien und die Integration klassischer Ansätze haben diese Disziplin revolutioniert und ermöglichen es, großflächige Untersuchungen mit hoher Präzision und minimalem Eingriff durchzuführen (Drap u. a., 2015; Pieters, 2001; Menna u. a., 2018).

Ein zentrales Prinzip der modernen Unterwasserarchäologie ist der Einsatz geringst-invasiver Methoden. Die UNESCO-Konvention von 2001 Pieters (2001) betont die Notwendigkeit, Fundstätten nicht zu beeinträchtigen und Technologien einzusetzen, die es ermöglichen, die Integrität des kulturellen Erbes zu bewahren. Side-Scan-Sonar, Fächerecholot und Sedimentsonar haben sich als leistungsstarke Werkzeuge für die großflächige und hochauflösende Kartierung des Meeresbodens etabliert. Diese Technologien liefern nicht nur detaillierte Karten der Unterwasserlandschaft, sondern ermöglichen es auch, verborgene archäologische Strukturen unter Sedimentschichten zu identifizieren (vgl. Drap u. a., 2015; Bailey u. a., 2017). Am Beispiel der prähistorischen Pfahlbauten im Mondsee und Attersee zeigt sich, wie diese Methoden genutzt werden können, um die räumliche Ausdehnung, den Zustand und die Gefährdung solcher Fundstätten zu analysieren (Pohl, 2014; Pohl u. Dworsky, 2022).

Side-Scan-Sonar wird häufig eingesetzt, um großflächige Areale effizient zu kartieren und potenzielle Fundstellen zu identifizieren. Die Technik basiert auf akustischen Signalen, die den Meeresboden abtasten und ein zweidimensionales Bild der Oberfläche erzeugen. Ergänzend dazu ermöglicht das Fächer- oder Multibeam-Echolot die Erstellung dreidimensionaler Modelle des Meeresbodens, die eine detaillierte Analyse topographischer Merkmale und von Sedimentstrukturen erlauben. Diese Technologien wurden etwa bei der Untersuchung der UNESCO-Welterbestätten im Alpenraum eingesetzt, um die Auswirkungen von Erosion und anderen Umweltfaktoren auf prähistorische Sied-

1.2. Unterwasserarchäologische Prospektion und Dokumentation

lungen zu dokumentieren (vgl. Drap u. a., 2015; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020a).

Auch Sedimentsonar spielt eine wichtige Rolle, insbesondere bei der Untersuchung von Schichtabfolgen, die unter der Oberfläche verborgen liegen. Diese Methode hat sich bei der Analyse von Pfahlbausiedlungen als besonders effektiv erwiesen, da sie die stratigraphische Abfolge und die Erhaltungsbedingungen der Fundstätten sichtbar macht (Çağatay, 2014; Pohl, 2015b).

Neben modernen Technologien sind klassische Ansätze wie Rammkernbohrungen weiterhin unverzichtbar. Diese Methode ermöglicht die Entnahme von Sedimentkernen, welche wertvolle Informationen über die Umweltbedingungen zur Zeit der Sedimentablagerung an den Fundstätten liefern. Am Attersee wurden Rammkernbohrungen genutzt, um Daten zur Feinstratigraphie und zur Ausdehnung prähistorischer Siedlungen zu gewinnen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse liefern nicht nur Hinweise auf die damaligen Lebensbedingungen, sondern tragen auch zur Entwicklung nachhaltiger Schutzstrategien bei (vgl. Pohl, 2022; Leineweber u. Lübke, 2019). Ein weiteres Beispiel für den Einsatz klassischer Methoden ist die Untersuchung des Arendsees, wo Rammkernbohrungen und Sedimentanalysen dazu beitrugen, eine 4600 Jahre alte Fischfanganlage zu dokumentieren und ihre Bedeutung für die prähistorische Fischerei zu analysieren (Leineweber u. Hellmund, 2017; Leineweber u. Lübke, 2019).

Großflächige Prospektionen sind von zentraler Bedeutung für die Unterwasserarchäologie, da sie es ermöglichen können, unbekannte oder möglicherweise gefährdete Fundstätten rechtzeitig zu identifizieren. Nur was bekannt ist, kann auch erforscht und geschützt werden. Am Beispiel der Untersuchungen im Arendsee zeigt sich, wie eine Kombination aus Sonarkartierungen und gezielten Bohrungen ein umfassendes Bild der Fundstätte liefern kann. Die Entdeckung der Fischfanganlage unterstreicht das Potenzial solcher Ansätze, auch in Binnengewässern bedeutende archäologische Funde zu machen (vgl. Leineweber u. Lübke, 2019). Ähnliche Untersuchungen wurden im Rahmen des SPLASHCOS-Projekts¹ durchgeführt, das sich mit prähistorischen Landschaften auf dem europäischen Kontinentalschelf befasst. Hier wurden mithilfe hochauflösender Sonar- und Sedimentsonarmessungen untergegangene Landschaften kartiert und potenzielle Fundstätten identifiziert. Diese Studien zeigen, wie wichtig es ist, großflächige Prospektionen in die Planungsprozesse von Infrastrukturprojekten zu integrieren, um das kulturelle Erbe zu schützen (Çağatay, 2014; Bailey u. a., 2020, 2017).

Ein innovativer Ansatz ist die Nutzung der Daten, die durch Dritte erzeugt werden, wie sie beispielsweise bei industriellen Voruntersuchungen anfallen. Inspektionsdaten von ROVs (Remotely Operated Vehicles), die ursprünglich für Bau- oder Energieprojekte gesammelt wurden, können für die archäologische Prospektion und Dokumentation genutzt werden. Diese Herangehensweise wird auch im Projekt „Lost Frontiers“ genutzt, das umfangreiche seismische Daten, darunter 2D- und 3D-Seismik, verwendet,

¹ SPLASHCOS – Submerged Prehistoric Archaeology and Landscapes of the Continental Shelf: <https://www.splashcos.org/> (Link zuletzt aufgerufen am 09.12.2024).

1. Einleitung

um die Landschaften von Doggerland zu kartieren und frühere Umweltdynamiken zu rekonstruieren. Insbesondere werden hier palaeogeografische Analysen und die Auswertung von sedimentärem DNA-Material kombiniert, um die Übergangsphase von Jäger-Sammler-Gesellschaften zu frühen Bauern besser zu verstehen (Gaffney u. a., 2017).

Wie in Rönby (2007) beschrieben, betont die Theorie der „maritimen Dureés“ die langfristigen Wechselwirkungen zwischen Mensch und maritimer Umwelt, die über Jahrtausende hinweg Kultur, Wirtschaft und Siedlungsmuster geprägt haben. Sie unterstreicht, wie entscheidend die nachhaltige Nutzung von Ressourcen und die Anpassung an verändernde Küstenlandschaften für die Entwicklung maritimer Gemeinschaften waren.

Die technologische Entwicklung spielte eine zentrale Rolle für die Unterwasserarchäologie. Wie in Bass (2011) dargestellt, ermöglichte die Einführung der Aqua-Lung durch Jacques-Yves Cousteau erstmals systematische und präzise Prospektionen unter Wasser. Besonders in der nautischen Archäologie, die sich auf die Erforschung von Wasserfahrzeugen und Hafenstrukturen konzentriert, führte dies zu einer erheblich verbesserten Dokumentation und Analyse maritimer Kulturgüter.

Ein herausragendes Beispiel für die Kombination moderner Technologien und klassischer Methoden ist die Prospektion der römischen Unterwasseranlage von Weyregg am Attersee. Hier wurden sowohl C^{14} -Datierungen als auch moderne Kartierungstechniken eingesetzt, um die Anlage neu zu bewerten und ihre historische Bedeutung besser zu verstehen (vgl. Pohl, 2015b). Ähnliche Ansätze wurden bei der digitalen Rekonstruktion der Villa dei Pisoni in Baiae verfolgt, die durch die Kombination von Fotogrammetrie und 3D-Scans ein umfassendes Bild der römischen Luxusvilla unter Wasser lieferte (Davidde Petriaggi u. a., 2020).

Die Zukunft der Unterwasserarchäologie liegt in der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Technologien und Methoden. Der Einsatz großflächiger Prospektionen, gepaart mit minimal-invasiven Ansätzen und interdisziplinärer Zusammenarbeit, ist entscheidend, um die Vielfalt und Bedeutung des Unterwassererbes zu erfassen. Nur durch die Verbindung von Innovation, Nachhaltigkeit und gesellschaftlichem Engagement kann dieses Erbe nicht nur bewahrt, sondern auch für zukünftige Generationen erlebbar gemacht werden (Drap u. a., 2015; Çağatay, 2014; Leineweber u. Lübke, 2019).

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

Die prähistorischen Pfahlbauten rund um die Alpen stellen mit über 1000 dokumentierten Fundstellen ein einzigartiges kulturelles Erbe dar, das tiefe Einblicke in die Lebensweise, Technologien und Umweltanpassungen der Menschen in der Jungsteinzeit und frühen Bronzezeit ermöglicht. Diese Siedlungen erstrecken sich über die heutigen

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

Länder Schweiz, Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und Slowenien. Sie wurden 2011 von der UNESCO in die Liste des Weltkulturerbes aufgenommen, was ihre globale kulturelle und wissenschaftliche Bedeutung hervorhebt. Dennoch spiegelt diese beeindruckende Zahl nur den aktuellen Forschungsstand wider, da die Dunkelziffer der noch nicht entdeckten Pfahlbaustätten wahrscheinlich erheblich höher ist (Hafner u. a., 2022; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018).

Die Schweiz gilt als Pionierregion der Pfahlbauforschung, da hier Mitte des 19. Jahrhunderts die ersten systematischen Untersuchungen begannen. Ferdinand Keller prägte 1854 den Begriff „Pfahlbauten“, nachdem in Zürich Überreste von Holzpfählen entdeckt wurden (Hafner (2002)). Diese Stätten, darunter Auvernier und Twann am Bielersee sowie Robenhausen am Pfäffikersee, zeigen eine außergewöhnliche Erhaltung organischer Materialien wie Holz, Textilien und Pflanzenreste (Hafner u. a. (2022)). Diese Funde ermöglichen detaillierte Rekonstruktionen der prähistorischen Lebensweise und belegen, wie eng die Pfahlbaukulturen miteinander und mit weiter entfernten Regionen vernetzt waren. Auch die Nutzung moderner Technologien wie Dendrochronologie hat dazu beigetragen, Bauphasen präzise zu datieren und die Entwicklung von Siedlungsstrukturen besser zu verstehen (Cichocki u. Dworsky, 2006; Cichocki, 2003; Staub, 1864).

In Deutschland konzentrieren sich die Pfahlbauten auf die Bodenseeregion, Federsee, Starnberger See und die Moorlandschaften Oberschwabens (Schöbel u. Baumhauer (2022)). Bedeutende Stätten wie Unteruhldingen und Hornstaad-Hörnle haben nicht nur durch ihre gut erhaltenen Funde, sondern auch durch den Einsatz innovativer Technologien wie hydroakustischer Kartierungen zur Weiterentwicklung der archäologischen Forschung beigetragen. Besonders die Nutzung von Multibeam-Echoloten und Sub-Bottom-Profilern ermöglicht die hochauflösende Kartierung von Seeböden und die Identifikation verborgener Strukturen (Trinks u. a., 2019b). Diese Methoden wurden beispielsweise erfolgreich bei der Untersuchung von Sedimentschichten am Bodensee eingesetzt im Rahmen des „Tiefenschärfe Bodensee“ Projektes (Paulus u. a., 2019). Die deutschen Fundstätten stehen in engem kulturellem Austausch mit den benachbarten Regionen und belegen die zentrale Rolle von Kupfer und anderen Rohstoffen im transalpinen Handel.

Frankreichs Pfahlbauten konzentrieren sich auf die Regionen Savoyen und Jura. Zu den bedeutendsten Fundstätten zählen der Lac du Bourget und der Lac d’Annecy. Die Funde umfassen dekorative Keramiken, Werkzeuge und Schmuck, welche auf eine hochentwickelte Gesellschaft hinweisen und die Bedeutung der Seen als kulturelle und wirtschaftliche Zentren unterstreichen. Die Verbindung zu den Pfahlbaukulturen der Schweiz und Norditaliens zeigt, wie intensiv der Austausch über die Alpen hinweg war (Hafner, 2002; Suter u. Schlichtherle, 2009).

Italien bietet mit den Pfahlbauten in den norditalienischen Seen, darunter der Lago di Garda, der Lago di Varese und der Lago di Ledro, ebenfalls ein reichhaltiges archäologisches Erbe. Der Lago di Ledro liefert spektakuläre Funde, die weitrei-

1. Einleitung

chende Handelsbeziehungen innerhalb Europas dokumentieren. Italien spielte eine Schlüsselrolle im transalpinen Handel, insbesondere durch den Austausch von Kupfer, und trug so zur wirtschaftlichen Blüte der Pfahlbaukulturen bei (Hafner u. Schlichtherle, 2008; Hafner u. a., 2022; Suter u. Schlichtherle, 2009). Die geografische Lage Italiens machte die Region zu einem wichtigen Knotenpunkt, was auch die Funde aus den Seen belegen, die eine Mischung aus lokalen und importierten Waren aufweisen.

Die österreichischen Pfahlbauten, insbesondere jene der Mondsee-Gruppe, sind von zentraler Bedeutung für die Forschung. Diese Stätten, die in die Jungsteinzeit und Kupferzeit datieren, sind bekannt für ihre frühzeitige Nutzung von Kupfer und ihre charakteristische Keramik. Die Fundorte am Attersee und Mondsee belegen nicht nur eine ausgeprägte Handelsvernetzung innerhalb der Alpen, sondern auch den technologischen Fortschritt dieser Gemeinschaften. Besonders hervorzuheben ist die systematische Anwendung moderner Technologien wie Dendrochronologie, die eine präzise Rekonstruktion von Bauphasen ermöglicht, sowie hydroakustischer Techniken, die verborgene Strukturen in den Sedimenten sichtbar machen (Kowarik u. a., 2017; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018; Hafner u. a., 2022).

Slowenien ergänzt das Bild der alpinen Pfahlbaukulturen durch die Fundstätten im Ljubljansko barje (Laibacher Moor). Diese Stätten repräsentieren den südlichsten Teil der Pfahlbaukultur und weisen enge Verbindungen zu den nördlichen Alpen sowie zum Mittelmeerraum auf. Die Funde umfassen hölzerne Werkzeuge, Keramiken und Schmuckstücke, welche die kulturelle Vielfalt und Vernetzung dieser Gesellschaften betonen (Hafner u. a., 2022; Bartosiewicz, 2002; Čufar u. a., 2009; Deschmann, 1878; Morton, 1967; Out u. a., 2023; Veluscek u. Cufar, 2014).

Die mehr als 1000 dokumentierten Fundstellen sind jedoch nur der sichtbare Teil eines viel größeren Netzes von Siedlungen, von denen viele noch unentdeckt sind. Diese Dunkelziffer stellt eine enorme Chance für zukünftige Forschungen dar. Die großflächige geophysikalische Unterwasserprospektion könnte entscheidend dazu beitragen, bislang verborgene Stätten aufzudecken und so die bestehenden Lücken in der archäologischen Kartierung zu schließen. Der Einsatz von Multibeam-Echoloten und Sub-Bottom-Profilern in Kombination mit digitalen Kartierungstechniken bietet die Möglichkeit, neue Fundstellen systematisch zu identifizieren und das Wissen über prähistorische Siedlungsdynamiken auf eine neue Ebene zu heben (Paulus u. a., 2019).

Die Erhaltung der Pfahlbauten ist eine ebenso große Herausforderung wie ihre Erforschung. Natürliche Prozesse wie Erosion, Sedimentverlagerungen und klimatische Veränderungen bedrohen viele der bestehenden Stätten. Schutzmaßnahmen wie Monitoringprogramme und interdisziplinäre Projekte zur nachhaltigen Erhaltung dieser einzigartigen Fundstätten sind von entscheidender Bedeutung (Seidl Da Fonseca u. a., 2024; Pohl, 2018). Der Schutz und die Erforschung der Pfahlbauten erfordern länderübergreifende Zusammenarbeit, da sie ein transnationales Erbe darstellen, das von gemeinsamen Bemühungen profitiert.

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

Die Pfahlbauten rund um die Alpen sind ein außergewöhnliches Archiv menschlicher Geschichte, das nicht nur die Innovationskraft früher Gesellschaften dokumentiert, sondern auch wertvolle Lektionen für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen heute bietet. Sie bleiben ein faszinierendes Zeugnis für die Anpassungsfähigkeit und den Einfallsreichtum prähistorischer Gemeinschaften, deren Erbe für künftige Generationen bewahrt werden muss.

1.3.1. Historischer und archäologischer Kontext

Die Region um den Attersee und den Mondsee ist eine herausragende archäologische Landschaft im Alpenraum. Ihre außergewöhnliche kulturelle und wirtschaftliche Bedeutung ergibt sich aus einer nahezu durchgehenden Besiedlung seit der Jungsteinzeit. Bereits im 4. Jahrtausend v. Chr. entstanden hier die ersten Siedlungen, die für ihre hölzernen Pfahlbauten bekannt sind. Die Reste dieser Siedlungen, seit 2011 UNESCO-Weltkulturerbe, sind hervorragend erhalten und bieten Einblicke in die kulturelle und technologische Entwicklung Mitteleuropas. Die Pfahlbauten repräsentieren nicht nur architektonische Innovationen, sondern auch die Fähigkeit prähistorischer Gesellschaften, sich an die natürlichen Bedingungen ihrer Umgebung anzupassen und Ressourcen effizient zu nutzen (Pohl, 2016c; Hafner, 2012; Mowat, 2011).

Bereits in der Jungsteinzeit spielte die Region eine Schlüsselrolle als Handels- und Siedlungszentrum. Der „Weg des Salzes“ verband die Hallstätter Bergwerke mit entfernteren Regionen Europas. Nach Kern u. a. (2008) wurde über die Seen des Salzkammerguts mit größter Wahrscheinlichkeit Salz transportiert, ein Rohstoff, der laut Reschreiter u. Kowarik (2015) essenziell für die Ernährung und Konservierung war. Laut Pohl (2017a) war zusätzlich der Transport von Kupfer ein bedeutender Aspekt der wirtschaftlichen Aktivitäten, wie zahlreiche Funde, darunter Bronzeartefakte und Gusslöffel Willvonseder (1963); Pohl u. Seidl Da Fonseca (2018), zeigen. Diese Artefakte belegen nicht nur die weitreichenden Handelsbeziehungen der Region, sondern auch die frühe Metallurgie, welche die wirtschaftliche Bedeutung der Region untermauert. Nach Ries (2014) waren neben Salz und Metallen die charakteristische schwarze Keramik der Mondsee-Gruppe sowie andere kunstvoll gefertigte Artefakte Belege für einen intensiven kulturellen Austausch zwischen den Siedlungen des Alpenraums (Seidl Da Fonseca, 2019).

Die eisenzeitliche Befestigungsanlage auf dem Buchberg am Attersee ist ein weiteres Beispiel für die strategische Bedeutung der Region. Diese Anlage diente mutmaßlich als Kontrollzentrum für Handelswege und spiegelt sowohl die militärische als auch die wirtschaftliche Bedeutung wider. Sie verdeutlicht, wie die Region als Schnittstelle für den Austausch von Gütern und Informationen diente. Diese Funktion setzte sich in der Römerzeit fort, als die Region in ein weitverzweigtes System von Handels- und Verkehrswegen integriert wurde, das sich bis zur Donau erstreckte. Die strategische Lage der Seen und die Nähe zu natürlichen Wasserstraßen erleichterten den Warenaustausch und trugen zur wirtschaftlichen Blüte der Region bei (Pohl, 2016c; Ries, 2014; Hauser u. Traxler, 2018).

1. Einleitung

Die unter Wasser liegenden Pfahlbauten am Attersee und Mondsee sind außergewöhnlich gut erhaltene Zeugnisse prähistorischer Baukunst. Diese Siedlungen umfassten nicht nur Wohnhäuser, sondern vermutlich auch Infrastruktur wie Wege, Palisaden und Speicher. Dank der sauerstoffarmen Bedingungen des Wassers sind organische Materialien wie Holz, Pflanzenreste und Textilien hervorragend konserviert. Diese Überreste ermöglichen detaillierte Einblicke in die Lebensweise, Ernährung und sozialen Strukturen der prähistorischen Gemeinschaften. Sedimentuntersuchungen und Pollenanalysen haben gezeigt, dass klimatische Schwankungen und Veränderungen des Seespiegels direkten Einfluss auf die Siedlungstätigkeit hatten. Während Perioden mit steigendem Wasserstand mussten die Bewohner ihre Siedlungen oft auf höher gelegene Flächen verlegen, was in den stratigraphischen Schichten deutlich erkennbar ist. Diese dynamische Wechselwirkung zwischen Umwelt und Gesellschaft verdeutlicht die Anpassungsfähigkeit der Menschen jener Zeit (Pohl u. Weßling, 2016; Ries, 2014; Offenberger u. Ruttkay, 1997; Offenberger, 1994; Pohl u. Schauer, 2022).

Die frühbronzezeitliche Siedlung und UNESCO Welterbestätte Abtsdorf I am Attersee ist ein herausragendes Beispiel für die Bedeutung der Region in der Bronzezeit. Hier wurden nicht nur archäologische Artefakte wie Keramiken, Steinwerkzeuge und Bronzeartefakte entdeckt, sondern auch umfangreiche naturwissenschaftliche Untersuchungen



Abb. 1.1.: Übersichtskarte der Seen im Untersuchungsgebiet. Quelle: Joe Migo, Copyrighted free use, via Wikimedia Commons.

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

durchgeführt Pohl (2019a). Diese Studien haben gezeigt, dass menschliche Aktivitäten einen deutlichen Einfluss auf die Landschaft und die Sedimentationsmuster hatten. Pollenanalysen in Ries (2014) belegen eine zunehmende landwirtschaftliche Nutzung, die in Kombination mit klimatischen Veränderungen die Umwelt nachhaltig prägte. Die Siedlung zeigt, wie prähistorische Gemeinschaften auf Umweltveränderungen reagierten und ihre Lebensweise entsprechend anpassten. Sie ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie eng menschliche Siedlungen mit den natürlichen Ressourcen und klimatischen Bedingungen ihrer Umgebung verbunden waren (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2019; Schöbel u. Baumhauer, 2022).

Während der beiden Weltkriege blieb die Region weitgehend unberührt, was zur außergewöhnlichen Erhaltung vieler archäologischer Stätten beitrug. Dies hat es modernen Forschungsmethoden ermöglicht, die Fundstellen detailliert zu dokumentieren und neue Erkenntnisse über die prähistorische Lebensweise zu gewinnen. Technologien wie Unterwasser-Videogrammetrie und Image-Based-Modelling-Methoden bieten präzise dreidimensionale Aufnahmen der Fundstätten und tragen wesentlich dazu bei, diese vor Erosion und menschlichen Eingriffen zu schützen. Sie haben auch dazu beigetragen, die Bauweise und Nutzung der Pfahlbauten sowie deren zeitliche Entwicklung besser zu verstehen. Darüber hinaus liefern dendrochronologische Analysen wichtige Informationen über die zeitliche Abfolge und Bauweise der Pfahlbauten. Solche Untersuchungen zeigen die hochkomplexen Bau- und Planungsprozesse der prähistorischen Gemeinschaften auf (Reich u. a., 2021; Pflederer u. Angermayr, 2019; Pohl, 2021a).

Die Region ist darüber hinaus ein kultureller Knotenpunkt, dessen Bedeutung weit über die Grenzen des Salzkammerguts hinausgeht. Die Fülle an gut erhaltenen Artefakten und Siedlungsresten dokumentiert nicht nur die technologische Entwicklung, sondern auch die sozialen und wirtschaftlichen Netzwerke, welche die Region mit anderen Teilen Europas verbanden. In der Bronzezeit, einer Phase intensiver Siedlungsaktivitäten, zeigt sich die Region als bedeutendes Zentrum der Metallverarbeitung und des Handels. Diese ökonomische und kulturelle Blütezeit wird durch die Vielzahl der archäologischen Funde eindrucksvoll illustriert. Die Verwendung moderner technischer und naturwissenschaftlicher Methoden wie der Pollenanalyse, der dendrochronologischen Datierung und der digitalen Vermessung hat dazu beigetragen, das Verständnis dieser prähistorischen Gesellschaften erheblich zu vertiefen (Pohl, 2016c; Ries, 2014; Pohl, 2018, 2021b).

1.3.2. Bedeutung der Seen im UNESCO-Welterbe

Die Aufnahme des Attersees und des Mondsees in das UNESCO-Welterbe „*Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen*“ im Jahr 2011 stellt einen bedeutenden Schritt zur internationalen Anerkennung und zum Schutz dieser einzigartigen archäologischen Stätten dar. Die beiden Seen, die für ihre außergewöhnlich gut erhaltenen Pfahlbausiedlungen bekannt sind, sind Teil eines transnationalen Welterbes, das insgesamt 111 Fundstätten in sechs Ländern umfasst. Der UNESCO-Welterbestatus hebt die kulturelle, wissenschaftliche und ökologische Bedeutung dieser Stätten hervor und hat zu einer Vielzahl von Schutz-

1. Einleitung

Forschungs- und Vermittlungsmaßnahmen beigetragen, die deren langfristige Erhaltung sichern sollen (Hagmann, 2016; Jansa, 2013; Pflederer u. a., 2009).

Ein zentraler Aspekt des Welterbestatus ist der Schutz der Fundstätten, die durch verschiedene Faktoren bedroht sind. Dazu zählen natürliche Einflüsse wie Erosion und Klimaveränderungen, aber auch menschliche Aktivitäten wie Schifffahrt und Tourismus. Der UNESCO-Welterbestatus der Stationen Abtsdorf I am Attersee, Litzlberg Süd am Attersee und der Station See am Mondsee trägt maßgeblich zur Bewahrung des gesamten kulturellen unterwasserarchäologischen Erbes bei. Am Attersee wurden beispielsweise in der Sprungturmgrube Seewalchen (Station Seewalchen I) umfangreiche Monitoring-Maßnahmen eingeführt, um die „durch Strömungen und Sedimentabtrag gefährdeten Fundstellen zu sichern“ (vgl. Jansa, 2013). In Weyregg II führten Schutzmaßnahmen wie die Sicherung der Stratigrafie dazu, dass die zweiphasigen Schichten der Siedlungsreste nicht nur bewahrt, sondern auch detailliert dokumentiert werden konnten (vgl. Pohl, 2017a). Der UNESCO-Welterbestatus hat nicht nur maßgeblich zur Beschaffung der Ressourcen für diese Schutzmaßnahmen geführt, sondern auch die öffentliche Wahrnehmung für die Bedrohungen dieser Stätten geschärft (Hagmann, 2016; Hagmann u. Schlichtherle, 2014; Suter u. Schlichtherle, 2009).

Am Mondsee, insbesondere in der Fundstelle See, zeigt sich die Bedeutung des UNESCO-Welterbestatus in der Kombination aus Schutz und Forschung. Die dendrochronologische Untersuchung von Holzfunden hat es ermöglicht, präzise Zeiträume für die Siedlungsaktivitäten zu bestimmen. Darüber hinaus wurden wie in Schmidt (1986) palynologische Analysen durchgeführt, um Einblicke in die Umweltbedingungen und landwirtschaftlichen Praktiken der damaligen Gemeinschaften zu gewinnen (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018). Wie Pohl betont, sind diese Untersuchungen nur durch die internationalen Standards und die Zusammenarbeit im Rahmen des UNESCO-Welterbes möglich geworden (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018).

Der Welterbestatus hat zudem die wissenschaftliche Forschung erheblich vorangetrieben. Projekte wie „Zeitensprung“ am Mondsee und interdisziplinäre Studien am Attersee haben die Kooperation zwischen Archäolog:innen, Naturwissenschaftler:innen und anderen Fachdisziplinen gestärkt. Dies hat zu neuen Erkenntnissen über die Nutzung der Seen als Ressourcengebiete und Handelswege geführt (Suter u. Schlichtherle, 2009; Dominik Bochatz, 2017). Diese Forschungsergebnisse tragen auch zur Klimaforschung bei, da sie Informationen über vergangene Umweltbedingungen und -veränderungen liefern (Suter u. Schlichtherle, 2009; Pieters, 2001).

Neben dem Schutz und der Forschung hat der Welterbestatus die öffentliche Wahrnehmung der Pfahlbauten erheblich verändert. Bildungsprogramme, Ausstellungen und Führungen ermöglichen es, die Bedeutung der Fundstätten einem breiten Publikum zugänglich zu machen. So wurden am Mondsee spezifische Besucherlenkungsmaßnahmen, wie zum Beispiel das Kloster- und Pfahlbaumuseum in Mondsee Ort errichtet, die es ermöglichen, die archäologischen Werte der Stätten zu präsentieren, ohne die empfindlichen Schichten zu beeinträchtigen (Hagmann, 2022, 2016; Hagmann u. Schlichtherle,

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

2014). Am Attersee wurden Informationspavillons eingerichtet, welche die Ergebnisse der jüngsten Untersuchungen anschaulich darstellt und die Bedeutung der Stätten als Teil des UNESCO-Welterbes unterstreicht (Suter u. Schlichtherle, 2009).

Ein wichtiger Bestandteil des UNESCO-Welterbestatus ist die Förderung der internationalen Zusammenarbeit. Die Nominierung der Pfahlbauten war ein länderübergreifender Prozess, der eine enge Kooperation zwischen den Alpenländern erforderte. Dieser transnationale Ansatz hat nicht nur den Austausch von Methoden und Wissen erleichtert, sondern auch zur Entwicklung gemeinsamer Standards für den Schutz und die Forschung beigetragen (Jansa, 2013; Gribble, 2011). Wie Hagmann feststellt, bietet das UNESCO-Welterbe eine „Plattform für die Integration von Schutzmaßnahmen und interdisziplinärer Forschung“ (Hagmann, 2016, 2022).

Die Seen Attersee und Mondsee profitieren nicht nur wissenschaftlich und kulturell vom Welterbestatus, sondern auch ökonomisch und touristisch. Nachhaltiger Tourismus wird gefördert, indem Tourismusprogramme wie die Pfahlbau-Attraktionen an Tauchplätzen installiert wurden, die zugleich der kulturellen Vermittlung dienen. Gleichzeitig tragen diese Maßnahmen dazu bei, die lokale Identität zu stärken und die regionale Entwicklung zu fördern (Hagmann u. Schlichtherle, 2014; Hagmann, 2022; Dominik Bochatz, 2017). Wie Jansa betont, ermöglicht der Welterbestatus eine Verknüpfung von Schutz und Entwicklung, die sowohl der lokalen Bevölkerung als auch der internationalen Gemeinschaft zugutekommt (Jansa, 2013).

Insgesamt zeigt der UNESCO-Welterbestatus die universelle Bedeutung der Pfahlbauten am Attersee und Mondsee. Er hat nicht nur dazu beigetragen, diese einzigartigen archäologischen Stätten zu bewahren, sondern auch ihre wissenschaftliche und kulturelle Relevanz weltweit bekannt zu machen. Die Verbindung von Schutz, Forschung und nachhaltiger Nutzung verdeutlicht, wie prähistorisches Erbe in bewahrt und gleichzeitig genutzt werden kann (Suter u. Schlichtherle, 2009; Hagmann, 2016; Pohl, 2017a; Dominik Bochatz, 2017).

1.3.3. Archäologische Funde und Überreste in den Seen

Die Seenlandschaft Oberösterreichs, insbesondere der Attersee und der Mondsee, stellt ein außergewöhnliches Archiv kultureller und historischer Überreste dar. Dank der besonderen Konservierungsbedingungen in diesen Gewässern blieben zahlreiche Artefakte aus unterschiedlichsten Epochen bis heute erhalten. Diese Funde reichen von prähistorischen Pfahlbauten über römische Hafenanlagen bis hin zu neuzeitlichen Kriegsrelikten, und dokumentieren die technische Entwicklung, die gesellschaftlichen Strukturen sowie die Interaktionen vergangener Kulturen mit ihrer Umwelt (Pohl, 2016b; Offenberger, 1994; Breitwieser u. Jansa, 2012). Trotz ihres wissenschaftlichen Potenzials wird die Unterwasserarchäologie in Österreich im Vergleich zu anderen Ländern wie Deutschland oder den skandinavischen Staaten kaum gefördert. Dies zeigt sich insbesondere bei jüngeren Fundkategorien, die oft unpubliziert und unzureichend erforscht bleiben (Breitwieser u. Jansa, 2012).

1. Einleitung

In Abtsdorf I, einer weiteren bronzezeitlichen Siedlung am Attersee, zeigten Pollenanalysen eine enge Verbindung zwischen Siedlungsaktivitäten und Umweltveränderungen. Die Zunahme von Getreidepollen in den Sedimenten deutet auf eine Intensivierung der Landwirtschaft hin, die mit der Besiedlung der Uferbereiche einherging (Ries, 2014). Die bautechnischen Details der Pfahlbauten in Abtsdorf und Weyregg, wie Pfähle mit Nuten und Querbalken zur Stabilisierung von Plattformen, verdeutlichen die hohe technische Kompetenz der Bewohner. Solche Konstruktionen wurden auch an der Station „See/Mondsee“ dokumentiert, wo Plattformen möglicherweise für wirtschaftliche Aktivitäten oder Lagerzwecke genutzt wurden (Offenberger, 1994; Pohl, 2016b).

Neben den Pfahlbauten liefern Funde von Werkzeugen und Gebrauchsgegenständen wichtige Einblicke in den Alltag der prähistorischen Bewohner. In Abtsdorf I wurden Werkzeuge aus lokalem Silex und bearbeitete Knochenreste gefunden, die auf spezialisierte Tätigkeiten wie Holzverarbeitung und Jagd hinweisen (vgl. Ries, 2014). Ähnliche Artefakte wurden auch in Weyregg I entdeckt, wo sie oft in unmittelbarer Nähe von Pfahlkonstruktionen dokumentiert wurden, was auf ihren Einsatz während der Bauphasen der Siedlung schließen lässt (Offenberger, 1994; Pohl, 2016b). Keramikscherben zählen zu den häufigsten Funden und belegen überregionale Handelsbeziehungen. Besonders fein gearbeitete Keramiken aus Seewalchen weisen dekorative Muster auf, die stilistische Parallelen zu anderen Fundstellen im Alpenraum aufzeigen (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018; Offenberger, 1994).

Ein weiteres Objekt der Unterwasserarchäologie ist der Einbaum von Weyregg, der in einer Tiefe von 18 Metern gefunden wurde. Dieses Wasserfahrzeug aus einem einzigen Baumstamm gefertigt wurde auf etwa 1550 n. Chr. datiert und weist Details wie einen massiven Heckblock, ein erhaltenes Querschott und dünne Bordwände auf. Die Verwendung von Metallnägeln zur Stabilisierung dokumentiert die Verwendung fortschrittlicher handwerklicher Techniken im Mittelalter. Neben dem Einbaum wurde ein Steinanker aus zwei verbundenen Steinen entdeckt, was auf die Nutzung des Boots für Fischerei oder Transport hindeutet (Pohl, 2017b).

Die Seenlandschaft dokumentiert jedoch nicht nur prähistorische Aktivitäten, sondern auch römische und neuzeitliche Nutzungen. Ein Beispiel hierfür ist der sogenannte „römische Hafen“ von Weyregg, der seit den 1970er-Jahren untersucht wird. Diese trapezförmige Anlage, die sich etwa 50 Meter in den See hinein erstreckt, besteht aus drei Molen, welche aus dicht gesetzten Lärchenbohlen und Bruchsteinen errichtet wurden (Breitwieser u. Jansa, 2012). Ursprünglich als Hafen für den Güterumschlag interpretiert, legen neuere Untersuchungen nahe, dass es sich um eine aufwendige Fischteichanlage handeln könnte, die mit Frischwasser aus dem See versorgt wurde und möglicherweise als Statussymbol der römischen Oberschicht diente. Solche Anlagen sind aus den Schriften von Columella und Varro bekannt und gelten als zentraler Bestandteil römischer Villen (Breitwieser u. Jansa, 2012). Breitwieser u. Jansa (2012) betonen, dass die Verbindung des Hafens zur darüber liegenden römischen Luxusvilla die enge Verzahnung von wirtschaftlicher Funktion und ästhetischer Gestaltung unterstreicht, die für römische Baukunst charakteristisch ist.

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

Fahrzeugwracks im Attersee sind nicht nur Zeugnisse vergangener Ereignisse, sondern auch Teil des kulturellen Erbes, das durch die UNESCO-Konvention zum Schutz des Kulturerbes unter Wasse Pieters (2001), welche aktuell von Österreich noch nicht ratifiziert wurde, schützenswert ist. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden zwei Wracks dokumentiert: ein Renault Dauphine und ein Steyr 50. Diese Fahrzeuge, die inzwischen fast 100 Jahre alt sind, bieten einen Einblick in die technische und kulturelle Entwicklung ihrer Zeit und verdeutlichen die Bedeutung des Schutzes solcher Objekte. Diese Fahrzeuge sind teilweise noch sehr gut erhalten und könnten durch zusätzliche Forschung und Zeitzeugenberichte weiter kontextualisiert werden. Neuzeitliche Kriegsrelikte ergänzen das Spektrum der Funde und verdeutlichen die strategische Bedeutung der Region während des Zweiten Weltkriegs. Besonders hervorzuheben sind zwei Fernschreiber der Wehrmacht, die in einer Tiefe von etwa 15 Metern im Attersee gefunden wurden. Diese Geräte könnten wichtige Hinweise auf militärische Kommunikationsstrukturen liefern. Ein weiterer Fund ist ein Zusatztank eines amerikanischen Flugzeugs, vermutlich eines Begleitjägers. Solche Relikte sind in österreichischen Seen selten dokumentiert und eröffnen spannende Perspektiven für die Erforschung der militärischen Nutzung des Salzkammerguts während des Krieges. Darüber hinaus stehen sie exemplarisch für bisher noch unentdeckte Einzelfunde, die sich nicht nur auf die Neuzeit beschränken, sondern bis in die Prähistorie und das Mittelalter zurückreichen können. Die Tatsache, dass solche Objekte immer noch neu entdeckt werden, verweist auf das Potenzial kulturell wertvoller Hinterlassenschaften. Diese Funde wurden im Rahmen der Masterarbeit entdeckt, dokumentiert, vermessen und dem Bundesdenkmalamt gemäß den geltenden rechtlichen Vorgaben ordnungsgemäß gemeldet. Für alle Funde wurden detaillierte Fundberichte erstellt, welche die Ergebnisse der Dokumentation und Analyse zusammenfassen. Diese Berichte befinden sich derzeit in den Archiven des Bundesdenkmalamts, wurden jedoch bislang noch nicht publiziert.

Die unterwasserarchäologischen Funde in den Seen Oberösterreichs bieten eine beeindruckende Vielfalt und eröffnen neue Einblicke in die Lebenswelten vergangener Gesellschaften. Dennoch bleibt die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesen Funden unzureichend. Anders als in Regionen wie der Ostsee, wo spektakuläre Entdeckungen wie Schiffswracks systematisch untersucht und medial aufbereitet werden, verbleiben viele Funde in Österreich unpubliziert und ungenutzt. Die im Rahmen dieser Masterarbeit dokumentierten Entdeckungen unterstreichen die dringende Notwendigkeit, die Unterwasserarchäologie in Österreich stärker zu fördern und systematisch zu erforschen, um das immense kulturelle Potenzial dieser einzigartigen Archive vollständig zu erschließen.

1.3.4. Relevante historische Ereignisse und Perioden

Die Region rund um den Attersee und den Mondsee ist nicht nur landschaftlich ein Juwel, sondern birgt auch eine außergewöhnlich reiche archäologische Geschichte. Besonders die prähistorischen Pfahlbausiedlungen in den Seen haben weit über die Region hinaus an Bedeutung gewonnen. Doch die historische Bedeutung endet nicht in der

1. Einleitung

Vorgeschichte: Die Funde und Fundstätten in der Region erzählen von einer kontinuierlichen Besiedlungs- und Kulturgeschichte, die von der Jungsteinzeit bis in die Moderne reicht. Für den Verfasser dieser Masterarbeit, dessen Heimat der Attersee ist, besitzt diese Region zudem eine besondere persönliche Bedeutung. Die enge Verbindung zur Landschaft, zur Geschichte und den Menschen hat diese Arbeit maßgeblich inspiriert und bereichert.

Die ersten Spuren menschlicher Besiedlung in der Region datieren zurück auf die Jungsteinzeit, auf etwa 3770 v. Chr. Die sogenannten Pfahlbausiedlungen am Attersee und Mondsee, die heute zum UNESCO-Weltkulturerbe zählen, zeugen von einer hochentwickelten Bauweise, die auf die spezifischen Bedingungen der Seenlandschaft abgestimmt war. Besonders am Mondsee wurde die sogenannte „Mondseekultur“ identifiziert, eine archäologische Kultur, die durch charakteristische Keramik, Steinwerkzeuge und Knochenartefakte geprägt ist. In der Bronzezeit wurden die Siedlungen weiterentwickelt, was sich in Funden metallener Werkzeuge und von Schmuck zeigt. Diese weisen zudem auf Handelskontakte hin, die bis ins heutige Italien reichten (Much, 1884; Willvonseder, 1955; Offenberger, 1994; Pohl u. Dworsky, 2022; Pohl, 2019b).

Mit der Eroberung durch die Römer im 1. Jahrhundert v. Chr. begann eine neue Ära für die Region. Der Attersee und der Mondsee wurden Teil der römischen Provinz Noricum, die bekannt war für ihren Rohstoffreichtum, insbesondere Eisen und Salz. Die Seenregion lag strategisch günstig an wichtigen Handelsrouten, die von der römischen Infrastruktur geprägt wurden. Straßen wie die Juvavum-Vindobona-Route verbanden die Provinzhauptstadt Ovilava (heute Wels) und andere zentrale Orte mit dem römischen Straßennetz. Römische Münzfunde, Keramikscherben und Überreste von Villen und Straßen sind Zeugnisse dieser Zeit. Ein bedeutender Fund in der Nähe des Mondsees deutet darauf hin, dass hier eine römische Raststation oder ein Handelsstützpunkt bestanden haben könnte. Auch der Attersee spielte in dieser Zeit eine Rolle, da Wasserwege in der Römerzeit häufig genutzt wurden, um schwere Güter wie Holz, Metalle und Salz zu transportieren (Breitwieser u. Jansa, 2012; Löcker u. a., 2021; Lang u. a., 2020; Stollnberger u. a., 2022).

Das römische Erbe spiegelt sich auch in der lokalen Kultur wider. Viele Ortsnamen, Flurnamen und geografische Bezeichnungen haben ihren Ursprung in der römischen Zeit. Die Integration der Region in das römische Reich brachte auch kulturelle Einflüsse, wie die Einführung neuer landwirtschaftlicher Techniken, Bautechnologien und religiöser Praktiken. Nach dem Rückzug der Römer im 5. Jahrhundert n. Chr. hinterließen sie eine gut vernetzte Region, die von den Bajuwaren im Frühmittelalter übernommen wurde (Lang u. a., 2020; Stollnberger u. a., 2022).

Die Seenregion steht zudem im Fokus der Forschung zum Salztransport, einem der wichtigsten Handelsgüter der Geschichte (Kern u. a., 2008). Aufgrund der geografischen Nähe zu den Salzbergwerken im Salzkammergut und der strategischen Lage der Seen wird angenommen, dass diese bereits in der Bronzezeit als Transportwege für Salz genutzt wurden (Reschreiter u. Kowarik, 2015). Diese Hypothese basiert auf

1.3. Bedeutung der prähistorischen Pfahlbauten im alpinen Raum

den bekannten Handelsnetzen der Bronzezeit, die über weite Teile Europas reichten, sowie der Bedeutung des Salzes als begehrtes Handelsgut. Allerdings fehlen bisher archäologische Nachweise für einen prähistorischen Salztransport über die Seen. Weder in den Pfahlbausiedlungen noch in anderen prähistorischen Kontexten der Region konnten bisher Funde wie Salzreste, Transportbehältnisse oder spezifische Werkzeuge entdeckt werden, welche diese These belegen könnten. Erst für die historische Zeit, insbesondere das Mittelalter und die frühe Neuzeit, existieren zahlreiche Belege, die den Salztransport über die Seen dokumentieren. Schriftliche Quellen und archäologische Funde belegen den Einsatz von speziellen Schiffen wie den „Plätten“, mit denen Salz effizient über die Gewässer transportiert wurde. Moderne Unterwasserarchäologie könnte in Zukunft weitere Hinweise auf frühere Nutzungsformen der Seen liefern (Kern u. a., 2008; Offenberger, 1994).

Im Hochmittelalter wurde die Region durch Klöster wie Mondsee und Traunkirchen geprägt, die nicht nur religiöse Zentren, sondern auch Träger von Bildung und Kultur waren. Die Seen dienten weiterhin als wichtige Verkehrswege, insbesondere für den Holztransport, der im Spätmittelalter intensiviert wurde. Burgen wie die Ruine Wartenfels im Gebiet des Mondsees boten Schutz vor Überfällen und kontrollierten Handelsrouten. Archäologische Untersuchungen an diesen Standorten haben zahlreiche mittelalterliche Artefakte wie Waffen, Münzen und Alltagsgegenstände ans Licht gebracht (Offenberger, 1994).

Die frühe Neuzeit war geprägt von der wirtschaftlichen Nutzung der Seen und ihrer Umgebung. Der Fischfang und die Holzflößerei spielten eine zentrale Rolle. Zudem wurden die Seen zunehmend für den Transport von Salz und anderen Gütern genutzt. Kulturell erlebte die Region durch die Gegenreformation und den Einfluss der Klöster eine erneute Blütezeit. Viele der heute noch bestehenden Kirchen und Kapellen gehen auf diese Periode zurück. Archäologische Funde aus dieser Zeit sind seltener, da die meisten materiellen Überreste weiterhin genutzt oder zerstört wurden (Ritterbusch-Nauwerck, 1992; Kunze, 1986).

Im 19. Jahrhundert begann der Tourismus, der die Region bis heute prägt. Die Entdeckung der Pfahlbauten im Attersee durch Ferdinand von Hochstetter im Jahr 1864 markierte den allgemeinen Beginn der Archäologie und in diesem Sinn der systematischen archäologischen Forschung in Österreich (Offenberger, 1994). Seitdem haben zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen die Bedeutung der prähistorischen Siedlungen weiter unterstrichen. Der Ausbau von Infrastruktur und die zunehmende Freizeitnutzung der Seen führten allerdings auch zu einer Gefährdung der archäologischen Stätten. Projekte wie die Aufnahme der Pfahlbauten in die Liste des UNESCO-Welterbes im Jahr 2011 tragen dazu bei, dieses kulturelle Erbe zu schützen und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen (Much, 1884; Offenberger, 1994; Pohl, 2016c).

Heute steht die Region vor der Herausforderung, ihr reiches archäologisches Erbe zu bewahren, während sie gleichzeitig als Tourismusdestination dient. Ausstellungen wie im Pfahlbau-Pavillon am Attersee tragen dazu bei, das Bewusstsein für die Bedeutung

1. Einleitung

dieses Erbes zu schärfen. Gleichzeitig bleibt die Frage der nachhaltigen Nutzung der Seen und ihrer Umgebung eine zentrale Herausforderung, die durch den Balanceakt zwischen kulturellem Schutz und wirtschaftlicher Nutzung geprägt ist. Für den Verfasser bleibt der Attersee nicht nur ein Ort der Forschung, sondern auch ein Stück Heimat, das durch seine einzigartige Geschichte und kulturelle Vielfalt inspiriert.

1.4. Zielsetzung und Relevanz der Studie

Die vorliegende Masterarbeit widmet sich der wissenschaftlichen Problematik umfassende Maßnahmen zu entwickeln und zu etablieren um kulturell wichtige, bedrohte unterwasserarchäologischen Fundplätze in österreichischen Gewässern großflächig und hochauflösend zu Dokumentieren und minimal-invasiv archäologisch zu Prospektieren. Ziel ist es, die Bedeutung und das Potential solcher dringend notwendiger Untersuchungen aufzuzeigen, da zahlreiche archäologische Befunde bereits durch die negativen Einflüsse von Klimaveränderungen, Eingriffen in die Gewässerökologie, und menschliche Tätigkeiten stark gefährdet sind. Diese Arbeit demonstriert, dass die Erfassung, Dokumentation und Erforschung dieser Fundstellen nur möglich ist, solange sie noch existieren, zugänglich und erkennbar sind. Die aktuelle Entwicklung zeigt, dass die Rahmenbedingungen für die archäologische Dokumentation und Prospektion in österreichischen Binnengewässern zunehmend prekär werden, was ein schnelles und koordiniertes Handeln erforderlich macht.

Ein Fokus der Arbeit liegt auf der Darstellung und Diskussion jener Faktoren, die eine großflächige Erfassung der archäologischen Befunde erschweren. Klimaveränderungen führen zu erhöhten Wassertemperaturen, einer Zunahme von Extremwetterereignissen, und chemischen Veränderungen, die den Zerfall organischer Materialien beschleunigen können. Invasive Arten wie die Quagga-Dreikantmuschel beeinträchtigen durch ihre rapide Ausbreitung nicht nur die Sichtbarkeit von Fundstellen, sondern gefährden auch deren strukturelle Integrität. Menschliche Eingriffe, wie Bauvorhaben am Ufer oder Leitungsverlegungen auf dem Seeboden, können kulturhistorisch bedeutende Fundstellen stören oder gar zerstören und eine spätere Rekonstruktion archäologischer Kontexte nahezu unmöglich machen. Diese Prozesse verlaufen parallel und mit einer Dynamik, die es unumgänglich macht, rasch geeignete wie umfassende Dokumentations- und Prospektionsmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen.

Der Verfasser dieser Arbeit argumentiert, dass eine systematische, georeferenzierte Dokumentation der Fundstellen essenziell ist um die wissenschaftliche Forschung und den langfristigen Schutz des kulturellen Erbes unterwasser überhaupt erst zu ermöglichen. Dabei wird die dringliche Notwendigkeit betont, großflächige, detaillierte, archäologische Unterwasserprospektionen in österreichischen Gewässern nicht nur punktuell, sondern als flächendeckendes Verfahren zu etablieren. Diese Vorgangsweise ist deshalb so wichtig, weil es nur möglich ist archäologische Stätten zu schützen und zu erforschen, wenn diese bekannt und dokumentiert sind. Ohne eine solche

1.4. Zielsetzung und Relevanz der Studie

grundlegende Erfassung besteht das Risiko, dass zahlreiche Fundstellen aufgrund der beschriebenen negativen Einflüsse und Bedrohungen unwiederbringlich zerstört werden, bevor sie überhaupt erst entdeckt, dokumentiert, oder wissenschaftlich untersucht werden konnten.

Ein weiterer zentraler Aspekt dieser Arbeit ist die beispielhafte Präsentation von Ergebnissen, die aufzeigen sollen, wie effektiv zerstörungsfreie Methoden zur unterwasserarchäologischen Dokumentation und Prospektion eingesetzt werden können. Diese Arbeit ist nicht nur eine technische und wissenschaftliche Machbarkeitsstudie, sondern unterstreicht auch die Bedeutung der digitalen Dokumentation und Prospektion für den Schutz des kulturellen Erbes. Die Ergebnisse zeigen, dass mit modernen Verfahren Fundstellen großflächig und präzise sehr detailliert erfasst werden können, ohne dabei ihre Substanz zu gefährden oder zu schädigen. Dies ist insbesondere in sensiblen limnischen Ökosystemen wie dem Attersee und Mondsee von großer Bedeutung.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse der unterwasserarchäologischen Prospektion und Dokumentation der prähistorischen Pfahlbauten in den österreichischen Seen Attersee und Mondsee liefern nicht nur detaillierte Erkenntnisse über die physische Beschaffenheit und den Erhaltungszustand der Fundorte. Sie ermöglichen darüber hinaus wertvolle Einblicke in die sozialen und wirtschaftlichen Strukturen der damaligen Siedlungsgemeinschaften. Diese Aspekte spielen eine zentrale Rolle in der archäologischen Forschung, da sie zur Klärung grundlegender Fragen zur prähistorischen Mensch-Umwelt-Interaktion sowie zur Entstehung und Entwicklung komplexer gesellschaftlicher Strukturen beitragen.

Die vorliegende Arbeit versteht sich als Plädoyer für die Entwicklung einer koordinierten und nachhaltigen Strategie zur umfassenden, genauen Erfassung unterwasserarchäologischer Stätten in Österreich. Sie zeigt auf, dass ein systematisches Vorgehen nicht nur wünschenswert, sondern möglich und unverzichtbar ist, um das kulturelle Erbe am Grund der Gewässer für zukünftige Generationen bewahren zu können. Die im Rahmen dieser Masterarbeit erbrachten Fallstudien und ihre Ergebnisse demonstrieren exemplarisch das Potential des Ansatzes und liefern bereits einen eigenständigen Beitrag zur digitalen Dokumentation und Vermessung wichtiger unterwasserarchäologischer Stätten, und bilden somit eine Diskussionsgrundlage für Maßnahmen des Denkmalschutzes und zukünftige weiterführende Forschungen in diesem wissenschaftlich wie archäologisch ausgesprochen spannenden, bisher oft vernachlässigten Bereich.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse der unterwasserarchäologischen Prospektion und Dokumentation der prähistorischen Pfahlbauten in den österreichischen Seen Attersee und Mondsee liefern nicht nur detaillierte Erkenntnisse über die physische Beschaffenheit und den Erhaltungszustand der Fundorte. Sie ermöglichen darüber hinaus wertvolle Einblicke in die sozialen und wirtschaftlichen Strukturen der damaligen Siedlungsgemeinschaften. Diese Aspekte spielen eine zentrale Rolle in der archäologischen Forschung, da sie zur Klärung grundlegender Fragen zur prähistorischen Mensch-

1. Einleitung

Umwelt-Interaktion sowie zur Entstehung und Entwicklung komplexer gesellschaftlicher Strukturen beitragen.

2. Methodik

2.1. Einführung

Dieses Kapitel beschreibt die Methodik, die für die unterwasserarchäologische Prospektion und Dokumentation angewendet wurde. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der bildbasierten Modellierung (Image-Based Modelling, IBM) durch professionelle Betauchung, die für die Erstellung hochdetaillierter 3D-Modelle von Fundstätten eingesetzt wurde. Multibeam-Sonarverfahren werden hierbei als wichtige vorbereitende Schritte zur Kartierung des Seebodens erwähnt, wurden jedoch – abgesehen von der Nutzung von Multibeam-Daten – nicht im Rahmen dieser Arbeit selbst eingesetzt. Ziel der Arbeit war es, mithilfe der IBM-Technik sowohl historische Objekte als auch prähistorische Fundstätten detailliert zu dokumentieren, mit einem Umfang der bisher in Österreich einmalig ist.

Seit mehreren Jahren wird versucht in Wien den Ansatz der großflächigen, hochauflösenden geophysikalischen archäologischen Prospektion, der erfolgreich seit 2010 für terrestrische Fundplätze vom Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI ArchPro) entwickelt und demonstriert wurde, auch im Bereich der Unterwasserarchäologie zur Anwendung zu bringen. In Kooperation zwischen LBI ArchPro, dem Vienna Institute for Archaeological Science (VIAS), und der Direktion Kultur Oberösterreich wurden ein professionelles Fächerecholot (engl. *Multibeam Sonar*) und ein innovatives 4-Kanal Sediementsonar samt Sensorplattform angeschafft, um den Gewässergrund präzise zu kartieren, archäologische Fundstellen zu identifizieren, und detaillierte Daten über unterseeische Strukturen gewinnen zu können. Side-scan Sonar Sensoren waren bereits am VIAS vorhanden.

Die Effizienz und Genauigkeit dieser Verfahren sind dabei die Erforschung unter Wasser zu revolutionieren und eine systematische und nicht-invasive Untersuchung von Kulturerbe unterhalb der Wasseroberfläche zu ermöglichen. Die unterschiedlichen Sonarverfahren¹ und ihre Ergebnisse sind in Tabelle 2.1 dargestellt. Ein Ziel der Etablierung moderner unterwasserarchäologischer Prospektionsmethoden ist die Erforschung vorgeschichtlicher Pfahlbaufundstätten in Österreichs Seen. In den oberösterreichischen Seen Attersee und Mondsee finden sich zahlreiche Hinterlassenschaften der Pfahlbau Kultur.

¹ Das englische Akronym SONAR steht für *SOund Navigation And Ranging*, also akustische Navigation und Entfernungsmessung.

2. Methodik

Methoden	Generierte Daten
Seitensicht-Sonar (<i>Side-scan sonar</i>)	Schattenbild des Seebodens
Fächerecholot (<i>Multibeam sonar</i>)	Detaillierte 3D Bathymetrie
Sediment-Sonar (<i>Sub-bottom profiler</i>)	Seismische Profile / 3D Datenvolumen

Tabelle 2.1.: Unterschiedliche akustische Verfahren zur unterwasserarchäologischen Sonar-Prospektion.

Das IBM Verfahren ist die Methode, welche das detaillierteste 3D Modell des Seebodens und der darauf befindlichen archäologischen Hinterlassenschaften erzeugen kann, und bildet den Fokus dieser Arbeit. Zusammen mit Daten die über Multibeam-, Sediment- und Side-Scan-Sonar-Messungen gewonnen wurden und werden sollen, bildet diese Arbeit einen wichtigen Baustein in der Erforschung des Kulturerbes Unterwasser. Im Rahmen dieser Arbeit wurden nicht nur archäologische, sondern auch zeitgeschichtliche und historische Objekte erfasst, die gleichsam das in den Seen befindliche Kulturerbe darstellen.

Der Verfasser dieser Arbeit ist als professionell ausgebildeter Forschungstaucher, Tauchlehrer und Tauchlehrer-Ausbilder, in allen relevanten Tauch-Disziplinen zertifizierter technischer Tauch-Experte, bestens qualifiziert und erfahren um mittels professioneller Unterwasserfotografie in bisher unbekanntem Ausmaß einen wesentlichen wissenschaftlichen Beitrag zur Erforschung und Dokumentation des – wie diese Arbeit eindrucksvoll aufzeigt – durch invasive Arten bedrohten unterwasserarchäologischen Erbes.

2.2. Multibeam-Sonar

Multibeam-Sonartechnologien wurden in einem früheren Projekt im Mondsee und Attersee eingesetzt, um dreidimensionale Modelle des Seebodens zu erstellen (Trinks u. a., 2019b). Diese Methode war entscheidend, um die Topographie der Seen besser zu verstehen und erste geeignete Bereiche für die IBM-Dokumentation auszuwählen. Obwohl der Autor diese Technik nicht selbst angewendet hat, bildeten die vorhandenen Daten eine wertvolle Grundlage für die weitere Arbeit. Da es sich beim Multibeam-Sonarverfahren um ein wichtiges Hilfsmittel der modernen Unterwasserarchäologie handelt, soll es hier detaillierter beschrieben werden.

Das Multibeam-Sonar, auch als Fächerecholot bekannt, ist eine moderne Methode zur effizienten Kartierung des Seebodens. Es ermöglicht die simultane Erfassung von Tiefen- und Rückstreudaten über ein breites Band und erzeugt hochauflösende, dreidimensionale Daten des Seegrundes. Dieses Verfahren hat die hydrografische, bathymetrische Kartierung von See- und Meeresböden, die bisher mit Einzelstrahl-Echoloten erfolgte, grundlegend verändert. Die Technologie wird zur hydrographischen Kartierung, in der Unterwasserarchäologie, und auch zur Umweltüberwachung und bei Unterwasser-Baggerarbeiten eingesetzt. Moderne Multibeam-Systeme können in Echtzeit präzise

Visualisierungen des Seegrunds erstellen und liefern, wenn kalibriert, hochgenaue Tiefenangaben (Blondel, 2009; Bailey u. a., 2020).

Das Multibeam-Sonar findet Anwendung bei der Kartierung von Meeresböden, wie auch von Fluss- und Seeböden. Die Technologie ermöglicht eine präzise Erfassung der Unterwassertopografie in unterschiedlichen Umgebungen die komplexe morphologische Strukturen aufweisen können. Das System basiert auf technologischen Innovationen, die es ermöglichen, hochauflösende dreidimensionale Karten durch das aussenden einer großen Zahl von akustischen Strahlen (engl. "beams") zu erstellen. Die Kernkomponenten des Systems bestehen aus einem Sender (Transmitter) und einem Empfänger (Receiver), die gemeinsam als Transducer bezeichnet werden. Der Transmitter wandelt elektrische Signale in akustische Impulse um, während der Receiver diese zurückkehrenden Signale in elektrische Signale konvertiert. Die Laufzeit dieser Signale wird gemessen, um die Entfernung zum Seegrund zu bestimmen. Diese Messungen erfolgen gleichzeitig für mehrere Strahlen in einem fächerförmigen Muster, was eine großflächige Abdeckung ermöglicht (DeSanto u. Sandwell, 2022; NOAA, 2009).

Die Schallgeschwindigkeit der akustischen Sonarpulse wird im Wasser von Temperatur, Salzgehalt und Druck beeinflusst. Diese Parameter haben damit auch einen Einfluß auf die Genauigkeit der Tiefenmessungen. Multibeam-Sonar-Systeme senden akustische Signale in einem fächerförmigen Muster aus, wobei mehrere Strahlen gleichzeitig verwendet werden – bis zu 1024. Diese Methode ermöglicht eine breite Abdeckung und die Erzeugung hochpräziser bathymetrischer Karten des Seebodens (NOAA, 2009; Violante, 2021).

Der entscheidende physikalische Prozess ist die Reflexion der Schallwellen am Meeresboden. Die Intensität der reflektierten Wellen hängt von der akustischen Impedanz ab, welche als Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit des Mediums definiert ist. Harte Oberflächen wie Fels reflektieren Wellen mit einer höheren Intensität als weichere Materialien, wie Sand oder Schlamm. Die Laufzeit und Amplitude der Reflexionen werden gemessen, um die Tiefe und Struktur des Seebodens zu bestimmen. Dabei wird die Distanz d mit der Formel $d = \frac{v \cdot t}{2}$ berechnet, wobei v die Schallgeschwindigkeit und t die Laufzeit ist (Violante, 2021).

Im Vergleich dazu verwendet das Side-Scan-Sonar akustische Rückstreuung, um zweidimensionale Bilder des Meeresbodens zu erzeugen. Es misst primär die Intensität der reflektierten Schallwellen, liefert jedoch keine direkten Tiefendaten. Side-Scan-Sonare sind besonders nützlich zur Erkennung von Oberflächenstrukturen wie Wracks oder geomorphologischen Merkmalen. Durch die Verwendung von Fächermustern kann das Side-Scan-Sonar große Flächen mit hoher Auflösung abdecken, jedoch fehlt ihm die Fähigkeit, detaillierte Tiefeninformationen wie das Multibeam-Sonar zu liefern (Wu u. a., 2021). Ein weiterer Unterschied ist das Beamforming, eine Technologie, die im Multibeam-Sonar genutzt wird, um die Richtung der Schallstrahlen präzise zu steuern. Beamforming basiert auf der Steuerung von Phasenverschiebungen innerhalb eines Transducer-Arrays, was es ermöglicht, schmale, gerichtete Strahlen zu erzeugen. Diese

2. Methodik

Strahlen erfassen genaue Tiefendaten über einen großen Streifen und erzeugen somit hochauflösende, dreidimensionale Wassertiefendaten.

Die Schallgeschwindigkeit im Wasser ist ein kritischer Faktor, der kontinuierlich überwacht werden muss, um Verzerrungen in den Messdaten zu minimieren. Schallbrechung, die durch Schichten mit unterschiedlicher Schallgeschwindigkeit verursacht wird, kann die Richtung der Schallwellen verändern. Multibeam-Sonare integrieren daher vertikale Schallgeschwindigkeitsprofile, um diese Effekte zu korrigieren und die Genauigkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Im Vergleich dazu sind Side-Scan-Systeme weniger empfindlich gegenüber Schallbrechung, da sie nur auf der Intensitätsanalyse der Reflexionen beruhen (Violante, 2021).

In der Praxis ergänzen sich beide Systeme: Während das Multibeam-Sonar detaillierte bathymetrische Daten liefert und zur Analyse geologischer Strukturen oder für technische Anwendungen verwendet wird, ist das Side-Scan-Sonar ideal geeignet für die schnelle Lokalisierung von Objekten auf dem Seegrund. Beide Technologien basieren auf den selben physikalischen Prinzipien der Schallausbreitung und Reflexion, unterscheiden sich jedoch in ihren Anwendungsbereichen und der Art der gelieferten Daten, wie auch der Auflösung (NOAA, 2009). Es ist möglich, aus den Multibeam-Daten Side-Scan-Daten zu simulieren.

Ein wichtiger Aspekt moderner Multibeam-Technologie ist die Integration mit genauen Navigations- und Positionierungssystemen. Hochpräzise Realtime-Kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS) Empfänger liefern Positionsdaten, die mit den Multibeam-Messungen synchronisiert werden. Zusätzlich erfasst ein inertiales Navigationssystem (INS) die Bewegungen des Messboots und Sensorsystems, wie Neigung, Rollbewegungen und Gieren, um Verzerrungen in den erfassten Daten korrigieren zu können (Wu u. a., 2021).

Die Möglichkeit zur Analyse der Intensität der zurückgestreuten Sonarpulse des Multibeam-Sonars liefern Hinweise auf Materialeigenschaften des Seebodens. In Seen bieten Rückstreudaten Informationen über Sedimentationsmuster und -prozesse, die von sedimentologischer und geologischer Bedeutung sein können (Homrani u. a., 2024; Cerrillo-Cuenca u. a., 2024). Im Vergleich zum Side-Scan-Sonar Messungen zeigt sich die Überlegenheit des Multibeam-Sonars in der räumlichen Datenabdeckung und der dreidimensionalen Darstellung des Seebodens. Während das Side-Scan-Sonar für die Erstellung von zweidimensionalen Bildern durch die Analyse der Rückstreuung geeignet ist, bietet das Multibeam-Sonar durch seine Mehrstrahltechnik eine präzisere und vollständigere Analyse.

Moderne Multibeam-Systeme sind portabel und auch auf kleinen Messbooten einsetzbar. Während der Erfassung ist eine digitale Darstellung der Daten in Echtzeit möglich. Sie werden heute nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der Offshore-Industrie z. B. beim Baggern, zur hydrographischen Gewässerkartierung, und zunehmend in der Unterwasserarchäologie eingesetzt. Die räumliche Messgenauigkeit ist abhängig von der Wassertiefe. Über Wiederholungsmessungen lassen sich Unterwasserstrukturen nicht

nur detailliert dokumentieren, sondern auch mögliche Veränderungen.

An der Universität Wien steht ein professionelles Teledyne Reson Seabat T50-P Multibeam-Sonar System² zur Verfügung. Dieses System arbeitet mit 512, und neuerdings mit 1024 Strahlen, und ist mit einem Dual-head RTK-GNSS Positionierungssystem von Septentrio sowie einer SBG Apogee-E Inertial Measurement Unit (IMU)³ ausgestattet, um Schwankungen des Messboots auszugleichen und die Position jedes erfassten Punktes exakt zu bestimmen. Diese Kombination gewährleistet nicht nur eine hochpräzise Aufnahme der Sonardaten, sondern auch die exakte Georeferenzierung der gemessenen Punkte, selbst bei schwierigen Umweltbedingungen wie Seegang und stark variierenden Wassertiefen. Ergänzt wird das System durch eine Valeport Wasserschallsonde, die punktuell zur Kalibrierung der Schallgeschwindigkeit in der Wassersäule verwendet wird und besonders in Gewässern mit unterschiedlichen thermischen Schichten wichtig ist (Trinks u. a., 2019b; Mayer u. a., 2012; NOAA, 2009). Neben den Geräten der Universität Wien werden international weitere Systeme wie die Kongsberg EM-Serie eingesetzt, die speziell für Tiefseemessungen optimiert sind (Ødegård, 2018).

Anwendungsgebiete für Multibeam-Sonar Messungen

In der Umweltüberwachung spielt das Multibeam-Sonar eine zentrale Rolle, um Veränderungen in Unterwasserhabitaten zu analysieren und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten zu bewerten. So wird es beispielsweise verwendet, um Sedimentbewegungen zu beobachten, die durch Flussregulierungen, Baggerarbeiten oder klimatische Veränderungen verursacht werden. Diese Daten sind essenziell, um Biodiversitätsverluste zu minimieren und nachhaltige Schutzkonzepte für marine und limnische Ökosysteme zu entwickeln. Besonders in sensiblen Umgebungen, wie Korallenriffen oder Binnengewässern, bietet das Multibeam-Sonar die Möglichkeit, auch kleine Veränderungen in der Unterwasserlandschaft frühzeitig zu erkennen (Bailey u. Flemming, 2008; Lowag u. a., 2012; Violante, 2021).

Ein weiteres bedeutendes Einsatzgebiet des Multibeam-Sonars ist die industrielle Nutzung. Es wird häufig zur Inspektion von Unterwasserinfrastrukturen wie Pipelines, Kabeln und Offshore-Plattformen eingesetzt. Durch die hohe Auflösung des Systems können auch Schäden oder Verschiebungen erkannt und dokumentiert werden, was zur Betriebssicherheit solcher Anlagen beiträgt. In der Rohstoffsuche, insbesondere bei der Exploration von Methanhydraten, Mineralvorkommen oder anderen Ressourcen in der Tiefsee, liefert das Sonar genaue Daten, die für die Standortwahl und die Bewertung von Fördergebieten entscheidend sind. Auch die Überwachung von Bauarbeiten in Flüssen oder Seen gehört zu den Anwendungen, bei denen das Multibeam-Sonar zur Qualitätssicherung eingesetzt wird (Paulus u. a., 2019; Mayer u. a., 2003; Ødegård, 2018).

² <https://www.teledynemarine.com/en-us/products/Pages/seabat-t50-p.aspx>

³ <https://www.sbg-systems.com/de/produkte/apogee-series-hohe-genauigkeit-ins-gnss/>

2. Methodik

Zusätzlich findet das Multibeam-Sonar Anwendung in der Geologie, wo es zur Untersuchung tektonischer Prozesse, Rutschungen und Erosionsphänomene eingesetzt wird. Rückstreudaten des Sonars ermöglichen es, Materialeigenschaften des Untergrunds zu analysieren, was beispielsweise bei der Erforschung von Sedimentbewegungen oder der Bewertung von Küstenschutzmaßnahmen von Bedeutung ist (Wu u. a., 2021; Lowag u. a., 2012).

Die Multibeam-Sonar Technologie ermöglicht es Archäolog:innen, detaillierte dreidimensionale Karten von Fundstätten zu erstellen. Ein Beispiel ist die Erforschung der prähistorischen Pfahlbausiedlungen im Mondsee und Attersee Trinks u. a. (2019a), die zum UNESCO-Welterbe gehören. Durch die hochauflösende Kartierung der Seeböden konnten Siedlungsstrukturen, die bislang nur durch punktuelle Tauchgänge bekannt waren, umfassend dokumentiert und analysiert werden. Diese Daten lieferten neue Erkenntnisse über die Größe und Anordnung der Siedlungen sowie über die Interaktionen der Bewohner mit ihrer Umgebung (Blondel, 2009; Lowag u. a., 2012).

Ein zentrales Merkmal des Multibeam-Sonars ist seine Fähigkeit, nicht nur die Morphologie des maritimen Bodens zu erfassen, sondern auch Rückstreudaten zu analysieren, die Hinweise auf die Materialeigenschaften der Fundstelle geben. Diese Daten sind entscheidend, um zwischen natürlichen und anthropogenen Strukturen zu unterscheiden. In der Bucht von Neapel wurde das Sonar beispielsweise verwendet, um römische Hafenanlagen und Straßen sichtbar zu machen, die unter Wasser erhalten geblieben sind. Die Ergebnisse solcher Studien zeigen, wie archäologische Stätten durch die Kombination von Tiefendaten und Rückstreuinformationen präzise lokalisiert und interpretiert werden können (Homrani u. a., 2024; Paulus u. a., 2019).

Ein weiteres beeindruckendes Beispiel ist die Untersuchung der D-Day-Strände in der Normandie, wo Multibeam-Sonare verwendet wurden, um Relikte aus dem Zweiten Weltkrieg zu dokumentieren. Die detailreiche Kartierung der Strände und Unterwasserhindernisse lieferte neue Einblicke in die militärischen Strategien und die logistischen Herausforderungen der Landungsoperationen. Diese Studien zeigen, wie historische Ereignisse durch den Einsatz moderner Technologien mit großer Genauigkeit rekonstruiert werden können (Mayer u. a., 2003; Ødegård, 2018).

Die nicht-invasive Natur des Multibeam-Sonars ist besonders wertvoll für die Untersuchung empfindlicher Stätten, bei denen physische Eingriffe die Fundstelle beschädigen könnten. Dies ist beispielsweise bei der Erforschung versunkener Schiffe von großer Bedeutung, wie der Untersuchung von Wracks in der Ostsee. Mithilfe des Multibeam-Sonars konnten detaillierte Modelle von Schiffsstrukturen erstellt werden, die es ermöglichen, deren Zustand zu bewerten und ihre historische Bedeutung zu analysieren, ohne die Objekte physisch zu berühren. Solche Modelle dienen nicht nur wissenschaftlichen Zwecken, sondern auch der Präsentation in Museen und der Erstellung virtueller Rekonstruktionen, die ein breiteres Publikum erreichen können (Violante, 2021).

Darüber hinaus ermöglicht die Kombination von Multibeam-Sonar mit anderen Technologien wie autonomen Unterwasserfahrzeugen (AUVs) und hyperspektralen Sensoren

2.3. Unterwasserarchäologischer Survey

eine noch detailliertere Untersuchung von Fundstellen in großer Wassertiefe. AUVs können große Flächen effizient abdecken und gleichzeitig hochauflösende Daten liefern. Dies wurde bei der Erforschung von Wracks im Mittelmeer genutzt, wo es gelang, nicht nur die Position der Schiffe zu bestimmen, sondern auch Hinweise auf deren Baumaterial und Ladung zu erhalten (Block u. a., 2017b; Ødegård, 2018; Tang u. a., 2023).

Die Verwendung des Multibeam-Sonars in der Archäologie ist jedoch nicht auf Unterwasserstandorte beschränkt. Es wurde auch in flachen Gewässern wie Flüssen und Seen erfolgreich eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist die Kartierung der prähistorischen Siedlungen am Bodensee, wo das Sonar verwendet wurde, um sowohl die Siedlungsreste als auch die umgebende Topographie zu dokumentieren. Diese Arbeiten haben nicht nur zur Erhaltung dieser Kulturerbestätten beigetragen, sondern auch unser Verständnis der prähistorischen Lebensweise in diesen Regionen vertieft (Block u. a., 2017b; Trinks u. a., 2019b; Lowag u. a., 2012).

2.3. Unterwasserarchäologischer Survey

Der unterwasserarchäologische Survey⁴ ist eine zentrale Methode zur systematischen Erfassung und Dokumentation archäologischer Fundstellen in aquatischen Kontexten. Ziel ist es, sowohl die Fundobjekte als auch ihre räumliche Verteilung, Erhaltungsbedingungen und die Wechselwirkungen mit der Umgebung zu untersuchen. Zur Durchführung stehen verschiedene Ansätze und Technologien zur Verfügung, die je nach den spezifischen Bedingungen der Fundstelle ausgewählt werden.

2.3.1. Durch Taucher:innen

Die Durchführung eines unterwasserarchäologischen Surveys durch Taucher:innen stellt eine der ältesten und gleichzeitig vielseitigsten Methoden in der Unterwasserarchäologie dar. Diese Methode ermöglicht eine unmittelbare und direkte Interaktion mit der Fundstelle, was präzise Beobachtungen und eine flexible Anpassung an unvorhergesehene Gegebenheiten erlaubt. Taucher:innen können Fundobjekte in situ analysieren, Kartierungen vornehmen und detaillierte Aufzeichnungen anfertigen, die in dieser Form durch ferngesteuerte Systeme oft nicht erreichbar sind.

Ein zentraler Vorteil des tauchergestützten Surveys liegt in der Möglichkeit der haptischen Erfassung von Objekten und ihrer Umgebung. Dies ist besonders relevant, wenn fragile oder schwer zugängliche Fundstücke gesichert werden sollen, die eine vorsichtige und kontrollierte Handhabung erfordern. Darüber hinaus können Taucher:innen auf kleinste Details reagieren, wie etwa Veränderungen im Sediment, die auf verborgene Fundstücke hinweisen könnten.

⁴ Der Begriff „Survey“ kann sowohl als „Vermessung“, „Studie“ wie auch „Untersuchung“ übersetzt werden.

2. Methodik

Zur Erweiterung des Erkundungsradius und zur Effizienzsteigerung wird zunehmend der Einsatz von elektrischen Taucherantriebshilfen (engl.: *Diver Propulsion Vehicles* (DPVs)) in den tauchergestützten Surveys integriert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der SUEX XK (Suex, 2021b) in Kombination mit dem GNSS-System Synapsi – Eron – Seika (Suex, 2024b) der Firma SUEX verwendet. Dieses System bietet eine innovative Lösung, um großflächige Areale unter Wasser effizient und präzise zu kartieren. Der SUEX XK ist ein leistungsstarkes und ergonomisches DPV-Modell, das es Taucher:innen ermöglicht, längere Strecken bei gleichbleibender Geschwindigkeit zu überwinden und gleichzeitig eine detaillierte visuelle Erkundung durchzuführen.

Das integrierte GNSS-System Synapsi – Eron – Seika bietet eine hochpräzise Positionsbestimmung und Datenerfassung, die insbesondere bei Surveys in weitläufigen oder schlecht kartierten Unterwassergebieten von Vorteil ist. Durch die Echtzeit-Datenübertragung und -aufzeichnung wird sichergestellt, dass die abgefahrenen Gebiete exakt dokumentiert werden. Dies ermöglicht nicht nur die Erstellung präziser Kartierungen, sondern auch eine lückenlose Nachverfolgung der zurückgelegten Strecken und identifizierten Fundstellen.

Die Kombination von SUEX XK und Synapsi – Eron – Seika erwies sich in der Praxis als äußerst effektiv, um großflächige Areale innerhalb eines klar definierten Zeitrahmens systematisch zu untersuchen. Dabei wurden vorab geplante Suchmuster abgefahren, während das GNSS-System die genaue Positionierung gewährleistete. Insbesondere bei der Kartierung von sedimentreichen oder leicht strukturierten Arealen, wo visuelle Orientierungspunkte fehlen, zeigte diese Methode ihre Stärken. Die Ergebnisse bestätigen, dass der Einsatz solcher hochspezialisierten Technologien eine signifikante Erweiterung der Möglichkeiten des tauchergestützten Surveys darstellt und zur Effizienzsteigerung sowie zur Erhöhung der wissenschaftlichen Aussagekraft beiträgt.

2.3.2. Durch den Einsatz eines ROV

Der Einsatz von Remotely Operated Vehicles (ROVs) ermöglicht in der Unterwasserarchäologie den Zugang zu Fundstellen, die für Taucher:innen schwer oder gar nicht erreichbar sind. Mit Hilfe dieser ferngesteuerten Fahrzeuge können Fundstellen unter Wasser nicht nur lokalisiert, sondern auch dokumentiert werden. ROVs kommen insbesondere in tiefen, strömungsstarken oder sedimentreichen Gewässern zum Einsatz, wo konventionelle Tauchgänge aus Sicherheits- oder Effizienzgründen nicht möglich sind. Sie sind zu einem unverzichtbaren Bestandteil moderner Forschungsprojekte geworden.

Ein wesentlicher Vorteil von ROVs liegt in ihrer technologischen Vielseitigkeit. Moderne Modelle wie der BlueROV (Blue Robotics, 2024), der sich im Eigentum der GeoSphere Austria (ehemals Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG) befindet, können mit verschiedenen Werkzeugen und Sensoren ausgestattet werden, darunter hochauflösende Kameras, Sonarsysteme, und Greifarme. Der BlueROV steht aktuell der Universität Wien für unterwasserarchäologische Untersuchungen zur Verfügung.

und wird dabei vor allem im Rahmen des Vienna Institute for Archaeological Science (VIAS) eingesetzt. Diese Ausstattung erlaubt nicht nur die Erstellung visueller Dokumentationen, sondern auch die Interaktion mit der Fundstelle, beispielsweise durch den Greifarm zur Entnahme von Proben oder die Bergung kleinerer Objekte.

Ein typischer Einsatzbereich von ROVs in der Unterwasserarchäologie ist die gezielte Untersuchung von Fundstellen in Binnengewässern, Küstenregionen oder tiefen Meeresgebieten. In der Forschungspraxis haben ROVs bereits bei archäologischen Projekten ihre Stärke unter Beweis gestellt. Die Fähigkeit, ohne Tauchbegrenzung über lange Zeiträume in situ zu operieren, erlaubt eine kontinuierliche Dokumentation, die bei tauchergestützten Surveys oft durch Dekompressionszeiten oder begrenzte Luftvorräte unterbrochen wird. Obwohl der Einsatz eines ROVs im Rahmen dieser Arbeit nicht direkt erfolgte, wurden Erfahrungen aus früheren Projekten wie den Prospektionen des Kuratoriums Pfahlbauten und des Ludwig Boltzmann Instituts für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI ArchPro) berücksichtigt (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2020b). Dort wurde der BlueROV erfolgreich testweise zur Untersuchung prähistorischer Fundstellen im Mondsee und Attersee eingesetzt. Auch wenn diese Einsätze nicht in größeren Tiefen stattfanden, zeigt die Technologie des BlueROV, dass zukünftige Projekte in größerer Wassertiefe technisch realisierbar sind. Mit seiner maximalen Tauchtiefe von 200 Metern eröffnet er der Unterwasserarchäologie in Österreich neue Möglichkeiten, um auch in Regionen vorzudringen, die bisher unerschlossen blieben.

2.4. Unterwasserfotografie

Die Unterwasserfotografie spielt eine zentrale Rolle in der archäologischen Erforschung subaquatischer Fundorte. Sie ermöglicht es, Objekte und Landschaften präzise zu dokumentieren. Dabei kommen sowohl von Tauchern geführte Kameras als auch ferngesteuerte Systeme wie ROVs zum Einsatz. Beide Methoden bieten effektive Wege, um die Herausforderungen der Unterwasserumgebung, wie eingeschränkte Sicht und besondere Lichtverhältnisse, zu bewältigen und Einblicke in die maritime Archäologie zu liefern (Hassan u. a., 2024; Emberton u. Simons, 2024). Die technische Weiterentwicklung in diesem Bereich trägt wesentlich dazu bei, neue Forschungsfragen zu beantworten und bisher unerreichbare Regionen zu erschließen.

Die besonderen Bedingungen unter Wasser – wie Lichtabsorption, Farbverfälschungen, Streulicht, eingeschränkte Sichtverhältnisse und schließlich auch die taucherischen Fertigkeiten – erfordern spezialisierte Ausrüstung sowie optimierte Verfahren. Weiterentwicklungen in derameratechnologie, Beleuchtung und Bildverarbeitung haben wesentlich dazu beigetragen, diese Herausforderungen zu bewältigen und qualitativ hochwertige Dokumentationen von Unterwasserfundstellen zu ermöglichen.

Die Wahl der Kamera ist entscheidend für die Bildqualität. Die Nikon D600, die in dieser Arbeit verwendet wurde, zeichnet sich durch eine hohe Auflösung von 24 Megapixeln

2. Methodik

aus, welche besonders für die detailreiche Dokumentation archäologischer Fundstellen geeignet ist. Der erweiterte ISO-Bereich von 100 bis 6.400 ermöglicht Aufnahmen unter variablen Lichtbedingungen, während die 14-Bit-A/D-Wandlungsfunktion eine präzise Farbwiedergabe gewährleistet (Ken Rockwell, 2014). Die Kamera wurde in einem wasserdichten Gehäuse der Marke Subal (SubalND610) (Subal GmbH, 2024) verwendet, das speziell für Tauchtiefen bis zu 80 Metern entwickelt wurde. Dieses Gehäuse ermöglicht den vollständigen Zugriff auf alle Kamerafunktionen unter Wasser. Die Verwendung von Wechselobjektiven ist essenziell, um flexibel auf unterschiedliche Anforderungen einzugehen – beispielsweise bei Nahaufnahmen von Artefakten oder großflächigen Aufnahmen von Fundstellen. Da ein Objektivwechsel unter Wasser nicht möglich ist, bedingt ein Wechsel des fotografischen Setups einen erneuten Tauchgang.

Die physikalischen Eigenschaften des Wassers – insbesondere die Absorption bestimmter Lichtwellenlängen – machen den Einsatz externer Beleuchtungssysteme unverzichtbar. Rotes Licht wird bereits ab einer Tiefe von fünf Metern stark absorbiert, wodurch Bilder ohne zusätzliche Beleuchtung eine grünlich-blaue Farbverzerrung aufweisen (Rani u. Hatti, 2024; Horn, 2022). Für diese Arbeit wurde eine sehr starke LED-Videoleuchte der Marke Scaleo (Scaleo Infinity) (RP-Engineering GmbH, 2024) eingesetzt, um Farbverluste zu kompensieren und Details besser sichtbar zu machen. Die korrekte Positionierung der Lichtquellen ist entscheidend, da breitstrahlende Beleuchtungssysteme Schatten minimieren und eine gleichmäßige Ausleuchtung des Bildfeldes gewährleisten. Gleichzeitig können adaptive Lichtsteuerungen und spezielle Filter die negativen Effekte von Lichtstreuung erheblich reduzieren (Mudugu u. Purushotham, 2021).

Kameras wie die Nikon D600 verfügen über anpassbare Weißabgleichssysteme, die eine erste Farbkorrektur vornehmen können. Darüber hinaus wurden in dieser Arbeit digitale Bildbearbeitungsalgorithmen wie der CLAHE-Algorithmus (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) verwendet, um den Kontrast zu verbessern und Details hervorzuheben. Ergänzend tragen Farbfilter und weitere Bildnachbearbeitungsmethoden zur Rekonstruktion der ursprünglichen Farbpalette bei (Rani u. Hatti, 2024; Gates, 2011).

Die Stabilität der Kamera ist ein weiterer entscheidender Faktor, da selbst minimale Bewegungen durch Strömungen oder unruhige Handhabung zu unscharfen Aufnahmen führen können. Zur Minimierung dieser Effekte wurden in dieser Arbeit integrierte Bildstabilisierungssysteme sowie Stativarme eingesetzt. Außerdem profitieren Unterwasseraufnahmen von speziellen Aufnahmeformaten, die durch hohe Bildwiederholraten und kurze Verschlusszeiten Bewegungen des Fotografen oder der Umgebung ausgleichen können. Von besonderer Bedeutung ist zudem die Überlappung der Aufnahmen, die für photogrammetrische Anwendungen erforderlich ist. Eine Überlappung von mindestens 60% gewährleistet die Erstellung präziser 3D-Modelle und Orthomosaik (Calantropio u. Chiabrandio, 2024b).

Neben den technischen Anforderungen stellen auch natürliche Einflüsse wie eingeschränkte Sichtverhältnisse oder Sedimentaufwirbelungen Herausforderungen dar. In

2.4. Unterwasserfotografie

solchen Fällen kommen spezialisierte Kamerasysteme mit fortschrittlichen Sensoren und Algorithmen zum Einsatz, die in der Lage sind, Bildrauschen zu minimieren und klarere Aufnahmen auch in trüben Gewässern zu ermöglichen (Flores u. Ten Brink, 2024; Hassan u. a., 2024; Ghatte u. a., 2024).

Der Einsatz von Action-Kameras, wie der im Rahmen dieser Arbeit genutzten GoPro Hero 12 (GoPro, Inc, 2024), bietet eine kostengünstige und handliche Möglichkeit für Unterwasseraufnahmen. Mit ihrem wasserfesten Gehäuse, das speziell für Tauchgänge konzipiert ist, und einer Aufnahmequalität von bis zu 5,3K bei 60 fps stellt die Kamera eine flexible Option dar, um visuelles Material unter Wasser zu erfassen. Die Kamera wurde in dieser Arbeit sowohl auf einem Leica-Stativ als auch an einer OTS Guardian Fullface-Maske (Undersea Systems International, Inc., 2024b) mit einem GoPro/Light Combination Mount for Accessory Rail System (Undersea Systems International, Inc., 2024a) befestigt, wodurch eine vielseitige Anwendung ermöglicht wurde.

Trotz dieser Vorteile zeigt sich jedoch, dass der Einsatz solcher Action-Kameras in der unterwasserarchäologischen Dokumentation und Prospektion nur bedingt geeignet ist. Die technischen Beschränkungen – wie begrenzte Bildauflösung und Farbtreue, fehlende manuelle Einstellmöglichkeiten sowie eingeschränkte Lichtempfindlichkeit – führen dazu, dass die Bildqualität häufig nicht ausreicht, um feine Details von archäologischen Artefakten oder Fundstellen präzise zu dokumentieren.

Jedoch bieten Action-Kameras wie die GoPro Hero 12 (GoPro, Inc, 2024) eine sinnvolle Ergänzung für die Dokumentation von Arbeitsabläufen und Prozessen während der archäologischen Prospektion. Durch ihre einfache Handhabung, Robustheit und die Möglichkeit, sie an verschiedenen Montagesystemen zu befestigen, eignen sie sich hervorragend zur Aufnahme von Übersichtsaufnahmen oder zur Dokumentation von Arbeitsschritten, etwa bei der Bergung von Artefakten oder der Installation von Messtechnik. Dadurch können solche Kameras als unterstützendes Werkzeug zur visuellen Kommunikation und zur Erfassung von Abläufen wertvolle Dienste leisten.

Des Weiteren ist der Einsatz eines geeigneten Maßstabs sowie eines eingeordneten Nordpfeils für die archäologische Dokumentation von großer Bedeutung, um die Größe und Orientierung von Funden präzise festzuhalten. Diese Hilfsmittel sind nicht nur notwendig, um wissenschaftliche Standards einzuhalten, sondern auch, um eine korrekte räumliche Zuordnung der dokumentierten Fundstücke zu ermöglichen. Insbesondere in der Unterwasserfotografie stellen Maßstab und Nordpfeil zentrale Werkzeuge dar, um Fundstellen exakt zu kartieren und die gewonnenen Daten für weiterführende Analysen nutzbar zu machen. Allerdings gestaltet sich der Transport dieser Instrumente zu Fundstellen, insbesondere in tieferen Bereichen oder an weit entfernten Positionen von der Einstiegsstelle, oft als anspruchsvoll.

Die fotodokumentarische Arbeit eines Tauchers oder eine Taucherin unter Wasser erfordert nicht nur sorgfältige Planung und technische Präzision, sondern auch ausgezeichnete taucherische Fertigkeiten, um qualitativ hochwertige und wissenschaftlich verwertbare Aufnahmen zu gewährleisten. Bereits vor dem Tauchgang müssen die

2. Methodik



Abb. 2.1.: Graukarte Unterwasser.

Kamera und alle relevanten Hilfsmittel wie Maßstab, Nordpfeil, Graukarte und Beleuchtungssysteme sorgfältig überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktionieren und einsatzbereit sind.

Nach dem Erreichen der Fundstelle positioniert der Taucher oder die Taucherin zunächst den Maßstab und den Nordpfeil, um eine präzise Dokumentation zu ermöglichen. Der Maßstab muss parallel zur Objektebene liegen, während der Nordpfeil in die geographische Nordrichtung zeigt. Dabei ist darauf zu achten, dass beide Instrumente stabil am Boden positioniert werden, um ein Verrutschen oder Aufschwimmen zu verhindern. Vor Beginn der eigentlichen Fotodokumentation wird zunächst ein Weißabgleich mithilfe einer Graukarte durchgeführt. Dies ist besonders wichtig, da sich das Farbspektrum des Lichts mit zunehmender Tiefe durch die selektive Absorption bestimmter Wellenlängen stark verändert. Eine Graukarte dient dabei als Referenz für die spätere digitale Nachbearbeitung und ermöglicht eine präzise Farbkorrektur der Aufnahmen. Zudem erleichtert das Foto mit der Graukarte das spätere Auslesen der Fotos, da es als klarer Indikator für den Beginn einer neuen Dokumentationssession fungiert.

Während der Arbeitsschritte ist es von zentraler Bedeutung, dass der Taucher oder die Taucherin exzellente Kontrolle über seine Bewegungen und seine Orientierung hat. Bereits minimale Sedimentaufwirbelungen, die durch unsaubere Flossenschläge oder

2.5. Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation

eine unkontrollierte Körperhaltung verursacht werden, können die Sicht erheblich beeinträchtigen und die Qualität der Fotografien gefährden. Zudem kann aufgewirbeltes Sediment die empfindliche Fundstelle stören oder schädigen. Um dies zu vermeiden, sind präzise und schonende Bewegungen erforderlich. Hierbei haben sich insbesondere Frog-Kick-Techniken bewährt, bei denen die Flossenbewegungen nach hinten ausgeführt werden, sodass der Sedimentboden möglichst unberührt bleibt. Zusätzlich ermöglicht eine perfekte Tarierungskontrolle dem Taucher oder der Taucherin in der Schwebelage zu arbeiten, ohne den Boden oder empfindliche Strukturen zu berühren.

Nach der Platzierung der Instrumente und der Graukarte wählt der Taucher oder die Taucherin den optimalen Kamerawinkel und Abstand zum Objekt. Für eine umfassende Dokumentation ist es essenziell, genügend Bildüberlappung zwischen den einzelnen Aufnahmen zu gewährleisten. Diese Überlappung – in der Regel mindestens 60 % – ist besonders wichtig, wenn die Fotos für photogrammetrische Anwendungen genutzt werden sollen. Die Kamera muss dabei stabil gehalten oder auf einem geeigneten Untergrund positioniert werden, um Bewegungsunschärfen zu vermeiden. Auch die Beleuchtung spielt eine zentrale Rolle: Der Taucher oder die Taucherin richtet die Lichtquellen so aus, dass das Objekt gleichmäßig ausgeleuchtet wird, Schatten minimiert werden und störende Reflexionen vermieden werden. Das in dieser Arbeit verwendete Scaleo Infinity Beleuchtungssystem erwies sich hierbei als äußerst effektiv, da es die Problematik des abnehmenden Farbspektrums durch eine intensive und gleichmäßige Beleuchtung unterstützt.

Nach Abschluss der fotografischen Arbeitsschritte überprüft der Taucher oder die Taucherin alle verwendeten Hilfsmittel und stellt sicher, dass keine Gegenstände am Fundort zurückbleiben. Dies ist nicht nur aus logistischer Sicht wichtig, sondern dient auch dem Schutz der archäologischen Stätte vor möglichen Beeinträchtigungen. Diese strukturierte Vorgehensweise kombiniert technische und taucherische Expertise, um eine professionelle und wissenschaftlich verwertbare Dokumentation zu gewährleisten, während gleichzeitig die Integrität der Fundstelle bewahrt wird. Die Graukarte bildet dabei nicht nur einen technischen, sondern auch einen methodischen Ankerpunkt für die Organisation und Nachbereitung der Unterwasserdokumentation.

2.5. Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation

Die bildbasierte Modellierung (Image-Based Modelling, IBM) war die zentrale Methode dieser Arbeit. Diese Technik wurde genutzt, um hochauflösende 3D-Modelle der untersuchten Fundstätten zu erstellen. Die Methodik wurde gezielt angepasst, um die spezifischen Herausforderungen des Unterwassereinsatzes zu bewältigen.

Die bildbasierte Modellierung hat sich als eine wertvolle Technologie in der Unterwasserarchäologie etabliert, um Kulturerbestätten präzise zu dokumentieren und zu analysieren. Mit dieser Methode können aus Fotografien metrisch exakte dreidimensionale Modelle erzeugt werden, die nicht nur die Geometrie, sondern auch die visuelle

2. Methodik

Textur der Objekte erfassen. Diese Modelle sind vielseitig einsetzbar: Sie dienen der wissenschaftlichen Forschung, der virtuellen Konservierung und der Vermittlung von Wissen an eine breite Öffentlichkeit.

Unter Wasser bietet die bildbasierte Modellierung besondere Vorteile, da sie eine nicht-invasive Dokumentation ermöglicht, die den Zustand der empfindlichen Fundstätten nicht verändert. Ob Wracks, archäologisch oder historisch relevante Objekte, oder Reste von Pfahlbauten – die Methode ist flexibel einsetzbar und an die jeweiligen Anforderungen und Gegebenheiten anpassbar. Durch technologische Fortschritte in der Photogrammetrie-Software und der Kameratechnologie hat sich die Effizienz und Präzision der Methode in den letzten Jahren erheblich verbessert. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die bildbasierte Modellierung in der Unterwasserarchäologie, und beleuchtet die relevanten Prozesse.

2.5.1. Datenerhebung

Die fotografische Datenerhebung bildet die Grundlage für die Erstellung präziser 3D-Modelle. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Wassers, wie Lichtabsorption, Streuung und Bewegung, können sich erhebliche Herausforderungen ergeben. Die Techniken der Datenerhebung variieren je nach den spezifischen Anforderungen der Fundstätte. Eine weit verbreitete Methode ist die Taucher-basierte Aufnahme, bei der Taucher:innen mit handgeführten Kameras Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln aufnehmen. Diese Technik eignet sich besonders für flache und gut zugängliche Stätten, wie etwa die neolithischen Pfahlbauten im Mondsee, wo regelmäßige Monitorings durchgeführt werden. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit, gezielt auf Details einzugehen, die automatisierte Systeme möglicherweise übersehen könnten (Block u. a., 2017b). Für schwer zugängliche oder tiefere Fundstätten sind hingegen ROVs und AUVs besser geeignet. Diese Systeme sind mit Kameras und Beleuchtung ausgestattet. Sie sind nicht von den physikalischen Einschränkungen der Taucherzeit oder der menschlichen Bewegungsfreiheit abhängig. Eine weitere innovative Technik ist die Videogrammetrie, die auf der kontinuierlichen Aufnahme von Videos basiert. Diese Methode ermöglicht es, Bewegungsanalysen durchzuführen und aus den Einzelbildern detaillierte 3D-Modelle zu erstellen. Sie wurde testweise erfolgreich bei der Untersuchung eines Bereichs der Pfahlbauten am Mondsee angewendet (Block u. a., 2017a).

Der praktische Ablauf der Fotografie unter Wasser folgt einem strukturierten Plan, um qualitativ hochwertige Daten für die spätere 3D-Modellierung zu erfassen. Bereits in der Vorbereitung spielt die Wahl der Ausrüstung eine zentrale Rolle. Für diese Arbeit wurde eine Nikon D600 (Ken Rockwell, 2014) mit zwei unterschiedlichen Objektiven verwendet: einem Nikkor 35mm Objektiv für die Dokumentation von Einzelobjekten und einem Nikkor 14-24mm Weitwinkelobjektiv für Flächendokumentationen. Beide Objektive waren in einem Subal ND600 (Subal GmbH, 2024) Gehäuse untergebracht, das die Kamera vor Wasserdruck und mechanischen Einwirkungen schützt. Ergänzt wurde die Ausstattung durch ein Lichtsystem Infinity der Marke Scaleo (RP-Engineering

2.5. *Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation*

GmbH, 2024), das speziell für die Beleuchtung von Einzelobjekten eingesetzt wurde. Dieses System gewährleistete eine gezielte und gleichmäßige Ausleuchtung, wodurch Details hervorgehoben und Schatten minimiert wurden (Menna u. a., 2018; Block u. a., 2017b).

Vor dem Tauchgang wurde die Kamera sorgfältig kalibriert, um optische Verzerrungen zu minimieren, die durch die Lichtbrechung an der Domeport-Oberfläche entstehen können. Solche Verzerrungen sind bei Unterwasseraufnahmen unvermeidlich, da Lichtstrahlen durch verschiedene Medien – Wasser, Gehäusematerial und Luft – hindurchtreten. Eine korrekte Kalibrierung ist entscheidend für die metrische Präzision der Modelle und wurde entsprechend vorab durchgeführt (Burns u. a., 2015).

Ein weiterer wichtiger Schritt in der Vorbereitung war die Planung der Aufnahmebahnen. Dabei wurde ein Raster oder Pfad über die Fundstätte definiert, der eine systematische Abdeckung gewährleistete. Die Fundstelle wurde boustrophedonisch (Trinks u. a., 2018; Coombes u. a., 2017; Burns u. a., 2015; Störig, 1997), also entlang paralleler Bahnen, abgeschwommen, um Lücken in der Dokumentation zu vermeiden. Um eine reibungslose photogrammetrische Verarbeitung sicherzustellen, wurde eine Überlappung von 60–80 % zwischen benachbarten Bildern angestrebt (Block u. a., 2017b; Chemisky u. a., 2021). Die Beleuchtungsstrategie wurde ebenfalls im Voraus festgelegt: Für Flächendokumentationen wurden mehrere Lichtquellen so positioniert, dass sie gleichmäßige Lichtverhältnisse erzeugten. Einzelobjekte wurden mit dem Scaleo-System gezielt ausgeleuchtet, um Details hervorzuheben und die Farbtreue zu optimieren (Calantropio u. Chiabrando, 2024a).

Die Fotokampagne begann an einem festgelegten Startpunkt, der als Referenz für die gesamte Dokumentation diente. Die Kamera wurde parallel zur Oberfläche der Objekte ausgerichtet, um perspektivische Verzerrungen zu minimieren. Entlang des geplanten Rasters wurde die Kamera systematisch geführt, wobei bei Einzelobjekten die Nähe zur Zielstruktur erhöhte Auflösungen und Detailtreue ermöglichte. Für Flächenaufnahmen wurde hingegen eine größere Distanz eingehalten, um größere Bereiche in einem Bild zu erfassen (Menna u. a., 2018). Eine ruhige Kameraführung war entscheidend, um Bewegungsunschärfen zu vermeiden. Bei Taucheinsätzen wurde dies durch langsame, kontrollierte Bewegungen erreicht.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Beleuchtungssystem Infinity der Marke Scaleo RP-Engineering GmbH (2024) verwendet, das aus einem Videospot bestand. Dieser Videospot erwies sich als ausreichend für die Dokumentation von Einzelobjekten, bei denen Details wie Texturen und Oberflächenstrukturen hervorgehoben werden sollten. Allerdings stieß dieses System bei flächendeckenden Prospektionen an seine Grenzen, da die Reichweite und Lichtstärke für die Ausleuchtung größerer Bereiche nicht ausreichten. Um dieses Problem zu lösen, wäre der Einsatz zusätzlicher Lichtquellen erforderlich gewesen, die strategisch positioniert werden können, um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu gewährleisten und Schattenbildung zu minimieren. Solche Systeme wurden im Rahmen dieser Arbeit aufgrund budgetärer Einschränkungen jedoch nicht

2. Methodik

verwendet (Block u. a., 2017a; Calantropio u. Chiabrandio, 2024a).

Während der Aufnahme wurden an strategischen Punkten der Fundstätte Referenzbilder aufgenommen, die Marker oder Maßstabsobjekte enthielten. Diese Referenzen wurden später für die Georeferenzierung und die metrische Auswertung der Bilder verwendet. Während des gesamten Tauchgangs wurden die Bilder regelmäßig auf einem Kameradisplays überprüft. Dies ermöglichte es, unscharfe oder schlecht beleuchtete Bilder frühzeitig zu identifizieren und bei Bedarf erneut aufzunehmen. Diese Zwischenkontrollen trugen wesentlich dazu bei, die Qualität der Daten sicherzustellen (Calantropio u. Chiabrandio, 2024a). Auch die Funktionalität der Ausrüstung wurde regelmäßig geprüft, um sicherzustellen, dass Kamera und Beleuchtungssysteme einwandfrei arbeiteten und an veränderte Umweltbedingungen, wie zunehmende Trübung oder Strömungen, angepasst werden konnten (Block u. a., 2017a).

Nach Abschluss des Tauchgangs wurde die Kameraausrüstung vorsichtig entnommen, und die Daten wurden sofort gesichert. Die Bilder wurden auf Schärfe, Helligkeit und Überlappung geprüft, um sicherzustellen, dass alle relevanten Bereiche der Fundstätte abgedeckt waren. Dieser strukturierte Ablauf der Unterwasserfotografie gewährleistete eine systematische und hochwertige Datenerfassung, die eine solide Grundlage für die anschließende 3D-Modellierung und Analyse darstellte (Menna u. a., 2018).

2.5.2. Photogrammetrische Verarbeitung

Die Erstellung präziser 3D-Modelle aus zweidimensionalen Fotografien umfasst mehrere Schritte. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Software Metashape eingesetzt, die neben dem Programm Reality Capture die meist verwendete und professionellste IBM Software ist, welche große Mengen an Bildern verarbeiten kann.

Bildausrichtung

Die Bildausrichtung ist ein kritischer Bestandteil der photogrammetrischen Verarbeitung und dient der Rekonstruktion der Kamerapositionen und -orientierungen im dreidimensionalen Raum. Dies geschieht durch die Identifikation und Verknüpfung charakteristischer Bildmerkmale über mehrere überlappende Fotografien hinweg. Der Prozess basiert auf Algorithmen der Struktur-aus-Bewegung (Structure-from-Motion, SfM), die eine gleichzeitige Rekonstruktion der Kamerapositionen und der 3D-Geometrie der Szene ermöglichen. Dabei stellt die Bildausrichtung die Grundlage für die spätere Generierung von Punktwolken und Modellen dar, deren Genauigkeit entscheidend von der Präzision dieses ersten Schrittes abhängt (Jones u. Church, 2020).

Zu Beginn der Bildausrichtung werden charakteristische Punkte, sogenannte Feature points, aus jedem Bild extrahiert. Algorithmen wie SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) oder ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) werden eingesetzt, um diese Merkmale zu identifizieren. Diese Algorithmen sind darauf ausgelegt, invariant ge-

2.5. *Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation*

genüber Skalierung, Rotation und Beleuchtungsänderungen zu sein, wodurch sie sich besonders für komplexe Aufnahmebedingungen, wie sie in der Unterwasserarchäologie vorkommen, eignen. Die extrahierten Merkmale werden anschließend paarweise zwischen überlappenden Bildern verglichen, um Übereinstimmungen (Matches) zu finden. Eine Überlappung von 60–80 % zwischen benachbarten Aufnahmen wird als Mindestanforderung angesehen, um eine ausreichende Anzahl gemeinsamer Merkmale sicherzustellen. Dies ist insbesondere bei Unterwasseraufnahmen kritisch, da Faktoren wie Trübung und ungleichmäßige Beleuchtung die Erkennung erschweren können (Jiang u. a., 2020).

Nach der Merkmalszuordnung wird eine robuste Verknüpfung der Punkte durchgeführt. Ein häufig genutztes Verfahren zur Minimierung fehlerhafter Zuordnungen ist der Random Sample Consensus (RANSAC)-Algorithmus. RANSAC identifiziert Ausreißer, die durch zufällige oder fehlerhafte Zuordnungen entstehen, und entfernt diese aus der Analyse. Zusätzlich wird die geometrische Konsistenz der Merkmale durch die Anwendung der Epipolarbedingung überprüft, um sicherzustellen, dass die Übereinstimmungen mit den zugrunde liegenden Projektionsgesetzen übereinstimmen (Morelli u. a., 2024).

Ein zentraler Bestandteil der Bildausrichtung ist die Bündelausgleichung (Bundle Adjustment). Diese Methode optimiert simultan die Kameraparameter (Position, Orientierung und interne Parameter wie Brennweite und Verzerrung) und die 3D-Koordinaten der Punkte, um eine konsistente räumliche Rekonstruktion zu gewährleisten. Die Optimierung erfolgt iterativ durch Minimierung der Reprojektions-Fehler, also der Differenz zwischen den beobachteten und den berechneten Punktpositionen in den Bildern. Dies führt zu einer Reduktion systematischer und zufälliger Fehler und erhöht die Genauigkeit des resultierenden Modells erheblich (Over u. a., 2021). Herausforderungen bei der Bildausrichtung in der Unterwasserarchäologie ergeben sich durch die spezifischen Aufnahmebedingungen. Trübes Wasser, Streuung durch Partikel und Lichtabsorption beeinflussen die Bildqualität negativ und erschweren die Feature-Erkennung. Hier können adaptive Algorithmen eingesetzt werden, die Parameter wie Kontrast- und Kantenschwellen dynamisch anpassen, um auch bei schwierigen Bedingungen eine ausreichende Anzahl an Merkmalen zu identifizieren. Diese Algorithmen wurden in experimentellen Studien erfolgreich angewandt, um die Robustheit und Zuverlässigkeit der Bildausrichtung unter Wasser zu verbessern (Kingsland, 2020; Chemisky u. a., 2021). Die Bildausrichtung wird typischerweise durch spezialisierte Software, wie das hier in dieser Arbeit verwendete Programm Agisoft Metashape, automatisiert durchgeführt. Diese Software biete umfangreiche Werkzeuge zur Visualisierung und Fehlerkorrektur, einschließlich der manuellen Anpassung von Ausreißern oder der Rekalibrierung von Kameraparametern. Solche Möglichkeiten sind insbesondere in Szenarien von Bedeutung, in denen die automatische Bildausrichtung aufgrund unzureichender Merkmale oder schlechter Aufnahmebedingungen versagt (Morelli u. a., 2024).

2. Methodik

Erzeugung einer Punktwolke

Die Erzeugung einer dichten Punktwolke ist ein essenzieller Bestandteil der photogrammetrischen Verarbeitung und bildet die Grundlage für die präzise Rekonstruktion der dreidimensionalen Geometrie eines Objekts oder Standorts. Die im Rahmen dieser Arbeit verwendete Software Agisoft Metashape basiert auf Multi-View-Stereo-Technologie (MVS) und ermöglicht eine hochpräzise Generierung von Punktwolken. Dieser Prozess nutzt die aus den vorher ausgerichteten Bildern extrahierten räumlichen Beziehungen und projiziert diese auf ein 3D-Koordinatensystem, wodurch eine detaillierte Abbildung der Oberflächenstruktur entsteht (Over u. a., 2021).

Die Erstellung der Punktwolke beginnt mit der Berechnung von Tiefenkarten. Diese Karten, auch Disparitätskarten genannt, stellen die relative Verschiebung von Bildpixeln zwischen überlappenden Fotografien dar. Die daraus abgeleiteten Informationen dienen als Grundlage für die spätere Triangulation. Metashape ermöglicht es, die Qualität dieser Karten durch Anpassung von Parametern wie Tiefe und Auflösung zu kontrollieren, sodass die Anforderungen an Detailgenauigkeit und Rechenzeit flexibel angepasst werden können (Lastilla u. a., 2021).

Nach der Berechnung der Tiefenkarten erfolgt die Triangulation. Dabei wird die exakte Position eines Punktes im Raum durch die Berechnung der Schnittpunkte der Sichtstrahlen aus verschiedenen Kamerapositionen bestimmt. Dieser Schritt ist entscheidend für die räumliche Genauigkeit der Punktwolke und sorgt dafür, dass die Daten robust gegenüber geometrischen Verzerrungen bleiben (Morelli u. a., 2024).

Die dichte Rekonstruktion wird durch fortschrittliche Algorithmen wie PatchMatch Stereo weiter verfeinert. Diese Algorithmen analysieren Bildintensitäten und Texturen in überlappenden Bereichen, um die Punktdichte zu maximieren. Dadurch können selbst kleine topografischen und strukturellen Details der Objekte mit recht hoher Genauigkeit abgebildet werden (Cutugno u. a., 2022).

Die erzeugte Punktwolke wird anschließend optimiert. Metashape bietet hierfür Werkzeuge wie „Statistical Outlier Removal“ (SOR), um fehlerhafte Punkte zu identifizieren und zu entfernen. Diese Punkte, oft verursacht durch unzureichende Bildqualität oder störende Umwelteinflüsse wie Schwebeteilchen im Wasser, werden durch diese Filter eliminiert, was das Rauschen reduziert und die Genauigkeit der Punktwolke erhöht. Darüber hinaus wird die Punktwolke homogenisiert, um eine gleichmäßige Verteilung der Punkte sicherzustellen, was die anschließende Erstellung eines Netzes und die Texturierung erleichtert (Kingsland, 2020).

Die dichte Punktwolke bildet schließlich die Grundlage für weitere Verarbeitungsschritte wie die Netzgenerierung und Texturierung. Die Punktwolke kann in verschiedenen Formaten exportiert werden, was eine Integration in andere Softwarelösungen ermöglicht. Zusätzlich erlauben die Ergebnisse der Punktwolken-Generierung detaillierte visuelle Analysen und geometrische Berechnungen, die für wissenschaftliche und dokumentarische Zwecke wertvoll sind (Over u. a., 2021; Lastilla u. a., 2021).

Genauigkeit und Maßstab

Die Genauigkeit und der Maßstab sind zentrale Aspekte in der photogrammetrischen Rekonstruktion, da sie die Grundlage für verlässliche 3D-Modelle bilden, die in wissenschaftlichen und praktischen Anwendungen genutzt werden können. Die Genauigkeit eines photogrammetrischen Modells wird maßgeblich von der Qualität der Eingangsbilder, der Anzahl und Platzierung von Ground Control Points (GCPs) sowie der Effizienz der Bündelausgleichung bestimmt. Die Bündelausgleichung, ein iterativer Optimierungsprozess, minimiert systematische Fehler in der Bildausrichtung und verbessert die Konsistenz zwischen den einzelnen Bildern, was eine präzise 3D-Rekonstruktion ermöglicht (Jiang u. a., 2020).

Die Maßstabsbestimmung erfolgt in der photogrammetrischen Verarbeitung typischerweise durch die Integration von GCPs, die als Referenzpunkte zur metrischen Skalierung dienen. Diese Punkte werden in der Regel mit geodätischen Instrumenten wie Totalstationen oder GNSS-Geräten erfasst und in den Rekonstruktionsprozess eingebunden. Die genaue Vermessung und Integration dieser GCPs trägt entscheidend zur Verbesserung der Modellgenauigkeit bei. In Studien zur Küstenerosion, bei denen Metashape eingesetzt wurde, zeigte sich, dass Digitale Oberflächenmodelle (DSMs), die mit Metashape erstellt wurden, bei einem Vergleich mit LiDAR-Daten nur sehr geringe Abweichungen aufwiesen (Lastilla u. a., 2021; Kingsland, 2020).

2.5.3. Anwendungen der bildbasierten 3D Modellierung

Die Unterwasser-Photogrammetrie findet nicht nur Anwendung in maritimen Umgebungen wie Meeren und Küstengebieten, sondern auch in Binnengewässern wie Seen und Flüssen. Dort bietet die bildbasierte 3D Modellierung eine Möglichkeit zur detaillierten Dokumentation von Fundstätten, die durch Strömungen, Sedimentverlagerungen, Bewuchs und menschliche Eingriffe beeinflusst werden können. Die erzeugten 3D-Modelle bieten eine metrisch genaue Darstellung, die als Grundlage für Analysen der räumlichen Anordnung und geomorphologischen Prozesse dienen können. In Seen, die oft durch ruhigeres Wasser gekennzeichnet sind, ermöglichen photogrammetrische Methoden die detaillierte Erfassung großer Flächen, etwa von versunkenen Siedlungsresten (Lastilla u. a., 2021).

In Binnengewässern sind archäologische Funde wie alte Schiffswracks, Holzpfähle oder befestigte Uferstrukturen besonders durch biologische und chemische Prozesse gefährdet. Die photogrammetrische Dokumentation dieser Objekte ermöglicht die detaillierte Aufnahme ihres Zustands und dient als Grundlage für konservatorische Maßnahmen. Besonders in Flüssen, in denen Strömungen die physische Stabilität von Fundstätten gefährden, sind regelmäßige Dokumentationen durch photogrammetrische Modelle eine Möglichkeit um Veränderungen zu erkennen und geeignete Restaurierungsstrategien entwickeln zu können (Over u. a., 2021).

Die Denkmalpflege kann in Binnengewässern von bildbasierter 3D Modellierung profi-

2. Methodik

tieren. Durch die Erfassung von Strukturen in Seen und Flüssen können archäologische Denkmäler und Einbauten, wie etwa historische Brückenpfeiler oder Stauwerke, dreidimensional dokumentiert werden. Photogrammetrische Modelle dienen als digitale Archive, die bei der Planung von Schutzmaßnahmen oder bei der Restaurierung wertvolle Dienste leisten können. Zudem können sie für die Zertifizierung von Denkmälern genutzt werden, etwa im Rahmen nationaler oder internationaler Denkmallisten (Kingsland, 2020).

Das Monitoring von Fundstätten in Seen und Flüssen ist ein zentraler Anwendungsbereich der bildbasierten 3D Modellierung. Wiederholte Erhebungen ermöglichen es, Veränderungen zu dokumentieren, die durch saisonale Wasserstandsschwankungen, Erosion oder Sedimentationsprozesse, und Bewuchs verursacht werden. In Flüssen, die besonders dynamische Bedingungen aufweisen, können 3D-Modelle dazu beitragen, geomorphologische Veränderungen zu analysieren und deren Auswirkungen auf archäologische Stätten zu bewerten. In Seen wiederum können photogrammetrische Modelle dazu verwendet werden, Ablagerungsprozesse oder die Auswirkungen von menschlichen Eingriffen zu überwachen (Lastilla u. a., 2021; Cutugno u. a., 2022; Pohl u. Weßling, 2016).

Die Integration von 3D-Modellen in virtuelle oder erweiterte Realitätsumgebungen ist auch für Fundstätten in Seen und Flüssen von großem Interesse. Sie ermöglicht es, versunkene archäologische und historische Fundstätten digital zugänglich zu machen. Solche Anwendungen sind nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch für Museen und Bildungseinrichtungen von großem Wert. Virtuelle Rekonstruktionen können immersiv genutzt werden, um ein breites Publikum über die Bedeutung dieser Fundstätten zu informieren (Over u. a., 2021). Die photogrammetrischen 3D Modelle aus Seen und Flüssen sind auch ein bedeutendes Kommunikationsmittel. Virtuelle Tauchgänge oder interaktive 3D-Modelle bieten der Öffentlichkeit Zugang zu kulturhistorisch relevanten Stätten, die ansonsten schwer zugänglich sind. Diese Art der Präsentation trägt nicht nur zur Verbreitung archäologischen Wissens bei, sondern fördert auch das Bewusstsein für den Schutz von Kulturerbe in Binnengewässern (Kingsland, 2020). Virtuelle Rundgänge und interaktive Datenbanken, die auf 3D-Modellen basieren, können einen innovativen Zugang zu Unterwasserfunden und Fundstätten bieten. Virtuelle Anwendungen können es ermöglichen, schwer zugängliche Stätten Forscher:innen, Historiker:innen und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ohne die Risiken und Kosten physischer Expeditionen in Kauf nehmen zu müssen. Die 3D-Modelle können nahtlos in virtuelle Realitätsumgebungen (VR) integriert werden, um immersive Erfahrungen zu schaffen. Solche Anwendungen werden zunehmend in der archäologischen Forschung, zur Dokumentation und zur Vermittlung von Kulturerbe eingesetzt (Sefercik u. a., 2021). Durch Plattformen wie der Unity Game Engine können 3D-Modelle mit zusätzlichen Metadaten, wie zum Beispiel Beschreibungen von Fundstücken oder ortsspezifischen Informationen, angereichert werden. Dies schafft nicht nur einen visuellen Zugang zu den Modellen, sondern liefert auch kontextbezogene Daten. Die Integration solcher Modelle in webbasierte Anwendungen oder herunterladbare Dateien macht sie einer

2.5. *Bildbasierte Modellierung für 3D-Dokumentation*

breiten Öffentlichkeit zugänglich und fördert somit das kulturelle Bewusstsein (Kingsland, 2020). Durch diese Ansätze wird die Archäologie in der Lage, ihre Ergebnisse einem globalen Publikum zugänglich zu machen, den wissenschaftlichen Austausch zu fördern und das kulturelle Erbe nachhaltig zu bewahren.

2.5.4. Herausforderungen

Die Anwendung der Photogrammetrie in der Unterwasserarchäologie ist mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, die sowohl durch die Umweltbedingungen als auch durch technische und logistische Einschränkungen geprägt sind. Schlechte Sichtverhältnisse, verursacht durch aufgewirbelte Sedimente, Schwebstoffe oder biologisches Wachstum, können die Bildqualität und damit die Genauigkeit der 3D-Modelle erheblich beeinträchtigen. Die Streuung und Absorption des Lichts im Wasser führt zu einem Verlust an Kontrast und Details in den Aufnahmen, was die Erkennung und Verknüpfung von Merkmalen in den Bildern erschwert. Wasserströmungen können die Kamera während der Aufnahme destabilisieren und die Platzierung von Kontrollpunkten beeinträchtigen, die für die Skalierung und Georeferenzierung essenziell sind. Biologisches Wachstum, wie Algen oder Muschelablagerungen, können die Sichtbarkeit von natürlichen oder künstlichen Kontrollpunkten behindern, was die Rekonstruktion erschwert (Over u. a., 2021; Kingsland, 2020).

Ein weiteres zentrales Problem liegt in der Kalibrierung der Kamera, die unter Wasser durch die Brechung des Lichts an der Grenzfläche zwischen Wasser, Kameragehäuse und Luft besonders anspruchsvoll ist. Diese optischen Verzerrungen können ohne eine präzise Kalibrierung zu erheblichen Fehlern in der Modellgenauigkeit führen. Die Kalibrierung muss spezifisch auf die verwendete Kamera und das Gehäuse abgestimmt sein, was detaillierte Vorbereitungen erfordert. Hinzu kommt, dass wechselnde Umweltbedingungen, wie Druck- oder Temperaturunterschiede, die Kalibrierung beeinflussen können, was die Verarbeitung zusätzlich erschwert (Cutugno u. a., 2022).

Auch die Verarbeitung der erzeugten Datenmengen stellt eine erhebliche Herausforderung dar. Hochauflösende Unterwasseraufnahmen erzeugen große Datenmengen, deren Verarbeitung beträchtliche Rechenressourcen erfordert. Die Erstellung dichter Punktwolken und hochdetaillierter 3D-Modelle ist rechenintensiv und wird bei großen Projekten schnell zu einem Flaschenhals. Trotz der Fortschritte in der Softwareoptimierung bleibt die Computer Hardware oft der limitierende Faktor. Dies gilt besonders für Projekte mit vielen tausend Bildern, bei denen die Rechenzeit und der Speicherbedarf stark steigen (Lastilla u. a., 2021). Die Speicherung und langfristige Archivierung der erzeugten Daten ist eine weitere Herausforderung. Die großen Datenmengen, die bei photogrammetrischen Projekten entstehen, erfordern spezialisierte Speicherlösungen, um sie langfristig zugänglich zu machen. Dies ist besonders für Monitoring-Projekte relevant, bei denen regelmäßige Aufnahmen durchgeführt werden, um Veränderungen über die Zeit zu dokumentieren. Langzeitarchivierungsstrategien und Datenmanagement bleiben daher zentrale Aufgaben in der Anwendung der Photogrammetrie (Sefercik

2. Methodik

u. a., 2021).

Zusätzlich stellen logistische Aspekte eine weitere Herausforderung dar. Die Durchführung photogrammetrischer Untersuchungen erfordert die Koordination von Tauchern und Taucherinnen, Ausrüstung und Zeitplänen. Die Kombination aus schwierigen Umweltbedingungen, hohen technischen Anforderungen und logistischen Einschränkungen verdeutlicht, dass die Unterwasserphotogrammetrie eine sorgfältige Planung voraussetzt. Der Autor brachte seine umfangreiche Erfahrung als professioneller Taucher und zertifizierter Tauchlehrer ein, was die Datenerhebung unter schwierigen Bedingungen erheblich erleichterte. Seine Expertise ermöglichte es auch, andere Taucher:innen in der Anwendung der Technik zu schulen.

2.6. Georeferenzierung der Daten

Die Georeferenzierung der Modelle ist unter Wasser besonders problematisch, da GPS-Signale nicht verfügbar sind. Alternativen wie akustische Positionierungssysteme oder die Verwendung von Totalstationen sind aufwendig und erfordern spezialisierte Ausrüstung und Expertise (Over u. a., 2021). Die Georeferenzierung ist eine wichtige Voraussetzung, um die IBM-Modelle mit bestehenden und zukünftigen Kartierungsdaten integrieren zu können. Hierfür wurden hochpräzise RTK-GNSS Daten verwendet, die mit lokalen Referenzpunkten kombiniert wurden. Diese Verknüpfung ermöglichte es, die Modelle exakt in einem geographischen Kontext zu platzieren und sie für weiterführende Analysen nutzbar zu machen.

Einmessen mit Totalstationen

Die Einmessung mit einer Totalstation ist eine der präzisesten Methoden zur Dokumentation von Fundstellen in der Flachwasserarchäologie. Sie ermöglicht die genaue Bestimmung von Positionen sowohl an Land als auch unter Wasser. Diese Methode wird häufig in Kombination mit anderen Techniken genutzt, um eine vollständige Georeferenzierung sicherzustellen. Die Totalstationsmessung kombiniert Distanz- und Winkelmessungen um präzise Positionsdaten zu liefern. Bei der Unterwassergrabung im Mooswinkel am Mondsee wurde ein landgestütztes Tachymeter (Leica TCA2003) eingesetzt. Zur Stabilisierung der Messpunkte wurden speziell entwickelte Messbojen verwendet. Die so gewonnenen Daten wurden in Quantum GIS integriert, um präzise Karten zu erstellen (Pohl, 2016b; Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018).

Ein weiteres praktisches Beispiel für den Einsatz einer Totalstation findet sich bei der unterwasserarchäologischen Grabung in Weyregg II am Attersee. Auch dort wurde ein landgestütztes Tachymeter (Leica TCA2003) verwendet, ergänzt durch eine speziell konstruierte Messboje. Die erfassten Daten wurden ebenfalls in Quantum GIS verarbeitet, um eine umfassende Kartierung und Analyse der Fundstelle zu ermöglichen (Pohl, 2017a). Eine ähnliche Anwendung wurde bei der Prospektion der Station See am

2.6. Georeferenzierung der Daten

Mondsee beschrieben, wo die Einmessung eines Erosionsmarkernetzes mit Tachymeter vorgenommen wurde. Die gesetzten Marker wurden in fünf Fluchten verteilt und deren Position mit ausgelegten Maßbändern und tachymetrischer Einmessung dokumentiert (Pohl, 2014). Die Methode bietet hohe Genauigkeit, ist jedoch technisch anspruchsvoll und erfordert ideale Umweltbedingungen sowie eine sorgfältige Planung. In der Unterwasserarchäologie spielt sie eine zentrale Rolle, um die langfristige Überwachung von Fundstellen sicherzustellen und wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Stratigrafie und Erhaltung zu treffen.

RTK-GNSS Messungen

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) spielen eine zentrale Rolle in der Archäologie an Land und im Flachwasser, insbesondere bei der präzisen georeferenzierten Erfassung von Fundstellen. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde das Emlid Reach-System des Vienna Institute for Archaeological Science verwendet, das eine kostengünstige und hochpräzise Lösung für geodätische Vermessungen bietet.

GNSS-Systeme wie das Emlid Reach RS2 RTK-GNSS System ermöglichen die Erfassung von Koordinaten mit Zentimetergenauigkeit in Echtzeit und kinematisch (RTK). Bei der Grabungskampagne an der prähistorischen Pfahlbausiedlung Mooswinkel wurde das Emlid-System genutzt, um Ground Control Points (GCPs) zu erfassen und in das MGI Austria GK Zentral-Koordinatensystem zu übertragen. Diese Methode erlaubte eine präzise Lagebestimmung von stratigraphischen Einheiten und die Einbindung der Daten in umfassende geographische Analysen (Pohl u. Seidl Da Fonseca, 2018; Guzinski u. a., 2016; Calantropio u. Chiabrando, 2024a).

Das RTK-GNSS Systems wurde nicht nur auf einem Forschungsboot eingesetzt, sondern auch auf speziell entwickelten Bojen und im Flachwasserbereich auf Messstäben verwendet. Die x- und y-Koordinaten wurden durch das Positionierungssystem direkt erfasst, während die z-Achse, also die Tiefe der Fundstellen, von Forschungstauchern mit einem Maßband zwischen dem Emlid-System und dem Objekt gemessen wurde. Die Kommunikation mit den Tauchern und Taucherinnen während der Arbeiten erfolgt über ein spezielles Funksystem (Buddyphone), das eine klare und zuverlässige Verständigung unter Wasser erlaubte (Yong-Ju u. Jong-Rak, 1999; Chithra u. a., 2021). Diese Methode resultierte in einer durchschnittlichen Abweichung von nur etwa 2 cm, was hohen Anforderungen für Positionsgenauigkeit entspricht. Mithilfe der Emlid Flow-App konnten die Geräte benutzerfreundlich konfiguriert werden, während die Integration eines Nano-SIM-Karten-Slots die Nutzung mobiler Daten und die Korrektur der GNSS-Signale über NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) erlaubte. Dadurch wurde eine zusätzliche Basisstation überflüssig (Alexandris u. a., 2024).

2. Methodik

Akustische Positionierungsmethoden

Akustische Positionierungsmethoden spielen in der Unterwasserarchäologie eine zentrale Rolle, da sie die Lokalisierung, Kartierung und Analyse von Fundstellen in einer Umgebung ermöglichen, in der Sicht- und GNSS-basierte Verfahren nicht anwendbar sind. Diese Methoden basieren auf der Übertragung und Analyse von Schallwellen und bieten Lösungen für die unterschiedlichen Anforderungen der archäologischen Praxis (Alexandris u. a., 2024; Zhang u. a., 2024; Jian, 2024).

Eine der etabliertesten Technologien ist das Long Baseline (LBL)-System, das ein Netzwerk von Schalltranspondern nutzt, die am Meeres- oder Seeboden verankert sind. Durch die Messung der Laufzeit von Schallwellen zwischen dem Zielobjekt und den Transpondern kann die Position des Objekts mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Diese Methode ist besonders in tiefen Gewässern effektiv, da sie unabhängig von externen Signalen arbeitet. Allerdings ist der Installationsaufwand durch die feste Positionierung der Transponder relativ hoch, was die Flexibilität einschränkt (Zhang u. a., 2024). Eine Variation dieses Systems ist das Short Baseline (SBL)-System, das mit einer kleineren Anzahl von Transpondern arbeitet, die näher am Ziel positioniert sind und sich daher besser für flachere Gewässer eignen. Eine Weiterentwicklung stellt das Ultra-Short Baseline (USBL)-System dar, bei dem alle notwendigen Komponenten in einem einzigen Gerät integriert sind. Dieses System wird häufig an Bord von Schiffen oder autonomen Fahrzeugen installiert und ermöglicht die Echtzeitverfolgung von Objekten. Obwohl USBL-Systeme flexibler einsetzbar und kostengünstiger sind, ist ihre Genauigkeit, insbesondere bei größeren Entfernungen, begrenzt (Fanelli u. a., 2019; Zhao u. Wang, 2024).

Die Genauigkeit dieser Schallmessmethoden hängt entscheidend von der Kalibrierung der Geräte ab. Neue Ansätze wie das „Equivalent Virtual Long Baseline“ (EVLBL)-Modell verbessern die Positionsgenauigkeit, indem sie Bewegungsfehler von autonomen Unterwasserfahrzeugen (AUVs) korrigieren. Diese Methoden kombinieren akustische Daten mit anderen Navigationssystemen wie Inertial Measurement Units (IMUs), um eine robuste und präzise Unterwasserlokalisierung zu ermöglichen (Zhang u. a., 2024; Huang u. a., 2024). Akustische Schallmessmethoden sind unter Umständen eine Möglichkeit zur Positionsbestimmung in der Unterwasserarchäologie, da auch größere Tiefen erreichen können.

Positionierungs-System auf Basis einer elektrischen Taucherantriebshilfe

Ein Positionierungs-System auf Basis einer elektrischen Taucherantriebshilfe (engl.: *Diver Propulsion Vehicles* (DPVs)) wurde im Rahmen dieser Masterarbeit unter Verwendung des SUEX-Systems eingesetzt. Dieses innovative System kombiniert die Vorteile eines DPVs mit präzisen GNSS-Daten, um die Position von Unterwasserobjekten effizient und genau zu erfassen. Kernbestandteile des Systems sind die Sinapsi-Nase, das ERON D-1 Dashboard und das SEIKA-System, die gemeinsam ein integriertes Navigationssystem bilden. Eine detaillierte Einführung in die Funktionsweise und die Rolle

2.6. Georeferenzierung der Daten

eines DPVs in der Unterwasserarchäologie findet sich im Abschnitt [2.3.1 Unterwasserarchäologischer Survey durch die Taucher:innen] „elektrische Taucherantriebshilfen in der Archäologie“.

Das SUEX-System basiert auf einem modularen Ansatz. Die Sinapsi-Nase wird anstelle der Standard-Nasenabdeckung des Scooters montiert und enthält hochentwickelte Elektronik, darunter ein AHRS-System (Altitude and Heading Reference System), einen Multikonstellations-GNSS-Empfänger (unterstützt GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou) sowie einen Distanz-Log-Sensor. Das ERON D-1 Dashboard dient als Benutzerschnittstelle und zeigt Daten wie Position, Tiefe und Kurs in Echtzeit an. Das SEIKA-System, eine drahtlose GNSS-Boje, ergänzt die Navigation, indem es die GNSS-Daten vom DPV zur Oberfläche überträgt und dort eine präzise Standortbestimmung ermöglicht (Suex, 2024a,b, 2022).

Die technischen Eigenschaften des Systems ermöglichen den Einsatz in anspruchsvollen Umgebungen. Die Sinapsi-Nase und das ERON D-1 Dashboard sind bis zu einer Tiefe von 200 Metern wasserdicht und verfügen über ein robustes Gehäuse. Das System bietet außerdem eine Bluetooth-Schnittstelle zur Datenübertragung. Die Batterielaufzeit der Sinapsi-Nase und des ERON D-1 beträgt etwa 16 Stunden, was für längere Tauchgänge ausreichend ist. Ein besonderes Merkmal ist Vorkalibrierung des Kompasses und der Beschleunigungsmesser, welche die Navigation auch bei starken Strömungen oder komplexen Tauchmanövern präzise hält (Suex, 2024a,b, 2021b). Diese Kalibrierung erfordert ein hohes Maß an taucherischem Können sowie eine ausgezeichnete Kenntnis des Geräts. In der praktischen Anwendung wurde das System während der Tauchgänge getestet und verwendet, um die exakten Positionen von Fundobjekten zu bestimmen. Das DPV ermöglichte es, größere Entfernungen effizient zu überbrücken und dabei kontinuierlich Navigationsdaten zu sammeln. Die erhobenen Daten wurden anschließend in GIS-Software integriert, um Karten der Fundstellen zu erstellen. Ein Vorteil des Systems ist die Möglichkeit der Datenaufzeichnung für spätere Analysen. Das SUEX-System hat sich in dieser Arbeit als vielseitig und präzise erwiesen und stellt eine wertvolle Ergänzung zu traditionellen Vermessungsmethoden in der Unterwasserarchäologie dar.

Die unterschiedlichen Ansätze zur Georeferenzierung und Dokumentation von Unterwasserfundstellen – sei es durch Totalstationen, GNSS-gestützte Systeme wie das Emlid Reach der Universität Wien, oder durch akustische Schallmessmethoden – verdeutlichen die Bandbreite an Technologien, die in der modernen Unterwasserarchäologie zur Verfügung stehen. Jede dieser Methoden bringt spezifische Stärken und Herausforderungen mit sich und wird je nach den Gegebenheiten und Anforderungen der Fundstelle eingesetzt. Zusammen bieten sie ein umfassendes Instrumentarium, das es ermöglicht, Fundstellen mit hoher Genauigkeit zu vermessen und zu kartieren.

3. Fallstudien und Feldarbeit

3.1. Auswahl der Untersuchungsgebiete

Die Auswahl geeigneter Untersuchungsgebiete spielt eine zentrale Rolle in der Planung und Durchführung einer wissenschaftlichen Arbeit zum Thema moderner unterwasserarchäologischer Prospektions- und Dokumentationsmethoden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden der Attersee und der Mondsee in Oberösterreich als Forschungsgebiete ausgewählt. Beide Seen zeichnen sich durch ihre archäologische Bedeutung und ihre Eignung für die Anwendung moderner dokumentarischer und analytischer Techniken aus. Darüber hinaus bietet die Seenregion ein außergewöhnliches Forschungspotenzial, das sowohl durch Altforschungen als auch durch aktuelle Projekte wesentlich bereichert wird. Historische Studien, unter anderem von Johann Offenberger (Offenberger, 1994), legten bereits in der Vergangenheit den Grundstein für ein umfassendes Verständnis der Region. Diese Erkenntnisse werden durch gegenwärtige Forschungsinitiativen, wie jene der Universität Wien und des Ludwig Boltzmann Instituts für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI ArchPro), ergänzt und erweitert.

Ein besonders wichtiger Beitrag erfolgt durch die kontinuierlichen Monitoring-, Prospektions- und Grabungsprojekte des Kuratoriums Pfahlbauten (Pohl, 2016c). Diese Projekte, die in enger Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen durchgeführt werden, haben nicht nur die Dokumentation und den Schutz des UNESCO-Weltkulturerbes „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“ (Hafner, 2012; Gribble, 2011) zum Ziel, sondern schaffen auch eine Datenbasis, die für weiterführende Studien wie diese Masterarbeit essenziell ist. Diese fortlaufenden Arbeiten bieten eine unverzichtbare Grundlage für die Kombination moderner Technologien mit bewährten archäologischen Methoden, um die Besiedlungs- und Nutzungsgeschichte der Region umfassend zu untersuchen.

Die Besiedelung der Seenregion seit dem Neolithikum bis in die Gegenwart bietet eine einzigartige Gelegenheit, die Entwicklung menschlicher Interaktionen mit aquatischen Landschaften über einen langen Zeitraum hinweg zu analysieren. Insbesondere die prähistorischen Pfahlbauten erlauben tiefe Einblicke in die soziale, wirtschaftliche und technische Organisation früherer Gesellschaften. Im Rahmen dieser Arbeit wurden umfangreiche Fallstudien geplant und durchgeführt, die sich in zwei Hauptbereiche gliedern: Zum einen die detaillierte Dokumentation einzelner Objekte, darunter ein Einbaum, mehrere Autowracks, zwei Fernschreiber und ein Flugzeugzusatztank. Zum anderen die großflächige hochauflösende 3D-Aufnahme ganzer archäologischer

3. Fallstudien und Feldarbeit

Fundstätten.

Die Wahl der beiden Seen als Untersuchungsgebiete bietet die Möglichkeit, die eingesetzten Technologien unter unterschiedlichen Bedingungen zu testen. Dies schafft eine Grundlage für eine fundierte Bewertung ihrer Anwendbarkeit und Grenzen. Durch die Einbindung historischer Studien, aktueller Projekte der Universität Wien, des LBI ArchPro und des Kuratoriums Pfahlbauten wird diese Arbeit in den Kontext einer dynamischen und interdisziplinären Forschungslandschaft gestellt, die nicht nur bestehende Erkenntnisse erweitert, sondern auch neue Perspektiven auf eine bereits gut dokumentierte Region eröffnet.

3.1.1. Mondsee

Der Mondsee, mit einer Oberfläche von etwa 14 km² und einer maximalen Tiefe von 68 Metern, ist ein zentraler Schauplatz archäologischer Forschung in Österreich. Seine Einbindung in das UNESCO-Weltkulturerbe *„Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“* unterstreicht seine historische Bedeutung und seinen besonderen Stellenwert für die Erforschung früher Lebensweisen. Die Besiedlungsgeschichte des Mondsees reicht bis in das Neolithikum zurück und spiegelt eine lange und vielfältige Interaktion zwischen Mensch und Umwelt wider. Besonders hervorzuheben ist die sogenannte *„Mondseekultur“* (Haubner u. Strobl, 2020; Offenberger, 1994; Much, 1884), eine neolithische Kulturgruppe, deren Namensgebung direkt mit den archäologischen Entdeckungen in diesem See verbunden ist.

Die bisherigen Forschungsergebnisse konzentrieren sich nahezu ausschließlich auf prähistorische Siedlungsreste im Flachwasser. Dies liegt vor allem an den spezifischen Umweltbedingungen des Sees. Der Mondsee weist über weite Teile des Jahres hinweg sehr schlechte Sichtverhältnisse auf. Die Wassertrübung, hervorgerufen durch Schwebstoffe und biologische Prozesse, stellt eine erhebliche Einschränkung für die archäologische Untersuchung dar. Zusätzlich ist der See in tieferen Bereichen ab etwa zehn Metern äußerst dunkel, was archäologische Surveys und eine umfassende Fundplatzsuche erschwert. Diese Bedingungen haben dazu geführt, dass bisherige Forschungen in erster Linie auf leicht zugängliche Fundplätze in flacheren Bereichen beschränkt waren (Hafner u. a., 2017; Pohl u. Schauer, 2022).

Die Bedeutung des Mondsees als archäologisches Forschungsgebiet ergibt sich jedoch nicht nur aus den gut erhaltenen prähistorischen Pfahlbaufundstellen, sondern auch aus der Besiedlungskontinuität der umliegenden Region. Die Kombination aus landarchäologischen und unterwasserarchäologischen Befunden liefert ein umfassendes Bild der Besiedlungsdynamik. Besonders mittelalterliche Fundstätten, wie die Überreste von Klöstern und anderen sakralen Gebäuden in der Umgebung, erweitern das Verständnis der historischen Nutzung dieser Region. Diese Verbindung von Land- und Unterwasserarchäologie macht den Mondsee zu einem einzigartigen Untersuchungsgebiet mit einem hohen Forschungspotenzial (Scholz, 2015; Ruttkay u. a., 2004).

3.1. Auswahl der Untersuchungsgebiete

Trotz der erheblichen Umweltbedingungen, welche die archäologische Forschung im Mondsee einschränken, bleibt der See ein potenziell wertvolles Gebiet für zukünftige Untersuchungen. Die hohe Dichte an prähistorischen Pfahlbaufundstellen in Kombination mit der Möglichkeit, neue Befunde aus weniger erforschten Tiefen zu gewinnen, birgt die Aussicht auf bedeutende neue Erkenntnisse (Hafner u. a., 2017). Gerüchte über Funde römischer Hinterlassenschaften, darunter Münzfunde, konnten bisher zwar nicht verifiziert werden, deuten aber auf ein anhaltendes wissenschaftliches Interesse hin, das den Mondsee weiterhin zu einem zentralen Fokus der Unterwasserarchäologie macht.

Die einzigartige Mischung aus prähistorischen, mittelalterlichen und potenziell römischen Hinterlassenschaften, ergänzt durch die Ergebnisse der Landarchäologie in der umliegenden Region, macht den Mondsee zu einem außergewöhnlichen Forschungsgebiet. Die Kombination von bereits gesicherten Erkenntnissen und dem Potenzial für neue Entdeckungen macht ihn zu einem wichtigen Standort für die langfristige Erforschung menschlicher Besiedlungsdynamiken in alpinen Regionen.

3.1.2. Attersee

Der Attersee, der größte vollständig in Österreich gelegene See, hat sich durch seine geographische Lage im Salzkammergut und die außergewöhnlich klaren Wasserbedingungen als bedeutendes Zentrum der Unterwasserarchäologie etabliert. Mit einer Fläche von rund 46 km² und einer maximalen Tiefe von 176 Metern bietet der See ideale Voraussetzungen für die Erkundung archäologischer Fundstätten. Die lange Besiedlungsgeschichte der Region, die bis ins Neolithikum zurückreicht, liefert ein breites Spektrum an archäologischen Kontexten, die von prähistorischen Pfahlbauten bis hin zu modernen Relikten reichen. Besonders hervorzuheben sind die Pfahlbausiedlungen, die zum UNESCO-Weltkulturerbe „*Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen*“ gehören und wichtige Einblicke in die neolithische und bronzezeitliche Lebensweise geben (Hafner u. a., 2017; Ruttkay u. a., 2004; Pohl, 2016c).

Die Pfahlbausiedlungen am Attersee, darunter bekannte Fundstätten wie Seewalchen und Abtsdorf, haben eine Vielzahl von Artefakten hervorgebracht, welche durch die wassergesättigten Bedingungen außergewöhnlich gut erhalten sind. Funde wie Holzpfähle, Keramik und Werkzeuge erlauben detaillierte Rückschlüsse auf die damalige Lebensweise, Umweltanpassungen und technologische Entwicklungen. Bereits im 19. Jahrhundert wurden erste archäologische Untersuchungen am Attersee durchgeführt, die den Grundstein für eine kontinuierliche wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Region legten. Moderne Technologien, wie hochauflösende Photogrammetrie und Sonartechniken, haben in den letzten Jahren die Dokumentation und Analyse der Fundstätten revolutioniert und ermöglichen heute eine detailreiche Rekonstruktion dieser prähistorischen Lebenswelten (Peter, 2015; Hafner u. a., 2017; Dworsky u. a., 2022).

Neben den prähistorischen Pfahlbauten wurden im Rahmen aktueller Projekte auch moderne Relikte dokumentiert. Ein besonderes Highlight dieser Arbeit war die Ent-

3. Fallstudien und Feldarbeit

deckung, Vermessung und Dokumentation eines Flugtanks, der vermutlich aus dem Zweiten Weltkrieg stammt. Der Tank wurde erstmals im Zuge dieser Masterarbeit lokalisiert, systematisch photogrammetrisch erfasst und eingemessen. Die Ergebnisse der Dokumentation wurden dem Bundesdenkmalamt gemeldet, um eine langfristige Erhaltung und weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu ermöglichen. Diese Entdeckung zeigt die Relevanz moderner Prospektionsmethoden für die Erschließung neuer archäologischer Funde und deren Integration in den Denkmalpflegeprozess (Hafner u. a., 2022, 2017; Pohl, 2017a).

Die archäologische Arbeit am Attersee verdeutlicht die Herausforderungen, die mit der Unterwasserarchäologie verbunden sind, darunter Wassertrübung, biologischer Bewuchs und saisonale Schwankungen. Gleichzeitig illustriert sie das Potenzial moderner Technologien, um diese Hürden zu überwinden und wertvolle neue Erkenntnisse zu gewinnen. Der Attersee bleibt ein Paradebeispiel für die erfolgreiche Verbindung von Forschung, Denkmalpflege und moderner Technologie. Durch die detaillierte Dokumentation prähistorischer und moderner Relikte trägt der See nicht nur zur wissenschaftlichen Forschung bei, sondern bietet auch eine Grundlage für den Schutz und die nachhaltige Erhaltung des kulturellen Erbes (Scholz, 2015; Hafner u. a., 2022, 2017).

3.2. Vorbereitung und Planung der Datenerhebung

Die Vorbereitung und Planung der Datenerhebung ist ein essenzieller Bestandteil jeder wissenschaftlichen Untersuchung, insbesondere in der Unterwasserarchäologie. Die spezifischen Bedingungen des Untersuchungsgebiets sowie die Eigenheiten des archäologischen Materials erforderten eine detaillierte und flexible Herangehensweise. Verschiedene Faktoren wie Jahreszeit, Umweltbedingungen, Tageszeit sowie die Logistik für Tauchgänge und fotografische Dokumentation müssen dabei berücksichtigt werden.

Die Datenerhebung fand im Winter statt, um die besonderen Umweltbedingungen dieser Jahreszeit zu nutzen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Zeit war die reduzierte Biomasse der Makrophyten (van de Weyer u. a., 2018), die während der Wachstumsperiode im Frühjahr und Sommer die Sicht erheblich beeinträchtigen und den Zugang zu Fundstellen erschweren können. Durch das stark reduzierte Pflanzenwachstum im Winter waren archäologische Strukturen in der kalten Jahreszeit besser zugänglich und sichtbar. Zudem war die Aktivität durch Freizeitnutzer wie Schwimmer oder Bootsverkehr deutlich geringer, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Sedimentaufwirbelungen und damit verbundenen Sichtstörungen minimiert wurde. Gleichzeitig stellte die niedrige Wassertemperatur eine Herausforderung dar, die bei der Wahl der Tauchausrüstung und der zeitlichen Planung der Tauchgänge berücksichtigt wurde.

Die Sichtverhältnisse unter Wasser wurden maßgeblich von der Wassertrübung und Sedimentauflage beeinflusst. Insbesondere Starkwindereignisse, die im Winter häufiger

3.2. Vorbereitung und Planung der Datenerhebung

auftreten, führten zu temporären Aufwirbelungen von Sedimenten, was die Sichtweite einschränkte. Um diesen Effekt zu minimieren, wurde die Datenerhebung auf möglichst windstabile Phasen gelegt. Ergänzend dazu wurden Wetterprognosen sorgfältig überwacht, um die Planung kurzfristig anpassen zu können. In Phasen geringer Windaktivität lagerten sich die Sedimente überwiegend ab, was eine präzisere Dokumentation ermöglichte. Vor Beginn der Taucharbeiten wurden Probemessungen der Sichtweite durchgeführt, um die lokalen Bedingungen realistisch einschätzen und die Planung flexibel gestalten zu können.

Die Tageszeit spielte ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Datenerhebung. Während die tiefstehende Wintersonne das natürliche Licht unter Wasser begrenzte, reduzierte dies zugleich störende Lichteffekte wie Blendungen und Reflexionen. Die Tauchgänge wurden daher überwiegend in den Mittagsstunden durchgeführt, um von gleichmäßigem und diffusem Licht zu profitieren. Für Bereiche, in denen das natürliche Licht nicht ausreichte, wurden Unterwasserlampen eingesetzt. Hierfür wurde ein Beleuchtungssystem verwendet, das aus einem flexiblen Armsystem mit Kugelgelenken bestand und mit einer Scaleo Infinity (RP-Engineering GmbH, 2024) im Videomodus betrieben wurde. Der Betrieb erfolgte über einen Thor 24 Ah Akkutank, der eine stabile und langanhaltende Energieversorgung sicherstellte. Diese sorgfältig geplante Beleuchtungslösung verbesserte die Sichtbarkeit erheblich und minimierte gleichzeitig Reflexionen an Oberflächen, wodurch eine optimale Dokumentation der Fundstellen gewährleistet wurde.

Die forschungstaucherspezifischen Sicherheitsstandards wurden bei jedem Tauchgang streng eingehalten. Um die Position der Taucher:innen stets sichtbar zu machen, wurden Oberflächenmarkierungen (BLUBB) verwendet, und die Kommunikation mit einem landbasierten Beobachter sichergestellt. Für Arbeiten in tieferen Bereichen ab 10 m wurde das Buddysystem eingesetzt. Diese Vorgehensweise war nicht nur eine sicherheitsrelevante Maßnahme, sondern erleichterte auch die Organisation der Arbeit erheblich, da die Zusammenarbeit zwischen den Tauchern und Taucherinnen, etwa bei der Dokumentation oder Platzierung von Markierungen, optimiert wurde. Die Tauchtiefe und Tauchzeit wurde kontinuierlich überwacht, um mögliche Dekompressionsrisiken zu vermeiden. Ergänzend wurde auf redundante Sicherheitssysteme wie Vollgesichtsmasken (Undersea Systems International, Inc., 2024b), zusätzliche Atemregler und Signalbojen zurückgegriffen, um ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten.

Im Rahmen der Vorbereitungen wurde gemäß den allgemein gültigen Forschungstaucherregeln (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2023) eine detaillierte Gefährdungsanalyse durchgeführt. Diese Analyse identifizierte potenzielle Risiken, wie etwa technische Ausfälle, unvorhersehbare Umweltbedingungen oder gesundheitliche Gefahren durch Kälte und Druck. Darauf aufbauend wurden präventive Maßnahmen definiert, wie die Verwendung von redundanten Sicherheitssystemen, die Einhaltung klarer Notfallpläne und die regelmäßige Überprüfung der eingesetzten Ausrüstung. Die Gefährdungsanalyse war somit ein essenzieller Bestandteil, um die Sicherheit der Taucher und Taucherinnen während der Einsätze zu gewährleisten und

3. Fallstudien und Feldarbeit

die hohen Standards des Forschungstauchens zu erfüllen.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Logistik war der Einsatz einer elektrischen Taucherantriebshilfe (engl.: *Diver Propulsion Vehicle*, im Folgenden DPV genannt), konkret des Modells Suex XK (Suex, 2021b). Dieses technisch-professionelle DPV ermöglicht dank seiner Lithium-Ionen-Batterie Erkundungen mit großer Reichweite und in Grotten, mit einer Laufzeit von 330 Minuten bei Reisegeschwindigkeit, und 100 Minuten bei Höchstgeschwindigkeit (100 m/min). Durch die gleichmäßige Geschwindigkeit des DPVs konnten größere Strecken in kürzerer Zeit zurückgelegt werden, was eine umfassendere Prospektion der Untersuchungsgebiete ermöglichte. Dies war insbesondere bei der Suche nach verstreuten oder kleineren Fundstellen von Vorteil, die ohne motorisierte Unterstützung nur schwer zugänglich gewesen wären.

Zudem bot der Einsatz des DPVs eine erhebliche Entlastung für die Taucher:innen, da der Energieaufwand bei längeren Strecken reduziert wurde. Dies erhöhte die Effizienz und erlaubte eine längere Verweildauer in den Zielbereichen. Um die Sicherheit zu gewährleisten, wurden vorab Schulungen durchgeführt, um die Handhabung des DPVs zu optimieren und die Integration in das Buddysystem sicherzustellen. Darüber hinaus erleichterte das Gerät den Transport von Markierungs- und Dokumentationsausrüstung, wie beispielsweise der „Kompletten Halterung für Foto- und Videokamera“ der Firma Suex (Suex, 2021a), die eine sichere und stabile Befestigung von Kameras am DPV ermöglicht.

Für die Navigation und Datenaufzeichnung wurde das DPV mit dem DRIVE-System von Suex ausgestattet, bestehend aus den Komponenten Sinapsi (Suex, 2024b), Eron D-1 (Suex, 2024a) und Seika (Suex, 2022). Die Sinapsi-Nase ersetzt die Standardnase des DPVs und ist mit Elektronik ausgestattet, die den Empfang und die Verarbeitung der über den DPV erfassten Unterwasser-Navigationsdaten gewährleistet. Das Eron D-1 Dashboard dient der Überwachung und Navigation, empfängt drahtlos DPV-Daten und kann sowohl auf einer speziellen DPV-Halterung installiert als auch am Handgelenk getragen werden. Seika revolutioniert die Unterwassernavigation, indem es ein GNSS (Global Navigation Satellite System) in einer Oberflächenmarkierungsboje verwendet, um die genaue Position des Tauchers oder der Taucherin zu ermitteln und diese an das Eron D-1 Dashboard zu übermitteln. Dieses integrierte System ermöglichte eine präzise Navigation und effiziente Dokumentation der Fundstellen, was die Qualität der erhobenen Daten signifikant steigerte. Der Einsatz des DPVs, unterstützt durch das fortschrittliche Navigationssystem, stellte somit einen wichtigen Faktor für die erfolgreiche Durchführung des Surveys dar und trug maßgeblich zur Erweiterung der untersuchten Gebiete bei.

Die fotografische Dokumentation der Fundstellen war ein zentraler Bestandteil der Untersuchung und wurde sorgfältig geplant. Unterwasserkameras mit Weitwinkelobjektiven und hoher Lichtempfindlichkeit kamen ebenso zum Einsatz wie ein externes Beleuchtungssystem, um Schatten zu reduzieren und Details der archäologischen Strukturen hervorzuheben. Im Detail wurde eine Nikon D600 (Ken Rockwell, 2014) in einem

3.3. Durchführung der Prospektionen und Dokumentationen

SUBAL ND610 (Subal GmbH, 2024) Gehäuse mit einem Subal DP-230 Dome Port verwendet. Für die Dokumentation von Einzelfunden wurde das Nikkor AF-S 35/1,8G ED eingesetzt, während für die Flächenprospektion das Nikkor AF-S 14-24/2,8G ED verwendet wurde, um größere Bereiche effizient und detailgenau erfassen zu können.

Vor der eigentlichen Datenerhebung wurden Testaufnahmen durchgeführt, um optimale Kameraeinstellungen zu definieren und die Balance zwischen natürlichem Licht und künstlicher Beleuchtung abzustimmen. Marker, die entlang der Fundstellen platziert wurden, gewährleisteten eine präzise räumliche Zuordnung der Aufnahmen. Alle Daten wurden noch am selben Tag gesichert und doppelt archiviert, um einen Verlust durch technische Probleme zu verhindern.

Die detaillierte Planung und Vorbereitung der Datenerhebung umfasste somit alle wesentlichen Aspekte, um unter den gegebenen Umweltbedingungen präzise, qualitativ hochwertige Ergebnisse sicher zu erzielen.

3.3. Durchführung der Prospektionen und Dokumentationen

Die Durchführung der Prospektionen und Dokumentationen im Rahmen dieser Arbeit folgte einem systematischen und methodisch fundierten Ansatz, um eine umfassende und detaillierte Erfassung der unterwasserarchäologischen Fundstellen zu gewährleisten. Im Fokus standen die Anwendung boustrophedonischer Tauchmuster zur Gewinnung von Fotos für das Image-Based-Modelling (IBM) Verfahren zur 3D-Modellerzeugung, die Durchführung einer systematischen Fotodokumentation, sowie die präzise Georeferenzierung der Ergebnisse. Die Orientierung unter Wasser, insbesondere bei teilweise schlechten Sichtverhältnissen und überdies sehr großen Flächen, war eine notwendige Voraussetzung für alle Arbeitsprozesse. Ergänzend wurde im flachen Untersuchungsbereich ein modifiziertes Emlid Reach RS3 RTK-GNSS eingesetzt, welches sich im Besitz der Universität Wien befindet und eine besonders präzise Georeferenzierung mit Zentimetergenauigkeit ermöglichte. Für die tiefen Bereiche ab 10 Metern wurde ein GNSS-System Seika der Firma Suex verwendet, das eine grobe Georeferenzierung bei Surveys erlaubte. Das System der Firma Suex weist eine Abweichung von etwa 40 cm unter Idealbedingungen auf. Diese Genauigkeit ist für die Vorgaben des Bundesdenkmalamtes und die archäologischen Anforderungen insgesamt zu ungenau. Jedoch bietet der autonome und kurzfristige Einsatz unter Wasser bei einem DPV-gestützten Survey einen unermesslichen Vorteil. Die nachfolgende Einmessung durch ein zentimetergenaues System wie das Emlid Reach RS3 des VIAS der Universität Wien ist daher angeraten, um die notwendigen Genauigkeitsstandards zu erfüllen.

Die Orientierung war auf zweierlei Arten maßgeblich. Zum einen ist eine präzise Navigation bei archäologischen Surveys essentiell, da selbst bei Sichtweiten von nur 0,5–2 Metern eine lückenlose Übertauchung der gesamten Fläche gewährleistet sein muss. Zum anderen sind boustrophedonische Tauchmuster bei Untersuchungsgebieten von mehreren tausend Quadratmetern eine Notwendigkeit, um ein lückenloses Modell zu erzeugen.

3. Fallstudien und Feldarbeit

Die Orientierung erfolgte dabei einerseits durch den Einsatz von Tiefenmesser und Kompass, sowohl bei der einfachen Betauchung der Fundstellen und der Antauchung bis zur Fundstelle, als auch speziell bei der Erstellung der Photogrammetrie. Zusätzlich wurde zur Navigation bei Surveys und bei weiteren Antauchzeiten das GNSS-System der Firma Suex verwendet. Dieses bestand aus dem DPV XK1, Synapsi und Eron und ermöglichte eine effiziente und präzise Navigation in großen und teils unübersichtlichen Untersuchungsgebieten.

Das Antauchen der Fundstelle war ein essenzieller Schritt, der sowohl die Navigation zum Zielort als auch die Vorbereitung auf die Prospektionen umfasste. Hierbei wurden je nach Entfernung zur Fundstelle unterschiedliche Fortbewegungsmethoden angewandt. Bei Fundstellen in relativer Nähe zum Einstiegs- oder Ankerpunkt erfolgte das Antauchen durch gezielte Flossenbenutzung, welche eine flexible Anpassung an Strömungsverhältnisse und eine präzise Annäherung an die Fundstelle erlaubte. Für weiter entfernte Fundstellen oder bei schwierigen Strömungsbedingungen wurde ein Diver Propulsion Vehicle (DPV) eingesetzt. Dieses Gerät erhöhte die Reichweite des Tauchers oder der Taucherin erheblich und ermöglichte eine schnelle sowie kraftsparende Fortbewegung. Während der Fahrt wurden Navigationsinstrumente wie Kompass und Tiefenmesser genutzt, um sicherzustellen, dass der Taucher oder der Taucherin den geplanten Kurs einhielt. Nach Erreichen der Fundstelle orientierte sich der Taucher oder die Taucherin anhand von vorab markierten Referenzpunkten oder natürlichen Landmarken. Unter Wasser wurde die Ausrüstung, wie Kameras oder Leuchtmittel, eingerichtet und kalibriert, und Bodenleinen wurden ausgelegt, um den Bereich für die Prospektionen zu strukturieren. Schließlich nahm der Taucher oder die Taucherin seine/ihre Positionen für die folgenden Arbeitsschritte ein.

Die Erstellung hochauflösender Bilddaten war ein zentraler Bestandteil der Prospektionen und wurde nach klar definierten Standards durchgeführt, um die Grundlage für die Erzeugung von 3D-Modellen mittels IBM zu legen. Die Bildaufnahme erfolgte mit kalibrierten Unterwasserkameras, die in stabilisierten Gehäusen befestigt waren. Während der Tauchgänge wurden die Kameras in einer konstanten Höhe von etwa 1 bis 1,5 Metern über dem Seeboden geführt, um eine einheitliche Perspektive zu gewährleisten. Um eine fehlerfreie Modellierung zu ermöglichen, wurde darauf geachtet, dass eine Überlappung von mindestens 60 bis 80 Prozent zwischen den einzelnen Bildern erzielt wurde. Dies wurde durch eine langsame und gleichmäßige Kameraführung sowie durch Echtzeit-Monitoring-Systeme sichergestellt, die eine sofortige Kontrolle der Bildqualität ermöglichten. Zur Verbesserung der Bildqualität wurde eine leistungsstarke LED-Leuchte eingesetzt, die gleichmäßiges Licht und eine realitätsnahe Farbdarstellung gewährleistete. Diese Leuchte minimierte Schatten und optimierte die Sichtbarkeit der Details. Nach Abschluss der Aufnahmen wurden die Bilder softwaregestützt farbkorrigiert, um die durch Lichtabsorption und Streuung verursachten Farbveränderungen auszugleichen.

Die Anwendung boustrophedonischer Tauchmuster war zentral für die systematische Abdeckung der Untersuchungsgebiete. Dieses Verfahren, bei dem der Taucher oder die

3.4. Dokumentation und Fotografie der Fundstellen

Taucherin in parallelen Bahnen navigierte und an den Endpunkten eine Kehrtwende vollzog, ermöglichte eine vollständige und methodische Erfassung des Untersuchungsbereichs. Die parallelen Bahnen wurden mit einem Abstand von etwa zwei bis drei Metern festgelegt, abhängig von den Sichtverhältnissen unter Wasser. Zur Orientierung wurden Bodenleinen ausgelegt, die mit gut sichtbaren Markierungen versehen waren, um die Abstände zwischen den Bahnen zu kontrollieren.

Die Georeferenzierung der Prospektionsdaten war ein zentraler Schritt, um die erfassten Informationen in einem globalen räumlichen Kontext zu verorten. GPS-Bojen wurden an der Wasseroberfläche positioniert, um Fixpunkte für die Georeferenzierung zu setzen. Ergänzend wurde im flachen Untersuchungsbereich ein modifiziertes Emlid Reach RS3 eingesetzt, welches eine präzise Erfassung der Koordinaten mit Zentimetergenauigkeit ermöglichte. Die Genauigkeit der GPS-Daten wurde durch Differential-GPS-Systeme (DGPS) optimiert. Innerhalb des Untersuchungsgebiets wurden kontrollierte Skalierungsobjekte (Scale Bars) ausgelegt. Diese Kontrollpunkte wurden während der Bildaufnahme erfasst und ermöglichten die exakte Skalierung der Modelle sowie eine präzise Positionierung innerhalb des Koordinatensystems. Die georeferenzierten Daten wurden abschließend in ein geografisches Informationssystem (GIS) übertragen. Dies erlaubte die Verknüpfung der 3D-Modelle mit den globalen Positionsdaten und erleichterte die Analyse sowie die Visualisierung der Ergebnisse. Das GIS ermöglichte es zudem, die räumliche Verteilung der archäologischen Befunde detailliert darzustellen und mögliche Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fundorten zu identifizieren.

Die hier beschriebenen Arbeitsschritte ergaben sich aus den jahrelangen beruflichen Erfahrungen des Verfassers. Durch die konsequente Anwendung dieser Methoden und Techniken konnte eine präzise und umfassende Dokumentation der unterwasserarchäologischen Fundstellen gewährleistet werden. Die systematische Umsetzung der Prospektionen und Dokumentationen stellte sicher, dass die erhobenen Daten eine fundierte Grundlage für die wissenschaftliche Analyse und den langfristigen Schutz der untersuchten Stätten bieten.

3.4. Dokumentation und Fotografie der Fundstellen

Die Dokumentation und Fotografie der Fundstellen waren essenziell für die unterwasserarchäologischen Prospektionen und dienten der systematischen und umfassenden Erfassung der Fundstellen sowie ihrer Befunde. Ziel war es, eine fundierte Grundlage für die wissenschaftliche Analyse, den langfristigen Schutz und die Vermittlung des kulturellen Erbes zu schaffen. Dabei wurde sowohl die Gesamtheit der Fundstelle als auch die Details einzelner Objekte erfasst, um die Befunde präzise und nachvollziehbar zu dokumentieren. Die hier angewandten methodischen Ansätze berücksichtigten die spezifischen Herausforderungen der Unterwasserumgebung und waren gezielt auf die Anforderungen archäologischer Forschungsarbeiten abgestimmt.

Die fotografische Dokumentation verfolgte mehrere zentrale Ziele. Ein wesentliches Ziel

3. Fallstudien und Feldarbeit

war die Erstellung eines visuellen Archivs, das den aktuellen Zustand der Fundstellen umfassend dokumentiert und ein dauerhaftes Referenzmaterial für zukünftige Forschungen bietet. Dieses Archiv war besonders bedeutsam, um spätere Veränderungen der Fundstellen durch natürliche Prozesse wie Sedimentation, Strömungseinflüsse oder durch anthropogene Aktivitäten nachvollziehen zu können. Darüber hinaus unterstützten die Fotografien die detaillierte Analyse einzelner Fundobjekte und deren räumlicher Anordnung. Insbesondere bei nicht geborgenen oder schwer zugänglichen Objekten bot die Dokumentation eine unverzichtbare Grundlage für die wissenschaftliche Untersuchung. Ein weiteres Ziel bestand in der Vorbereitung und Grundlage für die Erstellung hochauflösender 3D-Modelle mittels IBM. Diese Modelle ermöglichten eine präzise dreidimensionale Darstellung der Fundstellen und dienten sowohl der wissenschaftlichen Analyse als auch der didaktischen Vermittlung. Zudem erleichterte die Dokumentation den Vergleich verschiedener Fundstellen und die Untersuchung zeitlicher Veränderungen, durch Vergleich mit historischen Quellen oder früheren Prospektionsdaten. Die Fotografien eignen sich darüber hinaus hervorragend zur Kommunikation der Ergebnisse, sowohl gegenüber der wissenschaftlichen Gemeinschaft als auch der Öffentlichkeit, um anschauliche Einblicke in die archäologischen Untersuchungen bieten.

Die Dokumentation folgte einem methodisch strukturierten Ansatz, der sowohl die großflächige Erfassung der Fundstellen als auch die detaillierte Aufnahme einzelner Objekte umfasste. Zur Abdeckung der gesamten Fundstelle wurden systematische boustrophedonische Tauchmuster angewandt. Dieses Verfahren stellte sicher, dass alle Bereiche der Fundstelle lückenlos dokumentiert wurden. Die Kameraführung erfolgte dabei in einer konstanten Höhe von etwa 1 bis 1,5 Metern über dem Seeboden, um eine einheitliche Perspektive zu gewährleisten und Verzerrungen in den Aufnahmen zu minimieren (Abb. 3.1). Zur Unterstützung der Orientierung wurden Bodenleinen und visuell gut erkennbare Markierungen eingesetzt, die den Taucher:innen als Referenzpunkte dienten. Um die Strukturierung der Arbeiten zu erleichtern, wurde die Fundstelle in mehrere Sektoren unterteilt, die nacheinander bearbeitet wurden. Dieser methodische Ansatz ermöglichte eine systematische und effiziente Dokumentation der großen flächenhaften Fundstelle Station See im Mondsee.

Neben der großflächigen Erfassung wurde ein besonderer Fokus auf die Detailaufnahmen einzelner Objekte gelegt. Diese Aufnahmen erfolgten in geringem Abstand, um spezifische Merkmale wie Texturen, Beschriftungen oder Beschädigungen sichtbar zu machen. Zur Standardisierung wurden Maßstäbe und Farbkalibrationskarten während der Aufnahmen benutzt, um die spätere Skalierung der Objekte zu erleichtern. Die Beleuchtung spielte eine entscheidende Rolle, um Schatten und Reflexionen zu minimieren. Detailaufnahmen waren insbesondere für die Dokumentation spezifischer Merkmale der Funde von zentraler Bedeutung, um Hinweise auf deren Datierung und Herkunft zu liefern.

Ergänzend zur systematischen Erfassung und den Detailaufnahmen wurden Situationsaufnahmen angefertigt, die die Fundstellen in ihrem natürlichen Kontext dokumen-



Abb. 3.1.: Unterwasserfotografie an der Pfahlbaufundstätte Station See im Mondsee.

tierten. Diese Fotografien zeigten die räumliche Lage einzelner Objekte zueinander sowie ihre Einbettung in den umgebenden Seeboden. Solche Aufnahmen ermöglichten Rückschlüsse auf die Entstehungsgeschichte oder Nutzung der Fundstelle und lieferten wichtige Anhaltspunkte für deren Interpretation. Die Kombination aus großflächiger Dokumentation, Detailaufnahmen und Situationsfotografie ermöglichte eine umfassende mehrskalige Erfassung der Fundstellen. Diese Vorgehensweise stellte sicher, dass sowohl die Gesamtheit der Fundstelle als auch die Details einzelner Objekte vollständig und detailliert erfasst wurden.

3.5. Erstellung von 3D-Modellen

Die Erstellung von detaillierten 3D-Modellen ist in der Unterwasserarchäologie eine effektive Methode zur hochauflösenden Dokumentation von Fundstellen. Diese Modelle dienen als präzise digitale Kopien der untersuchten Bereiche und ermöglichen eine langfristige digitale Speicherung und neue Formen der digitalen Analyse. Agisoft Metashape, eine weit verbreitete und bewährte Software für die Erstellung von 3D-Modellen wurde im Rahmen dieser Arbeit verwendet, um eine hohe Qualität und Effizienz in der Datenbearbeitung sicherzustellen. Gleichzeitig wurde die potenzielle Alternative Reality Capture evaluiert, jedoch letztendlich nicht eingesetzt, da Metashape aufgrund seiner stabileren Algorithmen zum Alignment der Kamerapositionen bevorzugt wurde (Agisoft, 2025).

Vorbereitung und Bearbeitung der Bilddaten

Die Vorbereitung und Bearbeitung der Bilddaten ist der erste Schritt in der Erstellung von IBM 3D-Modellen. Die Qualität der Bilddaten beeinflusst maßgeblich die Genauigkeit der nachfolgenden Prozesse wie lichte Punktwolken-Generierung, dichte Punktwolken Erzeugung, Mesh-Erstellung und Texturierung. In der Unterwasserarchäologie sind diese Herausforderungen durch spezifische Bedingungen wie eingeschränkte Sichtverhältnisse, Farbverfälschungen durch Lichtabsorption und die Komplexität der Unterwasserumgebung noch verstärkt. In dieser Arbeit wurden daher systematische Bildbearbeitungsmaßnahmen mithilfe der Software Adobe Lightroom umgesetzt, um die Qualität der Bilddaten für die Verarbeitung in Agisoft Metashape zu optimieren.

Unter Wasser verändert sich das Lichtspektrum erheblich, da kurzwelliges Licht (Blau) bevorzugt durch das Wasser dringt, während langwelliges Licht (Rot und Gelb) absorbiert wird. Dies führt zu einer stark verfälschten Farbdarstellung in den Bilddaten. Um diese Verfälschungen zu korrigieren, wurde der Weißabgleich der Bilder individuell angepasst. Mithilfe von Graukarten mit bekannten Farbwerten, die für die erste Aufnahme in der Szene platziert wurden, konnte eine Farbkalibrierung durchgeführt werden. Diese Graukarten ermöglichten es, die Farbgenauigkeit für die spätere Texturierung des 3D Modells zu gewährleisten (Verhoeven u. a., 2021; Palestini u. Basso, 2020).

Zusätzlich wurden Farbton- und Sättigungsregler in Lightroom verwendet, um eine konsistente Darstellung von Details erzielen. Diese Farbinformationen können die Unterscheidung von Materialtypen oder Erosionsmerkmalen erlauben. Die variierenden Lichtverhältnisse unter Wasser führen häufig zu ungleichmäßigen Belichtungen in den Fotos. Bereiche können entweder überbelichtet sein, wenn sie direkt von einer Lampe angestrahlt werden, oder unterbelichtet, wenn sie in den Schatten fallen. Es wurde versucht diese Unterschiede mithilfe von Lightroom auszugleichen. Die Anpassung von Kontrast und Helligkeit erfolgte sowohl global über die gesamte Bildfläche als auch lokal in spezifischen Bildbereichen. Die Schattenaufhellung wurde gezielt eingesetzt, um dunkle Bereiche sichtbar zu machen, während überstrahlte Reflexionen durch die Reduktion von Spitzlichtern minimiert wurden. Diese Maßnahmen trugen dazu bei, dass feine Details auf den Oberflächen der dokumentierten Artefakte deutlicher sichtbar wurden (Howland u. a., 2022). Unterwasserbilder weisen häufig ein Bildrauschen auf, das durch die Verwendung hoher ISO-Werte oder unzureichende Beleuchtung verursacht wird. Dieses Rauschen kann die Qualität der resultierenden IBM 3D-Punktwolken negativ beeinflussen, da verrauschte Bereiche von der IBM Software Metashape als Texturfehler interpretiert werden können. Dies erfordert eine Abstimmung der relevanten Parameter – ISO, Blende, Belichtungszeit und Intensität der Beleuchtung – bereits unter Wasser. Mithilfe von Lightroom wurde ein Rauschreduktionsfilter eingesetzt, der das Rauschen minimierte, ohne die Bildschärfe signifikant zu beeinträchtigen.

Eine Schärfeoptimierung erfolgte selektiv, um Kanten und Konturen hervorzuheben. Die IBM Software Metashape erkennt scharfe Kanten bevorzugt als Merkmale für die Bildausrichtung (Howland u. a., 2022). Nach Abschluss der Bearbeitung wurden die

3.5. Erstellung von 3D-Modellen

Bilder im TIFF-Format exportiert. Dieses Format gewährleistet eine verlustfreie Speicherung, was entscheidend ist, um die vollständige Qualität der Bilddaten für die weitere Verarbeitung zu bewahren. Zusätzlich sind in dieses Bildformat Metadaten wie die Kameraparameter (Brennweite, Blende, ISO) eingebettet, die für die korrekte Verarbeitung in Metashape relevant sind. Diese systematische Vorbereitung der Bilddaten stellte sicher, dass für den IBM Prozess hochwertige Datensätze zur Verfügung standen (Agisoft, 2025).

Die Bearbeitung wurde dokumentiert um eine Reproduzierbarkeit der Arbeitsschritte auf ermöglichen. Es wurde versucht gleiche Bedingungen für die Bilder eines Datensatzes zu erzielen, um ein möglichst detailliertes Modell und eine optimale Texturierung des Modells zu erreichen (Calantropio u. Chiabrando, 2024a). Zusätzlich wurde getestet ob andere Softwarelösungen wie Photoshop hilfreich sind. Lightroom wurde letztlich jedoch bevorzugt, da diese Software besonders effizient für die Batch-Verarbeitung großer Bildmengen ist und über eine intuitive Benutzeroberfläche verfügt (Verhoeven u. a., 2021; Palestini u. Basso, 2020).

Bildausrichtung und Tie Point-Generierung

Die Bildausrichtung und Tie Point-Generierung sind die ersten Schritte der 3D-Modellierung, da sie die räumliche Struktur der Kamerapositionen sowie die Beziehung zwischen den aufgenommenen Bildern herstellen. Dieser Prozess bildet die Grundlage für die anschließende Erstellung der dichten Punktwolke und des finalen vernetzten und texturierten 3D-Modells. Die Rekonstruktion der Bildausrichtung, d.h. die Bestimmung der relativen Position und Orientierung jeder Kamera innerhalb des Datensatzes, wird erreicht, indem gemeinsame Bildmerkmale, die sogenannten „Tie Points“, identifiziert und miteinander verknüpft werden. Die Tie Points sind essenziell, da sie die gesamte räumliche Struktur des 3D Modells definieren. Für eine optimale Tie Point Erzeugung ist eine hohe Überlappung der Bilder notwendig, idealerweise zwischen 80 und 90%, um eine zuverlässige Verknüpfung zu gewährleisten.

Die Generierung der Tie Points erfolgte über den Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)-Algorithmus von Metashape. Dieser Algorithmus identifizierte stabile Bildmerkmale wie Ecken, Kanten oder Texturen, die unabhängig von Skalierung, Drehung oder Beleuchtung bestehen bleiben. Besonders gut funktionierte der Algorithmus bei strukturierten Oberflächen wie Holzresten oder Steinobjekten. Anschließend vergleicht der Algorithmus die Merkmale zwischen überlappenden Bildern, um Übereinstimmungen zu identifizieren. Diese Verknüpfungen bildeten die Basis für die räumliche Rekonstruktion des Modells (Fiz u. a., 2022).

Basierend auf den identifizierten Tie Points berechnete Metashape die Positionen und Orientierungen der Kameras mithilfe eines iterativen Bündelausgleichsverfahrens (Bundle Adjustment). Im ersten Rechenlauf wurden die Kamerapositionen grob geschätzt, indem die geometrischen Beziehungen der Tie Points berücksichtigt wurden. In weiteren Iterationen optimierte die Software die Projektionsfehler zwischen den Tie Points und den entsprechenden Bildpunkten. Dabei werden sowohl die intrinsischen

3. Fallstudien und Feldarbeit

Parameter (z. B. Brennweite, Verzerrung) als auch die extrinsischen Parameter (z. B. Position, Rotation) der Kameras angepasst, um die räumliche Genauigkeit des Modells sicherzustellen (Adami u. a., 2019; Grassi u. a., 2022).

Nach der initialen Berechnung wurden die Tie Points auf ihre Qualität und Konsistenz hin überprüft. Punkte mit hohen Projektionsfehlern oder abweichenden Positionen wurden entfernt, wobei Metashape Visualisierungen zur Analyse der Verteilung und Dichte der Tie Points bereitstellt.

Metashape ermöglichte zudem die Anpassung von Verarbeitungsparametern, um die Effizienz und Genauigkeit der Bildausrichtung zu optimieren. Für kleinere Datensätze wurde die Qualitätseinstellung „High“ verwendet, um eine maximale Anzahl an Tie Points zu generieren, während für größere Fundstellen die Einstellung „Medium“ gewählt wurde, um die Rechenzeit zu reduzieren und teilweise eine stabilere Kameraausrichtung zu erzielen. Zusätzlich wurden adaptive Kameramodelle eingesetzt, um Linsenverzerrungen und andere optische Fehler zu korrigieren, die die Geometrie der Punktwolke beeinträchtigen könnten (Agisoft, 2025; Verhoeven u. a., 2021). Der Schritt zur Bildausrichtung und Tie Point-Generierung ermöglichte eine genaue räumliche Rekonstruktion der Kamerapositionen.

Erstellung der dichten Punktwolke

Die dichte Punktwolke bildet das zentrale Element der 3D-Modellierung und ist die Grundlage für die folgende Mesh-Generierung und Texturierung. In Agisoft Metashape wird dieser Schritt mithilfe des Multi-View-Stereo (MVS)-Algorithmus durchgeführt, der aus den Tie Points und den Bilddaten eine detaillierte Punktwolke generiert. Ziel dieses Prozesses ist es, eine möglichst präzise und vollständige dreidimensionale Repräsentation der untersuchten Fundstellen zu erstellen. Vor der eigentlichen Generierung der dichten Punktwolke wurde die Sparse Cloud – die lichte Punktwolke, die aus den Tie Points besteht, bereinigt und optimiert. Dabei wurden Ausreißer, die nicht zur Hauptstruktur der Fundstelle gehörten, entfernt. Die Wahl der Qualitätseinstellungen spielte bei der Erzeugung der dichten Punktwolke eine wesentliche Rolle. Für das Modell der Station See wurde die Einstellung „Ultra High“ gewählt, um maximale Genauigkeit zu gewährleisten. Nach der Generierung wurde die dichte Punktwolke einer visuellen Prüfung unterzogen. Hierbei wurden Artefakte, Lücken oder inkonsistente Punktverteilungen identifiziert.

Mesh-Generierung und Texturierung

Die Mesh-Generierung und Texturierung sind die nächsten Schritte für die Erstellung eines 3D Modells, bei denen die Punktwolke in ein Trianguliertes Netzwerk überführt und anschließend mit den Bilddaten texturiert wird. Das Ziel dieses Prozesses ist die Erstellung eines möglichst fotorealistischen und metrisch präzisen Modells, das sowohl die Form als auch die Textur der dokumentierten Fundstelle genau wiedergibt.

Vor der eigentlichen Mesh-Generierung wurde die Punktwolke bereinigt. Dabei wurden zunächst Ausreißer, also Punkte, die außerhalb der Hauptstruktur der Fundstelle

lagen, entfernt, um eine saubere Grundlage für die Mesh-Erstellung zu gewährleisten. Die Mesh-Generierung selbst basiert auf der Triangulation benachbarter Punkte in der Punktwolke. Zur Texturierung des Meshes werden die Bilddaten auf die generierte Oberfläche projiziert, um eine realistische Einfärbung des Modells zu erzielen. Metashape wählt dabei automatisch die optimalen Bilddaten aus mehreren Perspektiven, um Schatten oder Überbelichtungen zu vermeiden. Die Texturauflösung wurde an die Anforderungen der jeweiligen Fundstelle angepasst. Um nach Verhoeven u. a. (2021) geometrische Oberflächendetails ab 0,25 mm Größe erfassen zu können, ist eine räumliche Auflösung von 250 µm erforderlich. Damit diese Details korrekt wiedergegeben werden, muss die Ground Sampling Distance (GSD) 125 µm oder kleiner betragen, da für die Darstellung eines Linienmerkmals mindestens zwei bis drei Pixel benötigt werden. Auf dieser Grundlage wurden für die jeweiligen Fundobjekte oder Flächen spezifische Auflösungen festgelegt und angewendet.

Georeferenzierung und Export

Die Georeferenzierung und der Export der Modelle stellen abschließende, wichtige Arbeitsschritte bei der Erstellung von brauchbaren 3D-Modellen dar. Sie gewährleisten die präzise räumliche Positionierung der dokumentierten Fundstellen in einem globalen Koordinatensystem und bereiten die Daten für wissenschaftliche Analysen in Geographischen Informationssystemen (GIS) sowie praktische Anwendungen und die Vermittlung vor. Die Georeferenzierung erfordert eine sorgfältige Kombination aus automatisierten Softwarelösungen und manuellen Eingriffen. Sie ermöglicht es, die Modelle mit anderen Datensätzen, wie digitalen Geländemodellen, Karten und weiteren GIS-Daten, zu kombinieren und zu interpretieren. Die Georeferenzierung begann mit der Identifikation und Integration von Ground Control Points (GCPs), die während der Tauchgänge mit Hilfe von RTK-GNSS-Systemen, d. h. dem Emlid Reach RS2 erfasst wurden. Für tiefere Bereiche kam das GNSS-System Seika zum Einsatz, welches grobe Positionsdaten lieferte. Die Marker für die GCPs wurden an markante Stellen wie die Erosionsmarker gesetzt. Die GCPs wurden in Agisoft Metashape manuell auf den entsprechenden Bildern markiert und mit ihren bekannten globalen Koordinaten verknüpft. Durch diese Verknüpfung der GCPs wurde das Modell skaliert, wodurch um eine korrekte metrische Referenzierung sichergestellt werden konnte.

Um die Modelle für webbasierte Präsentationen, wie Sketchfab¹, oder mobile Geräte zugänglich zu machen, wurde die Polygonanzahl auf maximal neun Millionen Dreiecke reduziert. Hierzu wurde ein in Metashape integriertes Dezimierungsverfahren eingesetzt, welches die Gesamtzahl der Polygone optimierte, ohne dabei wesentliche Details oder die visuelle Qualität des Modells zu beeinträchtigen. Diese Reduktion war eine Voraussetzung dafür, die Modelle online überhaupt flüssig darstellen zu können (Agisoft, 2025). Mehrere der erzeugten 3D Modelle wurden online über die Plattform Sketch-

¹ <https://sketchfab.com/>

3. Fallstudien und Feldarbeit

fab öffentlich zugänglich gemacht^{2,3,4}. Dazu wurden auf neun Millionen Dreiecke (oder weniger) reduzierte Versionen der hochauflösenden 3D-Modelle im OBJ-Format einschließlich der zugehörigen Textur exportiert. Vor dem Export wurden die Modelle einer Qualitätskontrolle unterzogen, um potenzielle Artefakte oder Fehler zu identifizieren.

Alternativen zu Agisoft Metashape

Neben der in dieser Arbeit eingesetzten Software Agisoft Metashape existieren alternative Programme, die für IBM eingesetzt werden können. Obwohl die gebräuchliche Software RealityCapture⁵ als Alternative evaluiert wurde, fiel die Wahl letztlich auf Metashape, da es durch eine sehr robuste Ausrichtung (Alignment) der Kamerapositionen und Orientierungen überzeugte.

RealityCapture ist in der Lage sehr große Datensätze zu verarbeiten. Jedoch erscheint die Bestimmung der Kamerapositionen und -orientierungen nicht gleichermassen umfassend zu erfolgen, wie mit Metashape. Ein Vorteil von RealityCapture ist, dass die Software in der Vollversion inzwischen kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Zukünftig wäre die Analyse einer optimierten Kombination von Metashape und RealityCapture für die Modellierung sehr großer Datensätze interessant.

² 3D-Modell des Fernschreibers Lo 15: <https://skfb.ly/ptUJ8>

³ 3D-Modell des Einbaums: <https://skfb.ly/oRWqo>

⁴ 3D-Modell des Renault Dauphine Autowracks: <https://skfb.ly/pt7wy>

⁵ <https://www.capturingreality.com/>

4. Ergebnisse

Zwischen dem 2. Dezember 2023 und dem 5. April 2024 wurden insgesamt 257,5 Tauchstunden in den Seen Attersee und Mondsee im Rahmen dieser Arbeit absolviert. Während dieser Zeit konnten vier prähistorische Siedlungsflächen sowie fünf Einzelfunde vollständig identifiziert, dokumentiert, erfasst und beschrieben werden. durchgeführt.

Die hohe Anzahl an Tauchstunden erklärt sich nicht nur durch die umfassende Dokumentation der Strukturen, sondern auch durch die Notwendigkeit mehrerer Tauchgänge für einzelne Objekte. Wiederholte Tauchgänge waren erforderlich, um die Ausrüstung zu optimieren oder sich an die variierenden Umweltbedingungen wie eingeschränkte Sichtweiten unter Wasser und Wetterverhältnisse anzupassen.

Die in dieser Arbeit dokumentierten Strukturen und Fundstücke umfassen prähistorische Siedlungsflächen und historische Objekte, die aufgrund ihres kulturellen und wissenschaftlichen Werts von besonderer Bedeutung und repräsentativ sind. Während die Gesamtfläche der untersuchten Fundstellen ein umfassendes Bild der Unterwasserarchäologie in den Seen Attersee und Mondsee vermittelt, unterstreichen spezifische Funde wie die Fernschreiber, der Einbaum, die Autowracks und der Flugzeugzusatztank, die Vielfalt der entdeckten Relikte.

Die Untersuchung zeigte, dass der rezente Einfluss von Menschen auf die Fundstellen erheblich ist. Schäden durch Raubgrabungen und die Aktivitäten von Sondengängern, die teils gut sichtbare Löcher im Sediment hinterlassen haben, gefährden die Unversehrtheit der Fundstätten. Hinzu kommen natürliche Erosionsprozesse, verstärkt durch die Schifffahrt, die insbesondere in flacheren Bereichen der Seen zu einer Schädigung des Kulturerbes führen. Ein Beispiel hierfür ist die Beeinträchtigung prähistorischer Pfahlbaustrukturen durch Sedimentauswaschung und mechanische Einwirkungen.

Ein besonderes Problem stellt neuerdings der Befall von Fundstätten mit Quagga-Muscheln dar, der die Erhaltung kulturhistorisch relevanter Fundstücke und Strukturen zusätzlich beeinträchtigt. Dieser invasive Organismus überzieht Oberflächen, wodurch die Sichtbarkeit, Identifizierbarkeit und Zugänglichkeit der Objekte für wissenschaftliche Untersuchungen erschwert wird. Zudem zeigt sich, dass ein Verbringen der Objekte zu deren Schutz in größere Tiefen, wie früher praktiziert, keine wirksame Option mehr ist, da auch in tieferen Bereichen der Seen ähnliche Gefährdungen durch Umwelt- und Menscheneinwirkungen bestehen.

Vergleiche mit historischen Dokumentationen und Altberichten von Forschungen

4. Ergebnisse

ermöglichen eine präzise Rückführung der Daten in einen langfristigen Monitoring-Kontext. Dadurch konnten Veränderungen mit der Zeit nachvollzogen und neue Erkenntnisse über den Erhaltungszustand der Fundstellen gewonnen werden. Diese Vergleiche sind nicht nur für die prähistorischen Fundstellen, sondern auch für historische Objekte wie die Fernschreiber und den Flugzeugtank von besonderer Bedeutung.

Die kulturhistorische Bedeutung der untersuchten schützenswerten Objekte erstreckt sich über alle Tiefenbereiche. Mit der möglichen Ausdehnung der UNESCO-Welterbestätten in den Seen bis hin zu Relikten aus dem Zweiten Weltkrieg wird die Notwendigkeit einer präzisen und langfristigen Dokumentation dieser Fundstellen unterstrichen. Die Erfassung aller Objekte und Strukturen mit modernster Dokumentationstechnik ist essenziell, da viele dieser Fundstellen nur noch kurzzeitig in ihrer aktuellen Form bestehen bleiben und erfasst werden können.

Um die Funde im Wasser zu belassen und dennoch ein nachhaltiges Monitoring und eine wissenschaftliche Nutzung zu gewährleisten, ist eine hochpräzise digitale Dokumentation unerlässlich. Diese Arbeit zeigt, dass der kulturelle Wert der Fundstellen in den Seen Attersee und Mondsee weit über ihre bloße Entdeckung hinausgeht – er liegt in der Möglichkeit, sie als Zeugnisse der Geschichte zu schützen und für zukünftige Generationen zu bewahren und zugänglich zu machen.

4.1. Analyse und Interpretation der Sonardaten

Die im Rahmen des Projekts *„Archäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten“* durchgeführten Multibeammessungen bildeten die Grundlage für die praktische Auswertung der Sonardaten dieser Masterarbeit. Das Projekt setzte auf eine Kombination aus hochauflösenden Multibeam- und Sedimentsonarmessungen, um eine präzise Abbildung von Seeböden zu ermöglichen und archäologische sowie geologisch interessante Strukturen zu erfassen.

Die Auswertung der Sonardaten ermöglichte die Identifizierung zahlreicher zuvor unbekannter Anomalien, sowohl großflächiger Strukturen als auch einzelner auffälliger Objekte, die im Folgenden als *Targets* bezeichnet werden. Diese wurden anhand ihrer charakteristischen Reflexionssignaturen identifiziert, welche durch geometrische Muster und eine signifikante Abweichung von natürlichen Sedimentformationen auffallen. Solche Targets sind häufig geometrisch geformt und unterscheiden sich deutlich von natürlichen Sedimentformationen. Im Rahmen eines komplementären methodischen Ansatzes wurden die Sonardaten der Targets durch Tauchgänge und die Erstellung von 3D-Modellen ergänzt, wodurch in vielen Fällen ihre archäologische Relevanz bestätigt werden konnte.

Besondere Aufmerksamkeit galt zu Beginn der Arbeit den erosionsbedingten Veränderungen im Bereich der Ringleitung am Westufer des Attersees. Insbesondere eine auffällige Anomalie der Leitung im Bereich der Pfahlbaustation Misling war

4.1. Analyse und Interpretation der Sonardaten

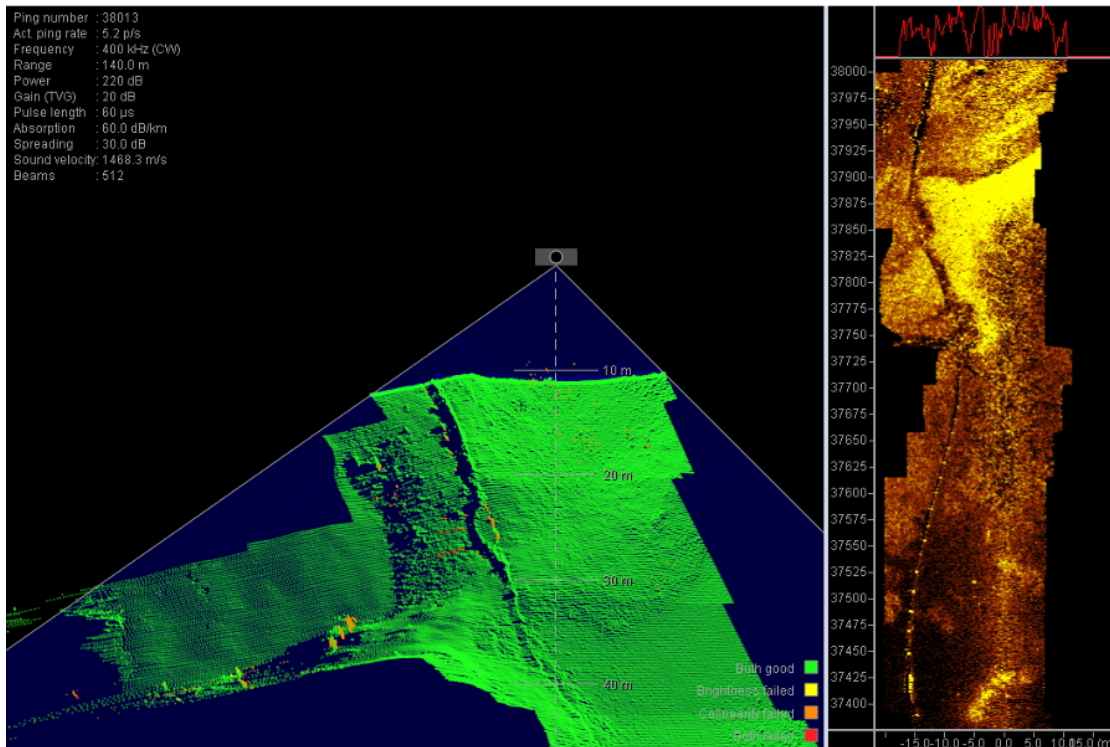


Abb. 4.1.: Multibeam-Sonar Datenbild: Links: Wasserfalldarstellung der Messdaten während der Aufzeichnung. Rechts: Simulierte Side-Scan-Sonar Darstellung der Reflektionsintensität. Attersee, Bereich der Pfahlbaustation Miesling, Anomalie Seeleitung. Quelle: I. Trinks.

aufgrund ihres archäologischen Kontexts von besonderem Interesse.

Die Multibeam-Sonar-Aufnahmen zeigen deutliche Unterspülungen und Sedimentabrutschungen (Abb. 4.1), die auf hydrodynamische Prozesse und externe Einflüsse hinweisen könnten. Eine ovale Vertiefung unterhalb der Leitung ließ auf mechanische Einwirkungen schließen. Durch die GNSS-gestützte Positionierung der Sonardaten konnte eine punktgenaue Tauchuntersuchung erfolgen, welche die Grundlage für die präzise Erkundung und Dokumentation von Anomalien bildete.

Während der Tauchgänge wurde festgestellt, dass ein mögliches Ankerseil die Leitung aus ihrer ursprünglichen Position gezogen hatte, was zur Erosion des Bodens führte (Abb. 4.2). Alternativ könnte es sich jedoch auch um eine bewusste Niederspannung der Seeleitung handeln. Diese Maßnahme wurde möglicherweise beim Bau der Leitung vorgenommen, um ein unkontrolliertes Aufsteigen der Leitung trotz der installierten Abtriebskörper zu verhindern. Solche gezielten Eingriffe könnten ebenfalls die beobachteten Verschiebungen und die resultierenden Erosionsprozesse erklären.

Weiters konnte beobachtet werden, dass die Leitung auf einem Fels, genauer gesagt am

4. Ergebnisse



Abb. 4.2.: Foto: Attersee, Station Miesling – Die Seeleitung wird durch ein Seil in einer gekrümmten Bahn zum Seeboden geführt. Darunter sichtbar: freiliegender Seekreideboden mit Anzeichen von Unterspülung.

Punkt eines ihrer Abtriebskörper, aufliegt (Abb. 4.3). Diese Situation hat potenziell zwei unterschiedliche Auswirkungen: Entweder wirkt die Felsstruktur stabilisierend und führt zu einem Stopp der weiteren Unterspülung des Seebodens, oder die spezifische Lokalisation der Ringleitung an diesem Punkt fördert und verstärkt die Auswaschung durch kanalisierten Wasserfluss.

Ein fortlaufende Überwachung dieser Stelle wird dringend empfohlen, um die weitere Entwicklung der erosiven Prozesse zu beobachten und gegebenenfalls frühzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Insbesondere könnte eine anhaltende Erosion zu einer Beeinträchtigung oder Beschädigung der in unmittelbarer Nähe gelegenen Pfahlbaustation Miesling führen, wodurch ein bedeutendes archäologisches Kulturerbe gefährdet wäre. Die Dokumentation der Unterspülung erfolgte durch eine Kombination aus Fotodokumentation und 3D-Modellierung durch Image Based Modelling. Die Untersuchung der ausgespülten Seebodenoberfläche ergab keine archäologischen Artefakte, jedoch ist aufgrund der Nähe zur Pfahlbaustation ein expliziter Survey und ein regelmäßiges Monitoring erforderlich.

Über die Analyse der noch begrenzten Multibeamsonardaten aus dem Attersee wurde



Abb. 4.3.: Foto: Attersee, Station Miesling – Die Seeleitung wird an einem ihrer Abtriebskörper durch einen Fels blockiert.

eine Bandbreite verschiedener Objekte im Attersee fotogrammetrisch untersucht, die von neuzeitlichen Strukturen wie Autowracks, Motorrädern, möglichen aeronautischen Strukturen und Wasserfahrzeugen bis hin zu potenziell prähistorischen Relikten wie Einbäumen reichten.

Im Bereich des Mondsees konnten aus den flächendeckenden Multibeam-Sonar-Daten Hinweise auf sowohl neuzeitliche als auch prähistorische Strukturen herausgearbeitet werden. Eine genaue Identifizierung dieser Objekte hätte jedoch eine taucherische Inspektion erfordert, die aufgrund der Vielzahl der identifizierten Targets und der begrenzten Ressourcen den Rahmen dieser Masterarbeit bei weitem überstiegen hätte. Stattdessen wurde eine gezielte Auswahl an Objekten getroffen, die sich durch besondere Relevanz oder archäologisches Potenzial auszeichneten. Ebenfalls war die taucherische Erreichbarkeit im Rahmen der finanziellen Ressourcen dieser Masterarbeit ein wesentliches Auswahlkriterium.

Die im Sommer 2018 im Mondsee vom LBI ArchPro aufgenommenen Multibeam-Sonar-Daten lieferten keine brauchbaren Hinweise auf die bekannten Pfahlbauten, da die Flachwasserbereiche aufgrund jahreszeitlich bedingter Faktoren wie starkem Unterwasserpflanzenbewuchs, Badenden und Niedrigwasser von der Erfassung im Rahmen

4. Ergebnisse

des Projektes „*Archäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten*“ zunächst, im Warten auf die kühlere Jahreszeit und höhere Wasserstände ausgenommen wurden. Im Gegensatz dazu wurden bereits 2016 Sedimentsonardaten gezielt auf der bereits bekannten Pfahlbaustation See am Mondsee testweise erhoben. Diese Daten ermöglichten die Aufzeichnung einer umfangreichen Anzahl wissenschaftlich vielversprechender Sedimentprofile im Bereich dieser UNESCO-Weltkulturerbestätte. Diese Profile bieten das Potenzial für neue, bisher nicht mögliche Interpretationen des Untergrundes der Station und eröffnen innovative wissenschaftliche Ansätze sowie weiterführende Forschungsfragen. Die gewonnenen Daten sind bislang unveröffentlicht, versprechen jedoch, die archäologische und sedimentologische Forschung in diesem Bereich entscheidend voranzutreiben. Eine Fortsetzung der Sonarmessungen ist zum Zeitpunkt des Abschlusses der Masterarbeit bereits in Planung.

Die differenzierte Analyse der verschiedenen untersuchten Objekte verdeutlichte zudem die Notwendigkeit angepasster Ansätze für die unterschiedlichen Objekte. Neuzeitliche Strukturen wie Wracks oder versunkene Fahrzeuge zeigten häufig klare geometrische Formen und Reflexionsmuster, während prähistorische Materialien wie Holz oder organische Reste subtilere Signaturen aufwiesen, die in den Sonardaten schwerer zu identifizieren waren. Die Kombination aus Sonardaten, zusätzlichen taucherischen Erkundungen und fotogrammetrischen Aufnahmen erwies sich daher als entscheidend, um die archäologische Relevanz und den Zustand der gewählten Targets zu bewerten. Dies verdeutlichte die Notwendigkeit, unterschiedliche Technologien gezielt einzusetzen, um ein umfassendes Verständnis sowohl der tieferen als auch der flacheren Fundbereiche zu erhalten. Während die fotogrammetrische 3D-Modellierung die höchste bildliche Auflösung bietet, eignen sich Sonarmessungen zum effizienten Detektieren von Strukturen und Objekten von möglichem archäologischen Interesse.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

Im Rahmen dieser Arbeit wurden sowohl prähistorische als auch historische Strukturen und Fundstücke aus den beiden oberösterreichischen Seen Attersee und Mondsee identifiziert, dokumentiert und analysiert. Dabei lag der Fokus auf der fotografischen Erfassung und der detaillierten 3D-Modellierung, um die Objekte und Flächen präzise zu dokumentieren und eine Grundlage für ein langfristiges Monitoring und ihre Erforschung zu sichern. Die identifizierten Befunde werden im Folgenden nach ihrer zeitlichen Einordnung in prähistorische und historische Objekte, sowie innerhalb dieser Kategorien nach Flächen und Einzelfunden unterteilt.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

4.2.1. Prähistorische Befunde – Flächen

Pfahlbaustation Seewalchen I – Sprungturmgrube (Attersee)

Die Pfahlbaustation *Seewalchen – Sprungturmgrube* im Attersee ist eine archäologisch bedeutende Fundstelle, die tiefgreifende Einblicke in die prähistorische Besiedlung des Salzkammerguts ermöglicht (Abb. 4.4). Sie befindet sich im nordwestlichen Uferbereich des Attersees und liegt innerhalb einer künstlich angelegten Grube, die 1957 während des Neubaus eines Strandbades als Sprungturmgrube ausgehoben wurde. Diese Grube hat eine rechteckige Form mit den Ausmaßen von 15×15 Metern. Besonders das Ostprofil ist archäologisch relevant, da dort die Schichten und Pfähle der ehemaligen Pfahlbausiedlung nahezu senkrecht freiliegen.

Die Fundstelle gehört zur sogenannten Mondsee-Gruppe und wird der Kupfer- und Bronzezeit zugeordnet. Die stratigraphischen Einheiten umfassen mehrere Kulturschichten, darunter die Kulturschichten 1 und 2 (SE 2a und SE 2b) (Pohl, 2016a), sowie darunterliegende Schichten aus Seekreide und sterilem Beckenton. Die oberste Schicht besteht aus einer dünnen Deckschicht aus Sand und Kies, die lediglich 2 bis 5 cm stark ist. Darunter beginnt die neolithische Kulturschicht, die reich an organischen Resten und Artefakten ist (Pohl, 2016a). Ähnliche stratigraphische Befunde wurden auch bei einer anderen Fundstellen im Attersee dokumentiert, wie zum Beispiel in der *Pfahlbaustation Seewalchen I – Erosion durch Schifffahrt* (siehe nächster Abschnitt), welche angrenzend zur Sprungturmgrube liegt, und in der ebenfalls Kulturschichten und Pfähle freigelegt wurden.



Abb. 4.4.: Foto: Seewalchen I – Sprungturm mit Sprungturmgrube.

4. Ergebnisse

Eine der besonderen Herausforderungen der Sprungturmgrube ist der deutliche Einfluss von Erosionsprozessen, die durch natürliche Faktoren wie Wellengang sowie durch anthropogene Einflüsse wie die Schifffahrt und der saisonale Badebetrieb des Strandbad Seewalchen verstärkt werden. Insbesondere der östliche Bereich der Grube weist starke Erosionsspuren, die zu einem kontinuierlichen Verlust an archäologischen Schichten führen. Diese Problematik ist nicht auf die Sprungturmgrube beschränkt, sondern betrifft viele Unterwasserfundstellen in der Region, wie auch in anderen Untersuchungen der Salzkammergutseen festgestellt werden konnte.

Im Rahmen der Betauchungen, die im Zuge der vorliegenden Masterarbeit durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, dass innerhalb des ausgebaggerten Bereichs der Grube keine sichtbaren prähistorischen Reste mehr vorhanden sind. Aufgrund der dichten Laubschicht am Seeboden der Sprungturmgrube war aber innerhalb dieser Arbeit eine detaillierte Erfassung der darunter befindlichen Oberfläche nicht möglich. Wie die im Rahmen der Arbeit erzeugten 3D-Modelle zeigen, überdeckt die Blätterschicht zur Gänze den Seeboden in diesem Bereich. Der äußere Randbereich der Grube, der durch eine hölzerne Kastenstruktur abgegrenzt ist, zeigt jedoch deutliche Erosionsspuren. Diese Erosion führt zu einem Sedimentverlust in Richtung der Grube, wodurch zahlreiche Holzpfähle freigelegt werden, die zum Teil gut erhalten, zum Teil jedoch stark erodiert sind. Aufgrund früherer Untersuchungen und der räumlichen Nähe zur prähistorischen Siedlung ist davon auszugehen, dass diese Pfähle ebenfalls prähistorischen Ursprungs sind. Eine Datierung mittels Radiokohlenstoffanalyse (C^{14}) oder Dendrochronologie wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt.

Ein weiterer Fund, welcher die prähistorische Bedeutung des Randbereichs unterstreicht, ist ein Keramikfragment (Abb. 4.5), das als Teil des Bodens eines prähistorischen Gefäßes möglicherweise der Mondseekultur interpretiert werden kann. Das Fragment weist einen Durchmesser von etwa 10 cm auf und wurde vor Ort belassen, da die Arbeit ausschließlich nicht-invasive Prospektionsmethoden umfasste. Die unmittelbare Nähe zu erodierten Pfählen ist ein weiterer Indikator für diese angenommene zeitliche Zuordnung. Dieser Bereich wurde einer detaillierten fotodokumentarischen Untersuchung unterzogen, um die Notwendigkeit einer soliden Datenbasis für zukünftig zu erfolgenden unterwasserarchäologischen Monitoring-Dokumentationen zu verdeutlichen. Der Fund wurde dem Kuratorium Pfahlbauten gemeldet, welches an der betreffenden Stelle in 1,6 m Wassertiefe eine Schutzüberdeckung des Fragments veranlasste, um weitere Schäden durch Erosion und menschliche Einflüsse zu verhindern.

Die Fundstelle ist insgesamt massiv von verschiedenen äußeren Einflüssen betroffen. Die Erosionsprozesse werden durch die geringe Wassertiefe von nur ein bis zwei Metern begünstigt, und durch Umwelteinwirkungen wie Stürme und Wellengang weiter verstärkt. Hinzu kommt der intensive Einfluss durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch den angrenzenden Badetourismus im Bereich des Schwimmbads und die Ausflugs-Schifffahrt. Ein zusätzlicher Belastungsfaktor ist neuerdings der intensive Befall mit Quagga-Dreikant-Muscheln, welche die Oberflächen der freigelegten Pfähle und anderer Fundstücke bedecken und deren Erhaltungszustand beeinträchtigen. Der

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.5.: Foto: Attersee, Station Seewalchen I, Keramikfragment und Pfähle (oben). Nahaufnahme des Keramikfragments mit Quagga Muschelbefall (unten).

4. Ergebnisse

Muschelbewuchs erschwert nicht nur die Sichtbarkeit der archäologischen Überreste, sondern fördert auch deren mechanische Schädigung durch biologische Aktivität.

Im Rahmen der Betauchung der näheren Umgebung der Sprungturmgrube wurden weitere stark erodierte Pfähle fotografisch aufgenommen. Diese befinden sich ebenfalls in einem derartig schlechten Zustand, der eine unmittelbare Sicherung erforderlich macht, um den fortschreitenden Verlust an archäologischem Material zu aufzuhalten. Der Befund zeigt deutlich, dass die Fundstelle durch eine Kombination aus natürlichen und anthropogenen Einflüssen stark gefährdet ist, was die Notwendigkeit kontinuierlicher Schutzmaßnahmen unterstreicht.

Pfahlbaustation Seewalchen I – Erosion durch die Attersee-Schifffahrt

Bei diesem prospektierten Bereich handelt es sich um einen Teil der Pfahlbaustation Seewalchen I. An dieser Stelle soll allerdings erwähnt sein, dass die Abgrenzung zwischen den Pfahlbaustationen Seewalchen I und II und Kammer I seit jeher ein Punkt für wissenschaftlichen Diskussionen ist.

Die neolithischen Seeufersiedlungen Seewalchen I und II am Attersee sind zentrale Plätze archäologischer Forschung. Ihre Abgrenzung und zeitliche Einordnung stellen bedeutende Herausforderungen dar, die durch systematische Vermessungen, Radiokarbondatierungen und Materialanalysen angegangen wurden. Dabei wurde festgestellt, dass diese beiden Siedlungsflächen möglicherweise eine zusammenhängende Einheit bildeten. Laut Czech (1986) waren eine exakte Vermessung sowie die Analyse der Fundverteilung und Kulturschichten notwendig, um diese Hypothese zu prüfen.

Gemäß Czech (2014) war ein entscheidender Befund der Untersuchungen die klare Trennung zwischen Kammer I und Seewalchen I. Zwischen diesen beiden Siedlungen wurde ein etwa 40 Meter breiter, fundfreier Streifen identifiziert. Dies zeigt, dass sie unabhängig voneinander bestanden. Radiokarbondatierungen untermauerten diese Erkenntnis, indem sie unterschiedliche Besiedlungszeiträume für die beiden Siedlungen belegten. Hierbei sei allerdings angedacht, dass zukünftige geophysikalische Prospektion mittels Sedimentsonar weiteren Aufschluss bringen könnten, ohne eine Beeinflussung der Kulturschichten und Siedlungszonen zu verursachen. Seewalchen I und II hingegen weisen Anzeichen auf, die eine Verbindung oder Überlappung der Besiedlungsphasen nahelegen, auch wenn abschließende Beweise bislang noch fehlen (Czech, 1986; Pohl, 2015b).

Im Rahmen der archäologischen Unterwasserprospektion des untersuchten Gebietes konnte eindeutig festgestellt werden, dass die durch die Schifffahrt verursachten Veränderungen des Seebodens zu erheblichen Ausschwemmungen und Erosionsprozessen geführt haben. Diese Prozesse sind besonders im Bereich der untersuchten Stelle gut dokumentiert und zeigen deutlich die Auswirkungen moderner anthropogener Aktivitäten auf prähistorische Fundkontexte. Insbesondere fällt auf, dass im Umfeld des betroffenen Bereichs mehrere Pfähle aus dem Seeboden herausragen. Diese Pfähle

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.6.: Foto: Attersee, Seewalchen I, Anlegestelle Schifffahrt.

konnten im Rahmen dieser Masterarbeit weder mittels Radiokarbonmethode (C^{14}) noch dendrochronologisch datiert werden. Dennoch erlaubt die spezifische Struktur der Pfähle in Kombination mit ihrem Fundkontext eine vorläufige Zuordnung zur bekannten Pfahlbaustation Seewalchen I. Diese Annahme wird zusätzlich durch das Vorhandensein von Erosionsmarkern des Kurtorium Pfahlbauten gestützt, welche in dem im Rahmen dieser Arbeit erstellten 3D-Modell erkennbar sind. Die deutlich erkennbaren Erosionsspuren bestätigen die Verbindung zum bereits dokumentierten Fundkomplex Seewalchen I.

Im zentralen Bereich der durch die Schifffahrt (Abb. 4.6) verursachten Grube, die eine Tiefe von ca. 30 bis 70 cm aufweist, konnten keine weiteren Funde oder Holzstrukturen dokumentiert werden. Wie aus der Fotodokumentation hervorgeht, fehlen auch im Randbereich der Grube sichtbare Pfähle, was auf eine umfassende Störung des betroffenen Gebiets hinweist. Dies deutet darauf hin, dass entweder keine Siedlungsstrukturen in diesem spezifischen Bereich existierten, oder dass sie durch die Erosion vollständig zerstört wurden. Diese Hypothese wird auch durch die Sedimentverteilung im nördlichen Bereich der Grube unterstützt. Hier hat sich eine etwa 40 cm hohe Sedimentaufschüttung gebildet, die aus fein- bis grobkörnigem Schotter besteht. Diese Aufschüttung resultiert aus der südlichen Fahrtrichtung der Schiffe und den durch die Schiffsschrauben verursachten Schwall, welcher das Sediment aufwirbelt so dass es anschließend in nördlicher Richtung abgelagert wird.

4. Ergebnisse

Eine Analyse des aufgeschütteten Materials könnte wertvolle Hinweise auf prähistorische Rückstände liefern und möglicherweise einen neuen Fundkontext schaffen. Daher wäre eine gezielte Untersuchung der Sedimentaufschüttung durch Sieb- und Analyseverfahren angeraten, um eine umfassendere archäologische Bewertung des Bereichs vornehmen zu können. Bislang lässt der dokumentierte Ist-Zustand jedoch nur zwei mögliche Interpretationen zu: Entweder gab es im betroffenen Bereich tatsächlich keine Siedlungsstrukturen, was angesichts des umliegenden Befundkomplexes als unwahrscheinlich erscheint, oder die prähistorischen Siedlungsreste der Pfahlbaustation Seewalchen I wurden durch moderne anthropogene Einflüsse, insbesondere durch die Schifffahrt, in diesem Bereich vollständig zerstört.

Die Ergebnisse dieser archäologischen Prospektion und Dokumentation unterstreichen die Dringlichkeit, großflächige und systematische unterwasserarchäologische Untersuchungen in allen geeigneten österreichischen Gewässern durchzuführen. Eine derart umfassende Prospektion würde nicht nur helfen, potenzielle Fundstellen zu identifizieren, sondern auch dazu beitragen, bestehende Fundkomplexe wie die Pfahlbaustation Seewalchen I vor weiteren Schäden zu schützen. Diese Maßnahmen könnten an die langjährigen Bemühungen und Kampagnen des Kuratoriums Pfahlbauten anknüpfen, das sich bereits intensiv für den Erhalt und die Dokumentation dieser einzigartigen Kulturdenkmäler einsetzt. Die Arbeit des Kuratoriums hat gezeigt, wie wichtig kontinuierliche Forschungs- und Schutzmaßnahmen sind, um sowohl die wissenschaftliche Untersuchung als auch die Bewahrung solcher Fundstätten langfristig zu gewährleisten. Neben dem Erhalt der archäologischen Substanz wäre es auch möglich, durch gezielte Untersuchungen weitere Erkenntnisse über die prähistorischen Besiedlungsmuster und die Nutzung der Seenlandschaften zu gewinnen. Angesichts der bisherigen Befunde scheint es unverzichtbar, verstärkte Anstrengungen in die archäologische Forschung und den Schutz dieser einzigartigen Kulturdenkmäler zu investieren.

Pfahlbaustation UNESCO-Welterbe Station See (Mondsee)

Die vorgeschichtliche UNESCO Weltkulturerbe Pfahlbaufundstelle *Station See* am Mondsee (Abb. 4.7) stand im Fokus dieser Masterarbeit und wurde mit dem größten Zeitaufwand untersucht. Obwohl diese Fundstelle durch intensive Altforschungen und das regelmäßige Monitoring des Kuratoriums Pfahlbauten bereits gut dokumentiert ist, eignet sie sich hervorragend zur Demonstration moderner unterwasserarchäologischer Prospektions- und Dokumentationsmethoden und deren Weiterentwicklung.

Im Rahmen der Untersuchung wurden insbesondere Fotodokumentation und Image-Based-Modelling (IBM) angewendet. Ziel war es, trotz der technischen und finanziellen Einschränkungen sowie der schwierigen Sichtverhältnisse im Mondsee, möglichst hochwertige, detaillierte Ergebnisse zu erzielen. Die schlechte Sicht unterwasser wurde dabei durch gezielte Testtauchgänge kompensiert, die es ermöglichten, die eingesetzten Methoden zu optimieren und zu verfeinern. Insgesamt wurden 19 Tauchgänge zu je etwa 4 Stunden durchgeführt, um die dokumentarische Arbeit zu vertiefen und die Qualität

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.7.: Foto: Mondsee, Station See, Oberflächenaufnahme.

der Ergebnisse zu sichern.

Ein zentrales Anliegen der Arbeit war es, den Seeboden sowie die darauf befindlichen archäologischen Befunde in ihrem derzeitigen Zustand eingriffsfrei zu dokumentieren. Es wurde bewusst darauf verzichtet, die Fundstelle zu beeinflussen oder zu verändern, um ein authentisches Abbild der aktuellen Situation zu schaffen und die Effizienz großflächiger Prospektions- und Dokumentationsmethoden unter realistischen Bedingungen zu demonstrieren.

Die meisten Tauchgänge fanden tagsüber statt, aber auch Nachttauchgänge wurden bewußt durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Lichtverhältnisse in Kombination mit den ausgesprochen trüben Sichtverhältnissen im Mondsee zu untersuchen. Diese Nachttauchgänge lieferten sowohl für die Fotodokumentation als auch für die Erstellung von IBM Modellen besonders beeindruckende Ergebnisse (Abb. 4.8).

Wie in der Abbildung 4.8 zu erkennen ist, sind Nachttauchgänge für Detailaufnahmen unter schlechten Sichtverhältnissen im Flachwasserbereich besonders vorteilhaft. In größeren Tiefen spielen diese Bedingungen eine geringere Rolle, da die Beleuchtung

4. Ergebnisse

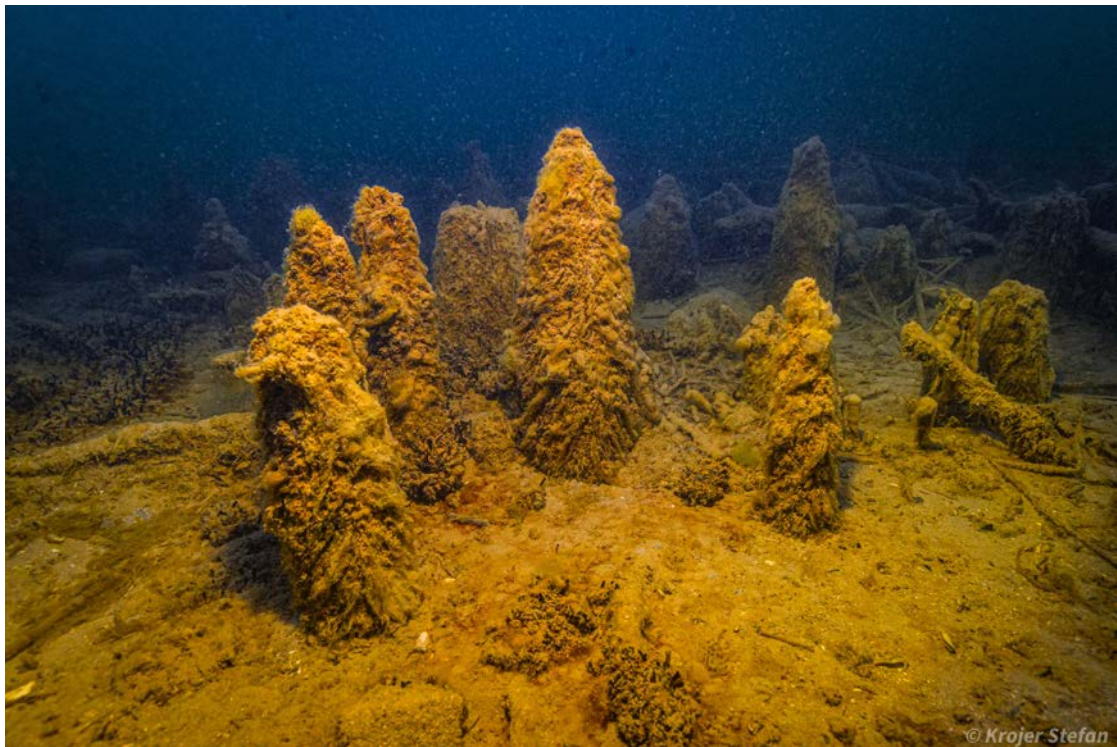


Abb. 4.8.: Foto: Mondsee, Station See, Pfähle bei Nacht.

in tieferem Wasser gleichmäßiger und weniger störanfällig gegenüber wechselnden Lichtverhältnissen ist. Im flachen Wasser führt jedoch tagsüber das diffuse und ungleichmäßige Licht bei Sonneneinstrahlung zu erheblichen Herausforderungen.

Durch den Einsatz eines Weitwinkelobjektivs (Nikon 14-24) wurde die notwendige Distanz zu den Pfählen bei der Aufnahme minimiert, wodurch die Auswirkungen von Schwebeteilchen im Wasser erheblich reduziert wurden. Gleichzeitig bleibt die Hintergrundtrübung durch die Schwebstoffe erkennbar, die bei diesem Tauchgang zu einer Sichtweite von unter einem Meter (!) führten.

Die dokumentierten Pfähle weisen die typische Erosion am oberen Ende auf, die sie konisch zulaufen lässt. Überdeckt von einer bräunlichen Deckschicht aus Schlamm und Pflanzenresten, wie sie in der Winterzeit üblich ist, können Feinstrukturen und mögliche Bearbeitungsspuren nur nach einer behutsamen Freilegung durch Abwedeln sichtbar gemacht werden.

Ein alarmierender Befund im Rahmen der Prospektion war das zunehmende Auftreten der invasiven Quagga-Dreikant-Muschel-Art, die in den Seen seit 2023 vermehrt beobachtet wurde. Diese Art stellt eine ernste Bedrohung für die Erhaltung und Sichtbarkeit archäologischer Strukturen dar, da sie sich auf den Oberflächen der Fundstücke ansiedelt und deren Zustand beeinträchtigt.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.9.: Foto: Mondsee, Station See, Pfähle 2014.

Die jahrelangen beruflichen und privaten taucherischen Aktivitäten des Verfassers in den Gewässern des Attersees und Mondsees ermöglichten es, Veränderungen in der Befundlandschaft über einen längeren Zeitraum zu erkennen, sie zu dokumentieren und zu vergleichen. Dies trägt wesentlich zum Verständnis der Dynamik der Fundstelle bei.

Wie auf der Aufnahme aus dem Jahr 2014 (Abb. 4.9) deutlich zu erkennen ist, war die gesamte Fundstelle zu diesem Zeitpunkt frei von jeglichem Muschelbewuchs. Die Pfähle zeigen keinerlei sichtbare Beeinflussung durch äußere Faktoren, was auf einen guten Erhaltungszustand der Fundstelle hindeutet. Da die Aufnahme im September entstand, fehlen auch die typischen winterlichen Ablagerungen aus Pflanzenresten und Schlamm, welche die Pfähle in den kälteren Monaten oft bedecken. Die archäologischen Strukturen sind klar und detailliert erkennbar, wobei auch hier eine überdurchschnittlich gute Sichtbedingung für den Mondsee im September 2014 bestand. Im Hintergrund der Pfähle lässt sich der sogenannte Offenberger Rahmen erkennen, was zu einer guten Einschätzung der Sichtbedingungen zu diesem Zeitpunkt herangezogen werden kann.

Im Winter 2022 wurde ein eindeutiger Befall der Pfahlstrukturen festgestellt (Abb. 4.10).

4. Ergebnisse



Abb. 4.10.: Foto: Mondsee, Station See, Pfahl bei Nacht mit beginnenden Quagga-Muschelbefall 2022.

Die Quagga-Muschel begann, die Pfähle in der Station See zu besiedeln, indem sie sich in mehreren Schichten auf Steinen und Holzstrukturen übereinander ablagerte, wie auf dem Foto zu erkennen ist. Die Besiedelung schreitet langsam voran und konzentriert sich zunächst auf die aus dem Seeboden ragenden Pfähle. Zu diesem Zeitpunkt war eine detaillierte strukturelle Erfassung der einzelnen Pfähle noch problemlos möglich.

Im November 2024 zeigt sich ein deutlicher und weitreichender Befall der sichtbaren Pfähle durch die invasive Quagga-Muschel (Abb. 4.11). Diese Art besiedelt nicht nur Steine und Schwemmholz, sondern bedeckt zunehmend flächendeckend den Seeboden. Dies erschwert die Identifizierung von Funden an der Oberfläche erheblich, wobei anzumerken ist, dass die Muscheln in Einzelfällen möglicherweise eine Schutzfunktion für Objekte wie Keramik übernehmen könnten. Allerdings gibt es bislang keine fundierten Studien, die Aufschluss darüber geben, inwiefern Muschelbewuchs bei solchen Materialien zu Schäden führt.

Besonders besorgniserregend ist die Gefährdung der Pfahlstrukturen. Die Quagga-Muschel bildet mehrschichtige Ansammlungen, die sich traubenartig um die Pfähle legen. Dieses zusätzliche Gewicht könnte dazu führen, dass die Pfähle knicken und letztlich brechen. Dies hätte den irreparablen Verlust der UNESCO-Welterbestätte zur

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.11.: Foto: Mondsee, Station See, Pfähle mit Quagga-Muschelbefall.

Folge. Betrachtet man die Entwicklung in anderen Gewässern wie dem Attersee und dem Traunsee, ist davon auszugehen, dass die Station See innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre vollständig vom Muschelbewuchs überzogen sein wird. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Holzstrukturen, insbesondere der oberflächlichen Pfähle, fehlen derzeit Langzeitstudien, die eine genaue Bewertung ermöglichen.

Für die unterwasserarchäologische Prospektion stellt dies ein gravierendes Problem dar. Während bekannte Fundstellen wie die Station See weiterhin untersucht werden können, wird es mit der gegenwärtig verfügbaren Technologie künftig nahezu unmöglich sein, neue Fundstellen zu lokalisieren. Dies stellt eine erhebliche Einschränkung für die Forschung dar, insbesondere für das Verständnis der komplexen Zusammenhänge einzelner Siedlungsbereiche in den österreichischen Seen.

Die im Rahmen dieser Masterarbeit erstellte Fotodokumentation der Station See durch den Verfasser, ergänzt mit frühere Aufnahmen von Altforscher:innen und vor allem dem Monitoring des Kuratorium Pfahlbauten seit 2012, könnte – sofern sich der Status quo durch den Quaggamuschelbefall nicht grundlegend ändert – möglicherweise die letzten strukturell erfassbaren visuellen Aufzeichnungen dieser UNESCO-Welterbestätte darstellen. Diese Dokumentationen könnten zukünftig von unschätzbarem Wert sein, da sie den letzten Zustand der Pfahlstrukturen vor einer potenziellen vollständigen Überdeckung und möglichen Zerstörung durch die invasive Muschelart festhalten.

4. Ergebnisse

4.2.2. Historische Befunde – Einzelfunde

Im Rahmen der Masterarbeit wurden exemplarisch mehrere historische Einzelobjekte untersucht, darunter mehrere Fahrzeugwracks, zwei Fernschreiber, die auf die Zeit des Zweiten Weltkriegs datiert werden können, sowie der bislang einzige nachgewiesene Einbaumfund im Attersee. Besonders hervorzuheben ist der Zusatztank eines Kampfflugzeugs aus dem Zweiten Weltkrieg, der während der im Rahmen der Masterarbeit durchgeführten Prospektionsstauchgänge entdeckt wurde. Diese Objekte wurden aufgrund ihrer Lage, ihres Erhaltungszustands und der im Rahmen der Arbeit realisierbaren Möglichkeiten ausgewählt.

Die dabei eingesetzten Techniken und die erzielten Ergebnisse sind nicht nur auf diese spezifischen Funde beschränkt. Vielmehr bieten sie eine methodische Grundlage, die analog auf weitere Fundobjekte im Attersee, im Mondsee sowie auf Entdeckungen in anderen österreichischen Gewässern angewendet werden kann.

Renault Dauphine (Attersee)

Am Südostufer des Attersees befindet sich in einer Tiefe von 24 Metern das Wrack eines Renault Dauphine (Abb. 4.57), eines Automodells, das in den Jahren 1956 bis



Abb. 4.12.: Foto: Attersee, Renault Dauphine.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.13.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Frontscheinwerfer.

1968 produziert wurde. Obwohl dieses Wrack in der Taucher:innen-Community bereits seit einigen Jahren bekannt ist, bietet es dennoch die Möglichkeit, im Rahmen dieser Untersuchung als exemplarisches Objekt systematisch dreidimensional erfasst und wissenschaftlich analysiert zu werden.

Das Hauptaugenmerk bei der Untersuchung dieses Objekts lag auf der Demonstration der IBM-Methodik, welche in einem separaten Kapitel behandelt wird. Ergänzend wurde

4. Ergebnisse

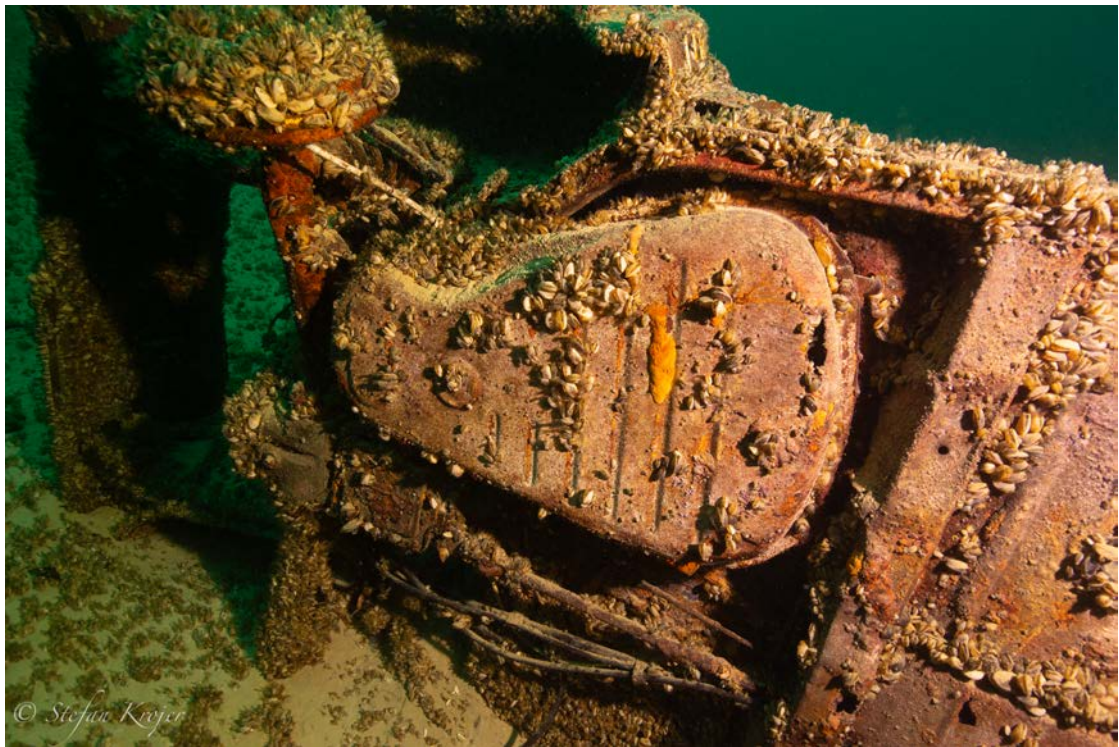


Abb. 4.14.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Benzinwanne (oben).

eine umfassende Fotodokumentation angefertigt, um die Bedeutung nicht-invasiver Prospektionsmethoden insbesondere im Hinblick auf denkmalpflegerische Aspekte hervorzuheben und zu veranschaulichen.

Eine eindeutige Identifizierung des Objekts als Renault Dauphine konnte aufgrund charakteristischer Merkmale dieses speziellen Fahrzeugtyps vorgenommen werden. Zu den relevanten Identifikationsmerkmalen zählen die markanten Frontscheinwerfer (Abb. 4.58), die spezifische Benzinwanne (Abb. 4.59) sowie der in Bauform einzigartige Heckbereich (Abb. 4.60) und die Frontscheibe (Abb. 4.16). Die ursprüngliche Lackierung des Fahrzeugs ist rot. Der Kofferraum, erkennbar am oben links in der Abbildung deutlich sichtbaren Batteriefach (Abb. 4.16), sowie das klassische Gaspedal (Abb. 4.17) wurden ebenfalls zur Identifizierung des Fahrzeugs herangezogen.

Der Erhaltungszustand des Wracks ist aufgrund des Fehlens von Motor und Sitzen insgesamt als schlecht einzustufen. Dennoch weist die übergeordnete Struktur für unterwasserarchäologische Verhältnisse eine vergleichsweise gute Erhaltung auf, was positiv zu bewerten ist. Dieses Wrack dient exemplarisch zur Dokumentation zweier Arten von Beeinflussungen unterwasserarchäologischer Objekte, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden.

Zum einen unterliegt das Wrack signifikanten Veränderungen durch Umwelteinflüsse.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.15.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Heckbereich mit entferntem Motor.

Die Analyse der strukturellen Veränderungen der Oberfläche im Zeitraum von 2019 (Abb. 4.18) über Januar 2024 (Abb. 4.19) bis Januar 2025 (Abb. 4.20, 4.21) zeigt eine deutliche Zunahme des Befalls durch Quagga-Muscheln. Dieser Befall führt dazu, dass Kleinststrukturen nicht mehr erkennbar sind und eine detaillierte unterwasserarchäologische Untersuchung ohne Zerstörung des Objekts nicht mehr möglich ist, sollte es weiterhin unter Wasser verbleiben.

Darüber hinaus konnte eine Beeinträchtigung durch menschliche Einflüsse dokumentiert werden. Wie in den Abbildungen 4.22 und 4.23 ersichtlich, wurde eine der Fahrzeugtüren etwa 10 Meter westlich vom ursprünglichen Standort entfernt. Solche Bewegungen können in dieser Tiefe nur durch menschliches Zutun verursacht worden sein. Dies stellt einen weiteren Indikator dar, wie stark unterwasser liegende Kulturgüter – wie in diesem Fall das Wrack – bedroht sind. Es verdeutlicht die Notwendigkeit eines gezielten Schutzes, um den Erhalt dieser Kulturgüter sicherzustellen.

4. Ergebnisse

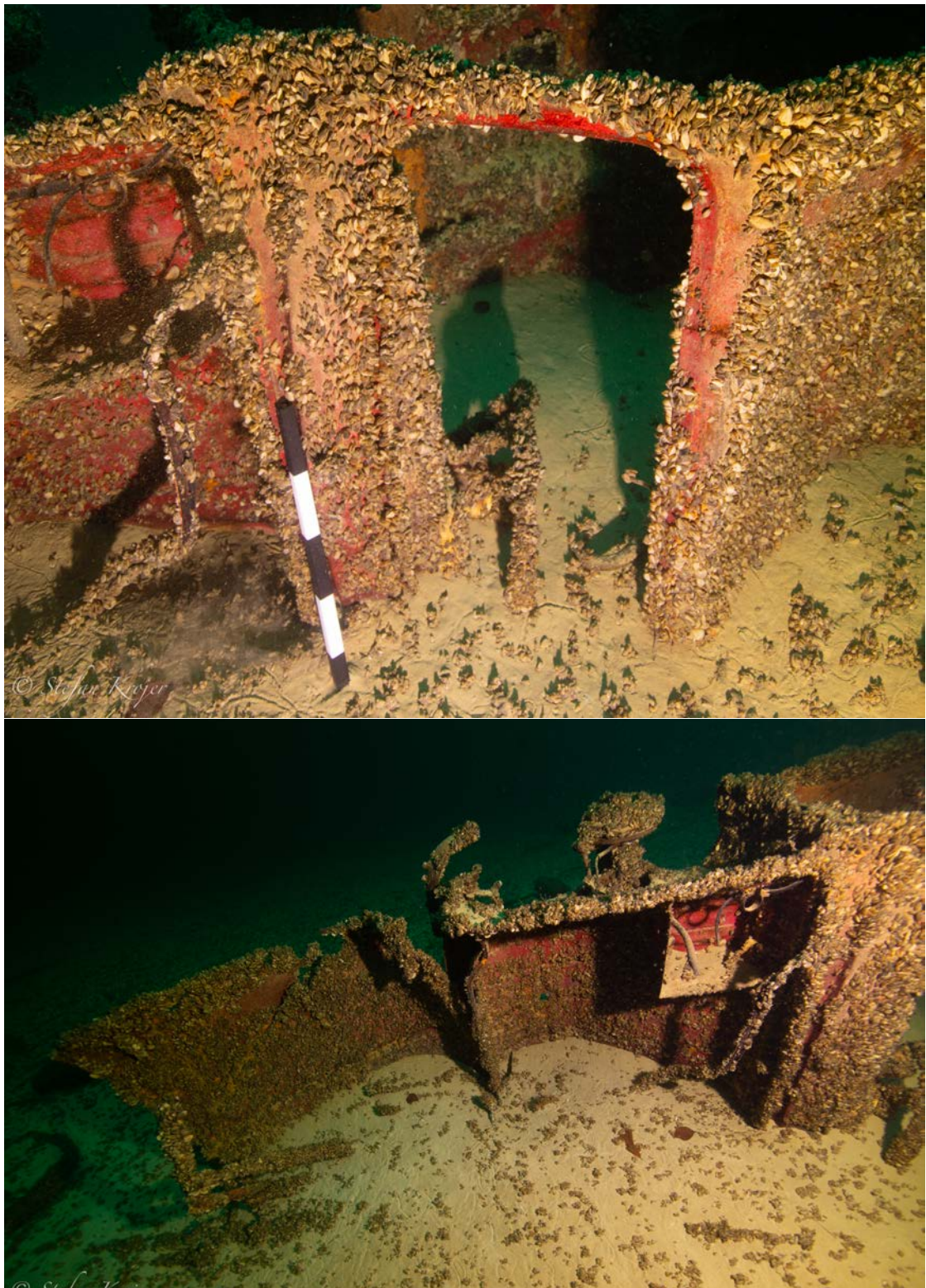


Abb. 4.16.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Frontbereich mit fehlender Frontscheibe (oben), und Kofferraum im Frontbereich des Fahrzeugs mit Batteriefach im oberen rechten Bereich (unten).

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.17.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Gaspedal.

4. Ergebnisse



Abb. 4.18.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Zustand 2019.



Abb. 4.19.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, zunehmender Quagga-Muschelbefall, Zustand im Januar 2024.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.20.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Frontbereich, starker Quagga-Muschelbefall, Zustand im Januar 2025.

4. Ergebnisse

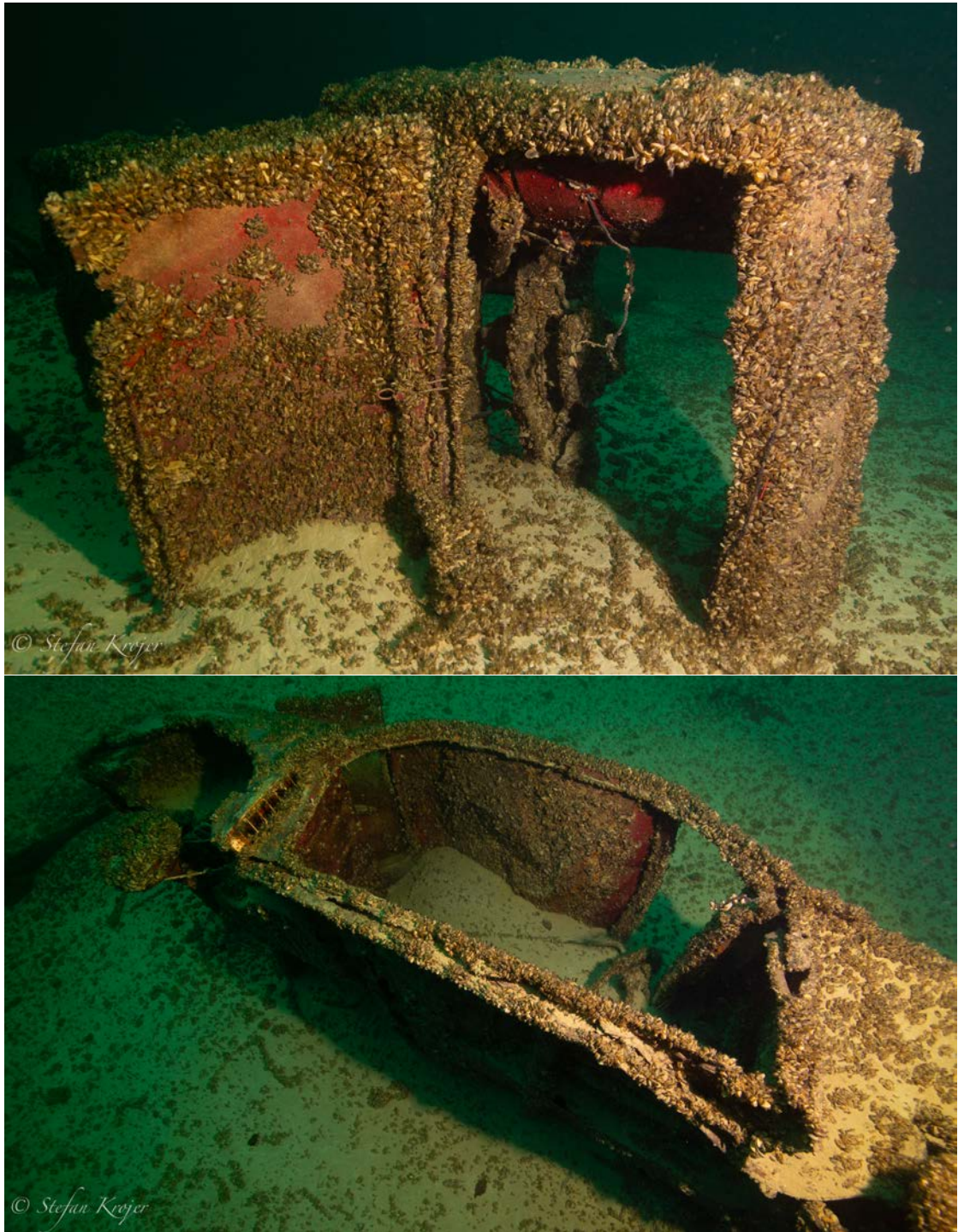


Abb. 4.21.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, mit starkem Quagga-Muschelbefall, Zustand im Januar 2025. Heckbereich (oben) und Oberansicht (unten).

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.22.: Foto: Attersee – Renault Dauphine, Fahrzeugtür am Wrack angelehnt, Zustand im Januar 2019.

4. Ergebnisse

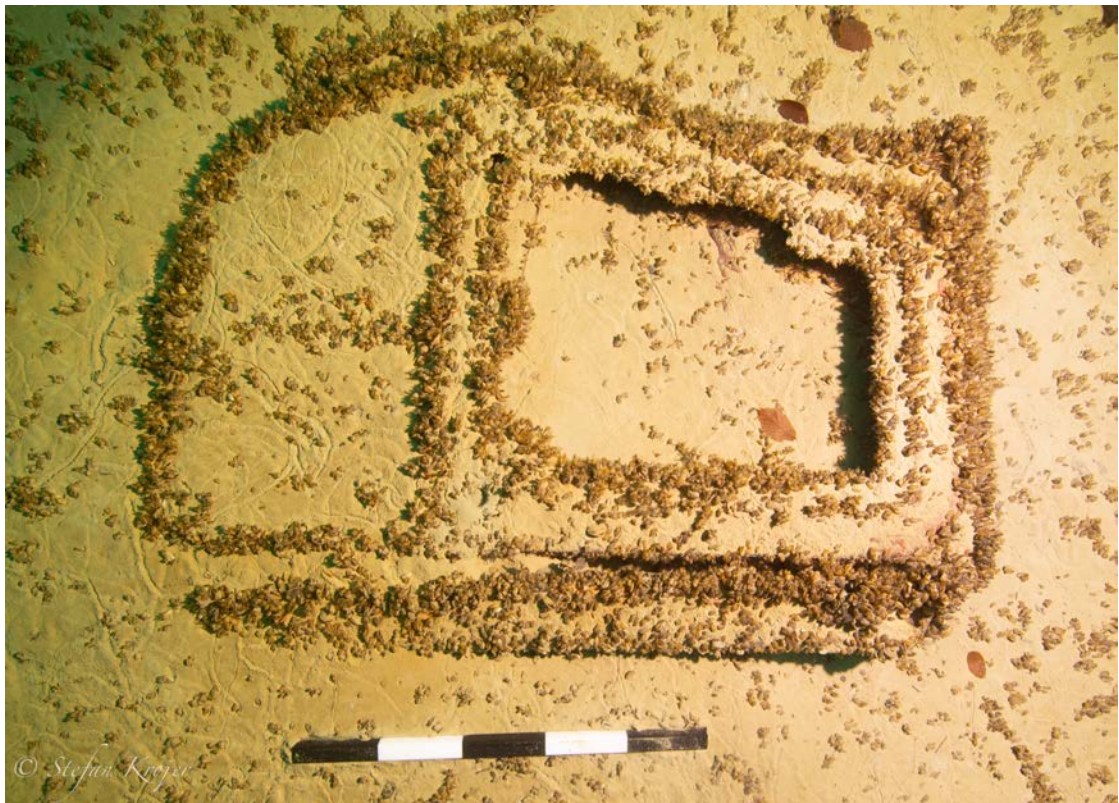


Abb. 4.23.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Fahrzeugtüre etwa 10 Meter entfernt vom Wrack, Zustand im Januar 2025.

Steyr 50 (Attersee)

Im südlichen Bereich des Attersees, in einer Tiefe von 63 Metern, liegt das Wrack eines Steyr 50 (Abb. 4.24), das als eindruckliches Beispiel für strukturelle Veränderungen von Fundobjekten unabhängig von der Wassertiefe dient. Dieses Wrack verdeutlicht, dass Faktoren wie Korrosion, Sedimentation, biologische Aktivität sowie physikalische Prozesse in allen Tiefenbereichen zu signifikanten Veränderungen an archäologischen Objekten führen können. Besonders bemerkenswert ist der Befall durch die invasive Quagga-Muschel, die selbst in dieser Tiefe das Wrack überzieht und somit zu einer strukturellen Veränderung des Objekts führt (Abb. 4.25).

Hinzukommen die Auswirkungen anthropogener Einflüsse. Bis vor wenigen Jahren waren am Wrack noch kleine Details wie das Lenkrad, die Nummerntafeln und andere Bauteile erhalten. Diese sind jedoch mittlerweile unwiederbringlich durch Vandalismus zerstört, obwohl sich das Wrack in einer Tiefe von über 60 Metern befindet. Die Idee, Funde zu ihrem Schutz aus flachen Wasserbereichen in tiefere Regionen zu verbringen, erscheint vor diesem Hintergrund problematisch, da auch dort sowohl natürliche als auch anthropogene Einflüsse degradierende Effekte hervorrufen können.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.24.: Foto: Attersee, Steyr 50, Zustand 2020. © C. Kotrc



Abb. 4.25.: Foto: Attersee, Steyr 50, Zustand 2024. © R. Wagner

Dieses Beispiel unterstreicht die Bedeutung von Schutzmaßnahmen direkt am Fundort und die Notwendigkeit eines differenzierten Umgangs mit Fundobjekten, um irreversible Verluste zu verhindern.

4. Ergebnisse

Flugzeugzusatztank (Attersee)

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurde ein bemerkenswerter Fund in den Tiefen des Attersees entdeckt (Abb. 4.26), dokumentiert und dem Bundesdenkmalamt gemeldet: ein Flugzeug-Zusatztank amerikanischer Bauart, identifiziert als ein 75 Gallon External Jettison Auxiliary Fuel Tank (siehe Abb. 4.27). Dieser Fund, mutmaßlich aus der Zeit während oder unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg stammend, ist ein gutes Beispiel für die Vorteile der großflächigen unterwasserarchäologischen Prospektion. Er zeigt nicht nur das Potenzial österreichischer Gewässer für neue Funde und Erkenntnisse, sondern unterstreicht insbesondere die Bedeutung der bislang weitgehend unerforschten Tiefenbereiche.

Zur Identifizierung des Tanks wurden zum einen die Abmessungen des aus dem Seeboden herausragenden sichtbaren Bereichs herangezogen, sowie die Aufhängevorrichtung und die Zu- bzw. Entnahmeöffnungen für Treibstoff und Luft. Neben der Einmessung und Dokumentation des Tanks wurde ein kontinuierliches Monitoring empfohlen, um den Zustand des Fundes zu überwachen und Veränderungen festzuhalten. Die Entdeckung und Identifizierung dieses Zusatztanks liefert historisch relevantes Material, das Aufschluss über Transport- und Flugrouten im 20. Jahrhundert geben könnte. Im Kontext der UNESCO-Konvention zum Schutz des Unterwasser-Kulturerbes, die sich auf Funde von über 100 Jahren Alter bezieht, erlangen solche Objekte zunehmende Bedeutung.

Eine besondere Herausforderung stellen die strukturellen Veränderungen durch den Befall mit Quagga-Muscheln dar, die auch diesen Fund betrifft. Diese invasive Muschelart verändert die Oberfläche des Tanks erheblich, wodurch einerseits ein Schutz vor weiterer



Abb. 4.26.: Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand Januar 2025.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.27.: Foto: P-51 mit Zusatztank, © IWM.

Korrosion entstehen könnte, andererseits aber das Material durch chemische Prozesse angegriffen wird. Diese doppelte Rolle der Quagga-Muschel – schützend und zerstörend zugleich – eröffnet eine kontroverse Diskussion über die langfristigen Auswirkungen auf unter Wasser liegende Objekte. Wie aus den Abbildungen 4.28 und 4.29 ersichtlich, hat sich die strukturelle Erscheinung des Fundes seit 2020 deutlich verändert, was die Herausforderung unterstreicht, solche Objekte zu bewahren oder zumindest detailliert zu dokumentieren. Sicher ist jedoch, dass wir durch die fortschreitende Besiedelung solcher Funde mit Muscheln und durch den Verlust unberührter Fundstellen wertvolle Möglichkeiten verlieren, solche Funde in ihrem unveränderten Zustand zu entdecken und zu untersuchen.

Der Fund des Zusatztanks demonstriert eindrücklich, welchen Nutzen großflächige Unterwasserprospektionen haben und wie dringend solche Maßnahmen für die archäologische Erforschung österreichischer Gewässer sind.

4. Ergebnisse



Abb. 4.28.: Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand 2020.



Abb. 4.29.: Foto: Attersee, Flugzeugzusatztank, Zustand im Januar 2025.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

Fernschreiber Lo 15 (Attersee)

Zwei mutmaßlich von der Wehrmacht genutzte Fernschreiber wurden 2021 durch den Verfasser während eines privaten technischen Tauchgangs im Attersee entdeckt, dokumentiert, und dem Bundesdenkmalamt gemeldet. Einer der Fernschreiber konnte als Blattschreiber Lo 15 identifiziert werden (Abb. 4.30), hergestellt von der C. Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof. Diese Entdeckung, die nicht im Rahmen einer gezielten unterwasserarchäologischen Erkundung gemacht wurde, zeigt die Bedeutung der Einbindung von technischen Tauchern und Taucherinnen, die speziell für archäologische Surveys geschult werden. Solche Initiativen könnten einen erheblichen Beitrag zur großflächigen Prospektion leisten und das Potenzial bisher unerforschter Gebiete erschließen.

Die Identifizierung des Lo 15 war aufgrund der deutlich erkennbaren Bereichskennzeichnung und Seriennummer unkompliziert (Abb. 4.31). Im Jahr 2022 zeigte sich die Oberfläche des Fernschreibers vollständig freigelegt, wodurch die Struktur bis hin zur detaillierten Beschriftung der Tasten eindeutig dokumentiert und analysiert werden konnte. Der Blattschreiber Lo 15, ein technologisches Relikt aus der Zeit des Zweiten Weltkriegs, ist ein besonders aufschlussreicher Fund. Die Identifizierung der Seriennummer bietet die Möglichkeit, den Produktionsstandort sowie die ursprüngliche Stationierung des Geräts nachzuvollziehen. Dies eröffnet weitreichende Perspektiven, auch in Hinblick auf die KZ-Archäologie, da Teile solcher Geräte häufig in Zwangsarbeitsstätten gefertigt wurden. Der Fund unterstreicht die Verbindungen zwischen Unterwasserfunden und historischen Produktions- und Nutzungsorten.



Abb. 4.30.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand 2021.

4. Ergebnisse



Abb. 4.31.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Seriennummer.

Beide Geräte illustrieren zudem die Auswirkungen sowohl natürlicher als auch anthropogener Einflüsse. Der in Abb. 4.32 dargestellte Lo 15 (Zustand Januar 2024) wurde nachweislich bewegt, vermutlich mit dem Ziel, ihn zu bergen. Eine sichtbare Schleifspur am Seeboden zeugt von diesen Versuchen, die offenbar an seinem hohen Gewicht scheiterten. Durch die Reinigung unter Wasser ist dieser Fernschreiber zusätzlich von menschlicher Intervention betroffen. Der Befall durch die Quagga-Muschel spielt hier eine doppelte Rolle: Einerseits bildet die Muschelschicht eine Art Schutz vor weiteren menschlichen Eingriffen, andererseits erschwert sie die spätere Identifizierung und Dokumentation des Objektes.

Die Dokumentation vom Januar 2025 (Abb. 4.34) weist auf eine deutliche Zunahme des Quaggamuschelbefalls hin. Auffällig ist zudem das Verschwinden der zuvor sichtbaren Schleifspur (Abb. 4.35), was darauf hindeutet, dass dieser Bereich in einer Tiefe von etwa 19 Metern intensiven Sedimentationsprozessen unterliegt.

Die Bedeutung denkmalpflegerischer Reglementierungen für solche Fundobjekte wird durch diesen Fall besonders deutlich. Die Gefährdung durch unerlaubte Eingriffe ist

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

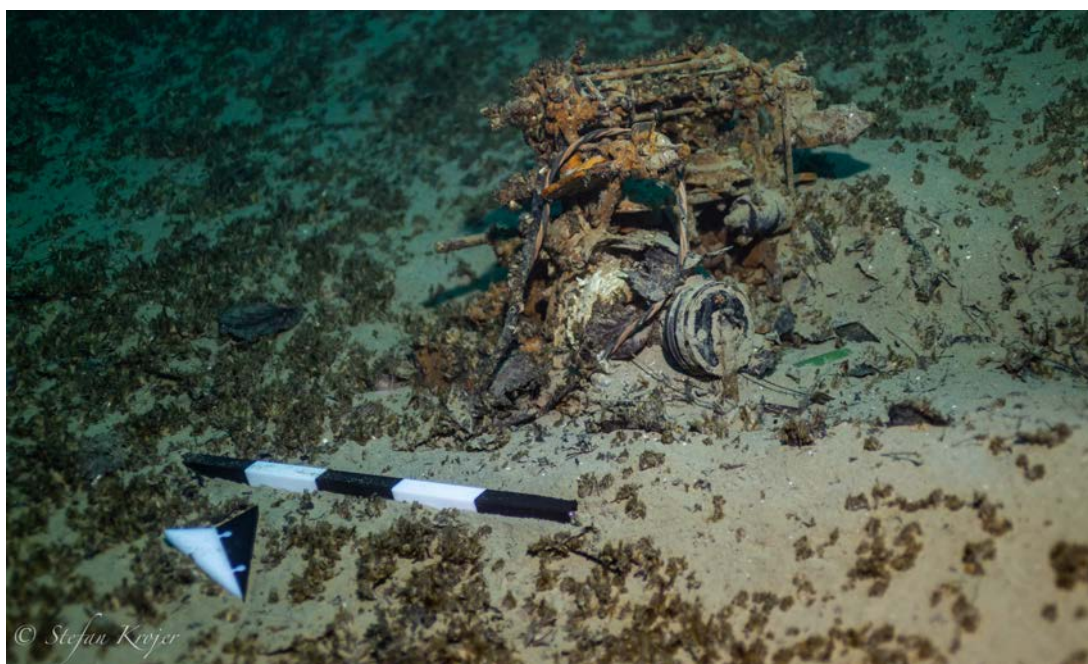


Abb. 4.32.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2024 mit deutlicher Schleifspur im rechten Bereich.

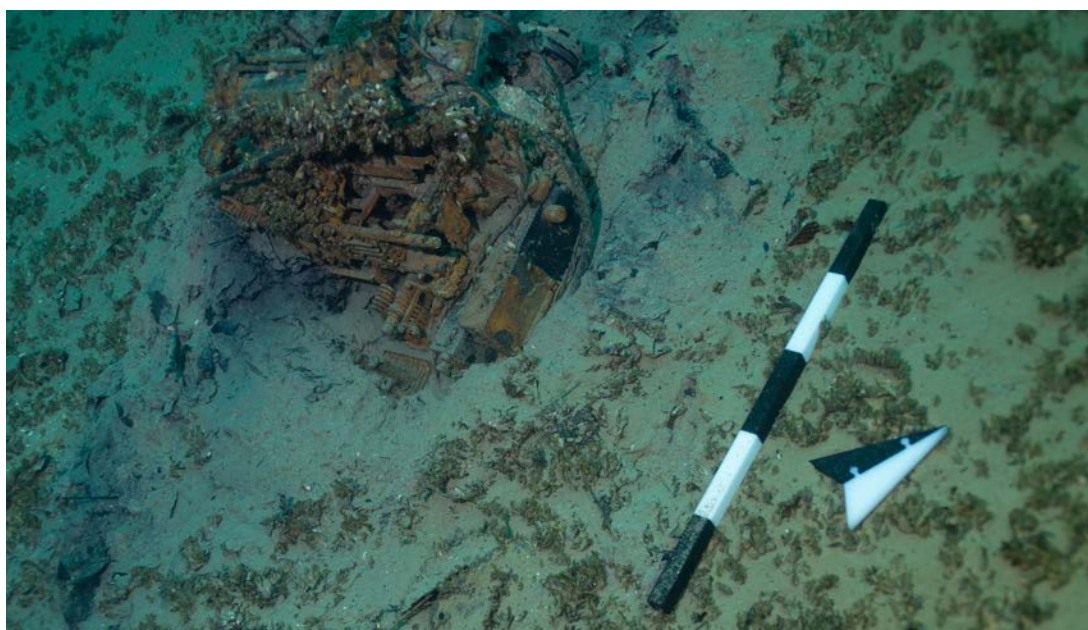


Abb. 4.33.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2024 mit Schleifspur, Orthoperspektive.

4. Ergebnisse



Abb. 4.34.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2025.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

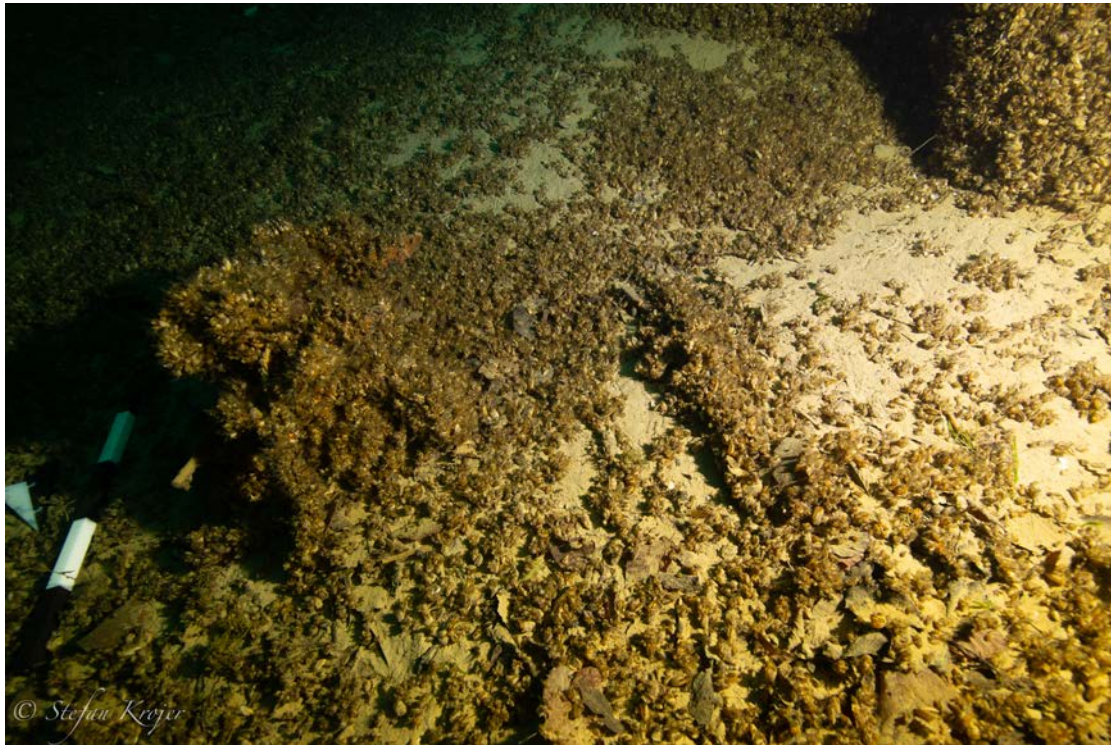


Abb. 4.35.: Foto: Attersee – Fernschreiber Lo 15, Nordprofil mit versedimentierter Schleifspur und starkem Quagga-Muschelbefall.

hoch, und eine mögliche Bergung ist zwar denkbar, scheitert jedoch häufig an den finanziellen Ressourcen. Der zunehmende Befall des hier beschriebenen Lo 15 mit Quagga-Muscheln, der ihn potenziell vor weiteren menschlichen Eingriffen schützt, hat zwei Seiten: Positiv ist, dass die Muschelschicht das Objekt vor direkter Manipulation oder Beschädigung bewahren kann; negativ jedoch, dass ohne regelmäßige Überwachung und genaue Kenntnis seiner Lage der Fernschreiber bald gänzlich verloren sein könnte, da die Muscheln die Identifizierung und Dokumentation erheblich erschweren. Dieser Fund unterstreicht die Dringlichkeit, solche Objekte systematisch zu erfassen, zu dokumentieren und ihre langfristige Sicherung zu gewährleisten.

4. Ergebnisse

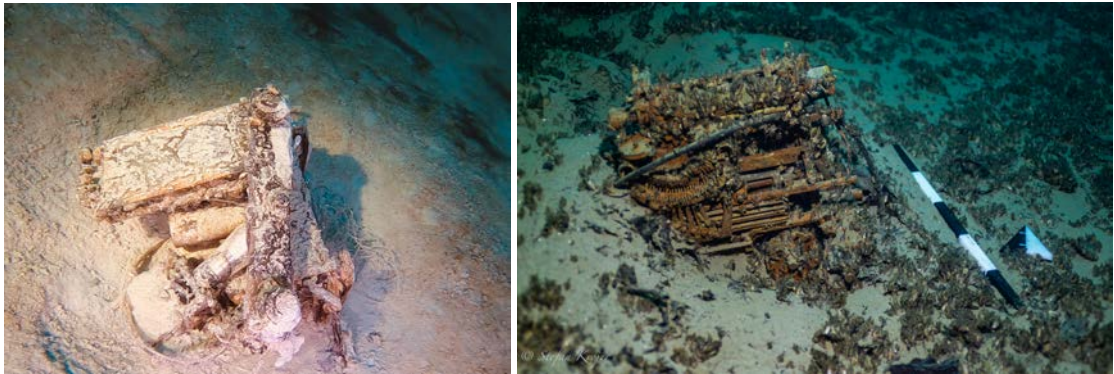


Abb. 4.36.: Foto: Attersee, Fernschreiber L15. Links: Zustand Mai 2021. Rechts: Zustand Januar 2024.

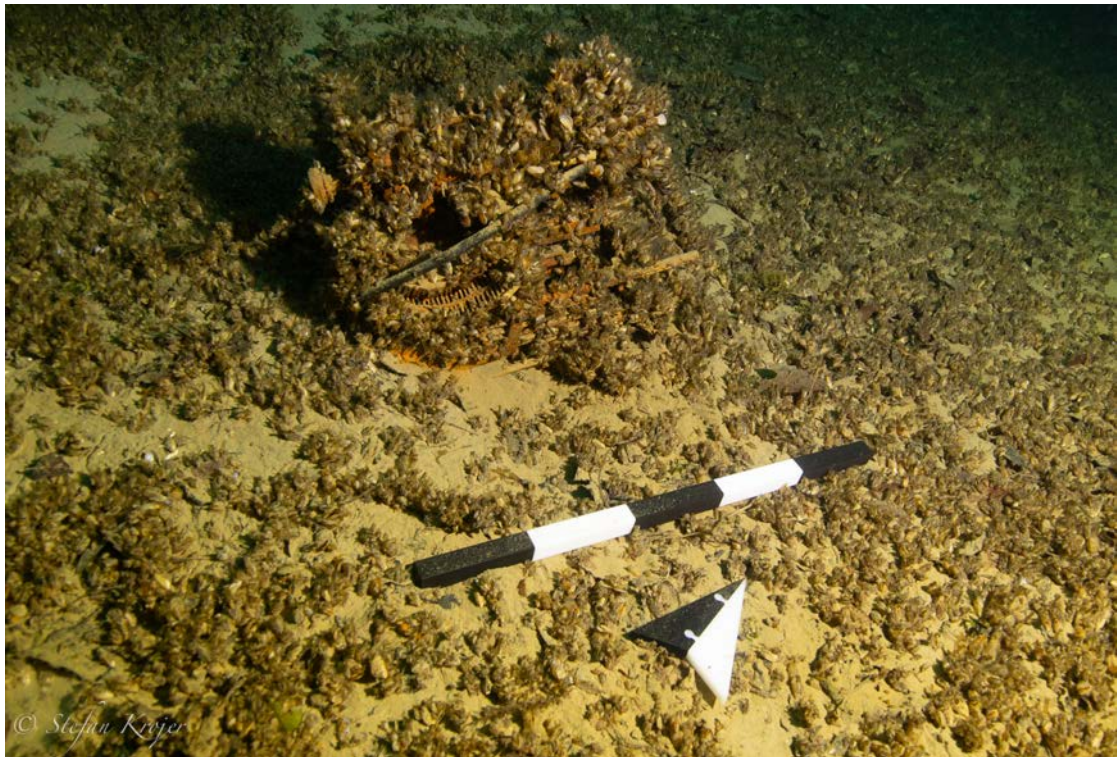


Abb. 4.37.: Foto: Attersee, Fernschreiber Lo 15, Zustand Januar 2025.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

Fernschreiber T36 Lo (Attersee)

Der Fernschreiber T36 Lo wurde ebenfalls 2021 durch den Verfasser entdeckt (Abb. 4.38) und dem Bundesdenkmalamt gemeldet. In direktem Zusammenhang mit dem L15 Lo stehend, verdeutlichen diese beiden Funde durch ihre ursprüngliche Nähe von wenigen Metern ihre kontextuelle Verbindung. Durch nachweisliche Bewegung des L15 Lo sind die beiden Objekte mittlerweile jedoch etwa 40 Meter voneinander entfernt, was ihre gemeinsame Betrachtung im historisch-archäologischen Kontext erschwert. Dieser Fall ist ein prägnantes Beispiel dafür, wie vor allem Umwelteinflüsse und in geringerem Maße anthropogene Faktoren die unterwasserarchäologische Prospektion und Dokumentation beeinflussen können.

Ein zentraler Aspekt bei der Identifizierung des Fernschreibers war die typische Bauweise, insbesondere die markante Form der Tastatur (Abb. 4.39, 4.40, 4.41). Aufgrund des denkmalpflegerischen Ansatzes wurden die beiden Fernschreiber weder bei ihrer Entdeckung im Jahr 2021 durch den Verfasser noch während der weiteren Prospektionen im Rahmen dieser Arbeit physisch berührt oder verändert. Die Bestimmung sowie die Zustandsdokumentation erfolgten daher ausschließlich auf Basis der sichtbaren und zugänglichen Strukturelemente.

Die Untersuchung des T36 Lo zeigt drastische strukturelle Veränderungen, die auf den zunehmenden Befall durch die Quagga-Muschel zurückzuführen sind (Abb. 4.42, 4.43, 4.44). Diese invasive Art hat den Fund mittlerweile vollständig überzogen, sodass eine detaillierte strukturelle Erfassung oder eine genauere Untersuchung stark erschwert bis unmöglich geworden ist. Vergleichsbilder verdeutlichen, wie schnell sich diese



Abb. 4.38.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Mai 2021.

4. Ergebnisse



Abb. 4.39.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Tastatur.



Abb. 4.40.: Foto: Fernschreiber T36 Lo, Tastatur, © kpemig.de.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde



Abb. 4.41.: Foto: Fernschreiber T36 Lo, © kpemig.de.

Veränderungen vollziehen und welche Herausforderungen dies für die unterwasserarchäologische Forschung mit sich bringt.

Bei oberflächlicher Betrachtung, etwa im Rahmen eines Surveys, wäre der Fund heute nicht mehr als solcher erkennbar. Die dichte Muschelbedeckung lässt solche Objekte regelrecht verschwinden und macht es praktisch unmöglich, sie erneut zu lokalisieren. Viele ähnliche Funde sind durch diese Umstände bereits unwiederbringlich verloren, und selbst als Zufallsfunde würden sie heute kaum mehr entdeckt werden können.

Dieser Fall unterstreicht die dringende Notwendigkeit, die Gewässer Österreichs großflächig und systematisch zu erfassen. Nur durch frühzeitige Prospektion können Funde wie der T36 Lo und der L15 Lo für zukünftige Forschungen dokumentiert und gesichert werden, bevor sie aufgrund natürlicher oder anthropogener Faktoren gänzlich unauffindbar werden.

4. Ergebnisse



Abb. 4.42.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Zustand Januar 2024.

4.2. Beschreibung der identifizierten Strukturen und Funde

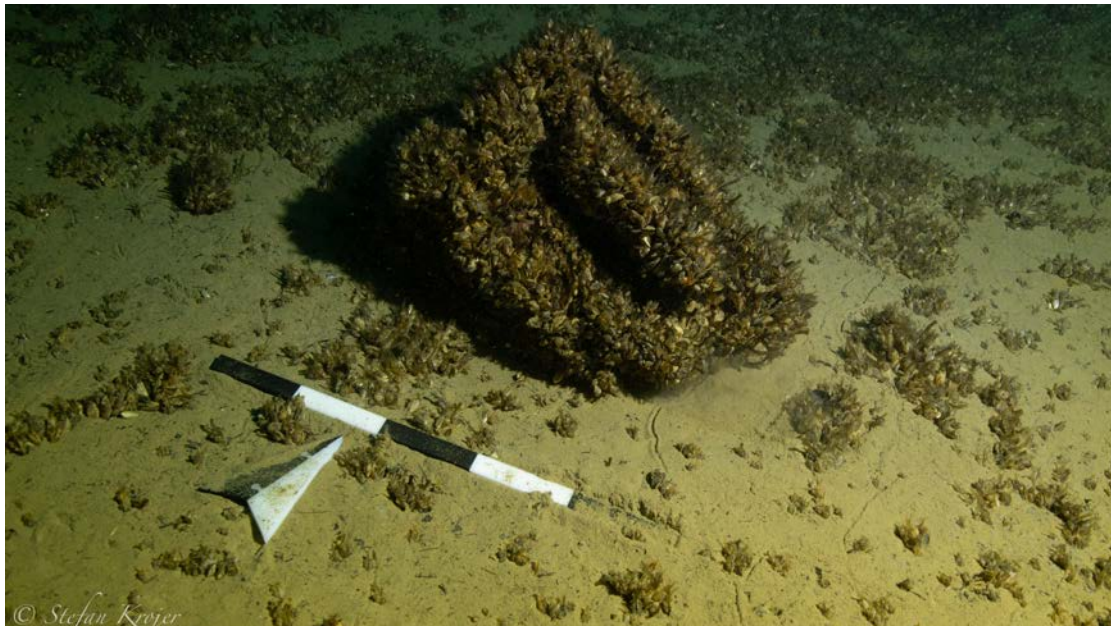


Abb. 4.43.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Zustand Januar 2025.



Abb. 4.44.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, massiver Quagga-Muschelbefall und keine strukturelle Erkennbarkeit, Zustand Januar 2025.

4. Ergebnisse

Einbaum (Attersee)

Im Jahr 2017 wurde im Attersee ein Einbaum entdeckt (Abb. 4.45), welcher bislang der einzige bekannte Fund dieser Art in diesem Gewässer ist. Angesichts der großen Anzahl an Pfahlbausiedlungen in der Region ist es jedoch sehr unwahrscheinlich, dass keine weiteren Einbäume existieren sollten. Daher wird es als notwendig angesehen, großflächige unterwasserarchäologische Prospektionen durchzuführen und Verdachtsstellen gezielt durch Forschungstaucher:innen zu untersuchen. Durch die erneute Betauchung durch den Verfasser konnten die gravierenden strukturellen Unterschiede, die durch Umwelteinflüsse und insbesondere durch den Befall mit Quagga-Muscheln verursacht wurden, deutlich hervorgehoben werden (Abb. 4.47, 4.48).

Der Einbaum ist ein eindrückliches Beispiel für die problematische Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die strukturelle Veränderung von Funden, selbst in größeren Tiefen – der Einbaum liegt etwa in 18 Metern Tiefe. Erschwerend kommt hier das Grundmaterial Holz hinzu, das durch die Quagga-Muschel entweder direkt beschädigt oder so strukturell verändert wird, dass der gesamte Fund unter seinem eigenen Gewicht zusammenbrechen könnte. Abbildungen von 2017 zeigen den Einbaum noch in ausgezeichnetem Zustand mit klar erkennbarer Struktur (Abb. 4.46), wie auch im damaligen Fundbericht dokumentiert. Dieser verweist zudem auf Nägel im Holz sowie



Abb. 4.45.: Foto: Attersee, Einbaum, Zustand 2024.

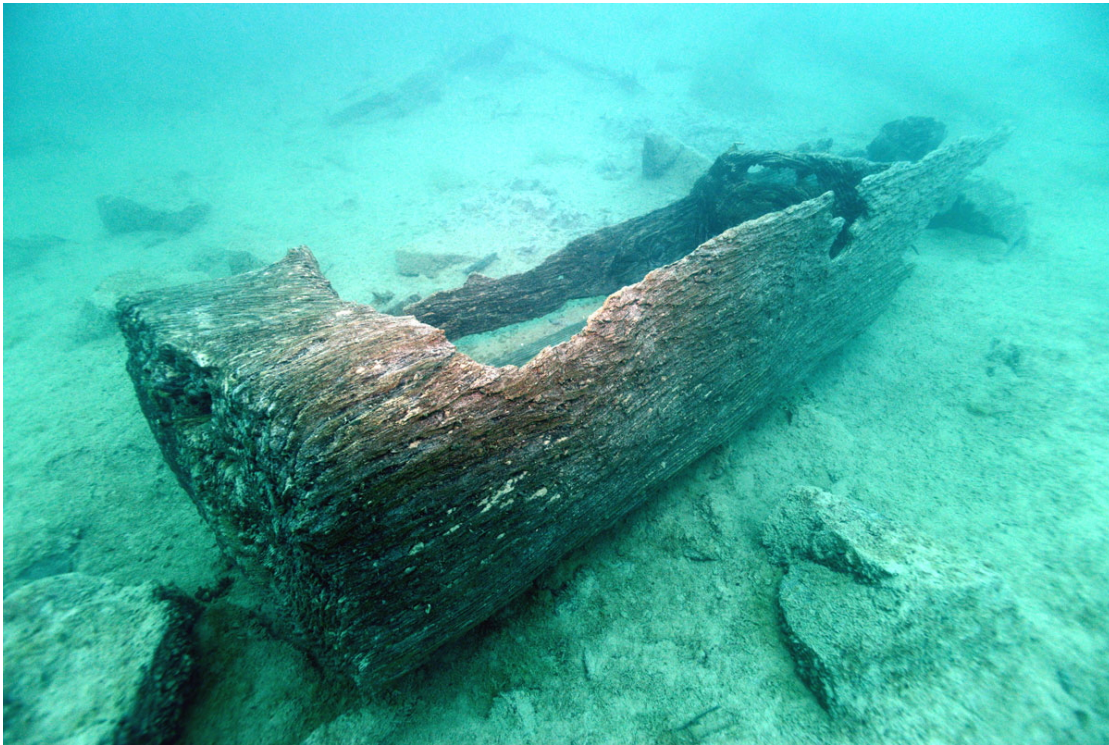


Abb. 4.46.: Foto: Attersee, Einbaum, 2017, kein Quagga-Muschelbefall. © Kuratorium Pfahlbauten.

auf einen Steinanker, der sich unmittelbar neben dem Einbaum befand. Diese Details sind im Jahr 2024 jedoch nicht mehr zu erkennen, wie die aktuellen Abbildungen eindrücklich belegen. Jegliche strukturelle Erfassung und Untersuchung solcher Details ist mittlerweile nicht mehr möglich.

Die fortschreitende strukturelle Veränderung hat eine Situation geschaffen, in der selbst bei bereits bekannten Funden eine weitere Erforschung nicht mehr realisierbar ist. Wenn davon auszugehen ist, dass sich in den Gewässern der Region noch weitere Einbäume befinden, die einen erheblichen wissenschaftlichen Wert besitzen könnten, ist rasches Handeln erforderlich. Nur durch systematische und großflächige unterwasserarchäologische Prospektionen können solche bedeutenden Funde rechtzeitig identifiziert, dokumentiert, und langfristig für die Forschung erhalten werden.

4.3. Einzelobjekt-basierte 3D-Dokumentation

Ein zentraler Schwerpunkt der vorliegenden Masterarbeit lag auf der wissenschaftlichen Erfassung und Analyse von Einzelfunden mittels moderner 3D-Modellierungstechnologien. Die Anwendung von Image-Based Modelling (IBM)

4. Ergebnisse



Abb. 4.47.: Foto: Attersee, Einbaum, mittlere Trennwand, Februar 2024, starker Muschelbefall der gesamten Struktur.

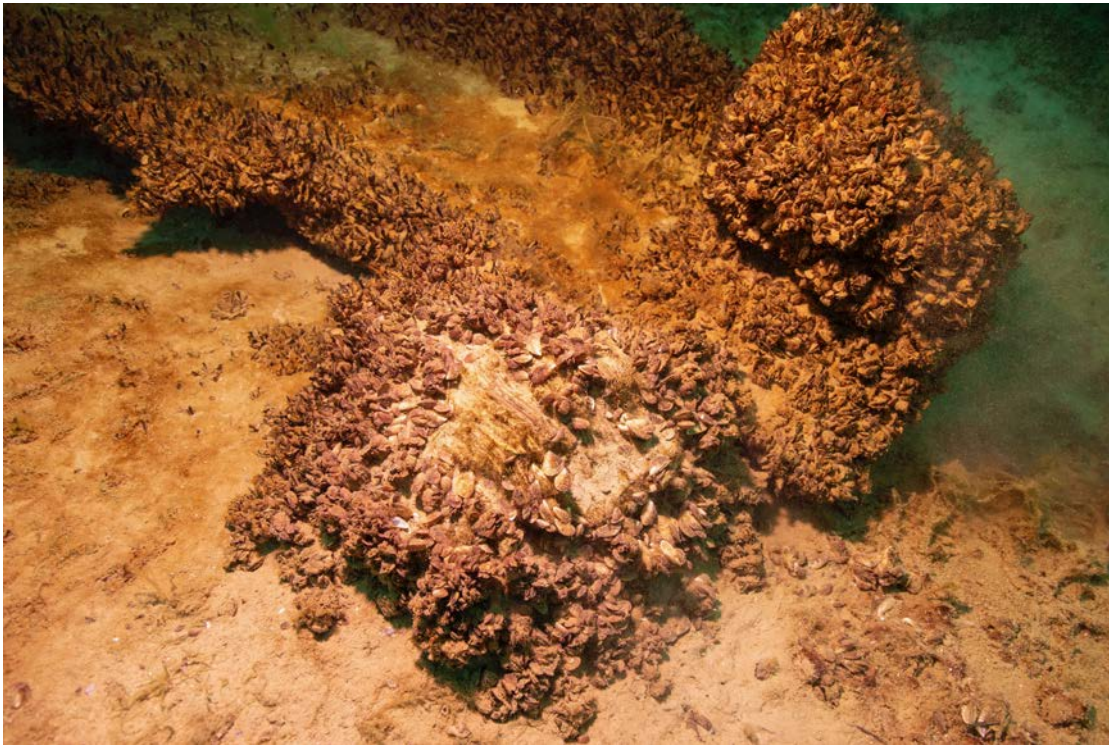


Abb. 4.48.: Foto: Attersee, Einbaum, Juni 2024 – Der vordere Bereich des Einbaums zeigt eine Fragmentierung der Holzstruktur. Die Ursache, ob durch das Gewicht der Quagga-Muscheln oder durch anthropogene Einflüsse, konnte nicht eindeutig bestimmt werden.

ermöglichte es, einzelne archäologische Objekte mit hoher Präzision dreidimensional zu dokumentieren und deren wissenschaftlichen Wert nachhaltig zu sichern. Die daraus resultierenden Daten stellen einen bedeutenden Fortschritt in der österreichischen unterwasserarchäologischen Forschung dar und liefern eine belastbare Grundlage für weiterführende Analysen und Vergleichsstudien.

Die 3D-Modelle bieten eine millimetergenaue Erfassung von Form und Struktur, die nicht nur den aktuellen äußerlichen Erhaltungszustand eines Objekts präzise abbildet, sondern auch eine retrospektive Analyse von Veränderungen ermöglicht. Diese Modelle machen es möglich, die Auswirkungen von biologischen Einflüssen, wie dem Befall durch Quagga-Muscheln, oder von sedimentären Veränderungen systematisch zu dokumentieren. Dadurch können dynamische Prozesse, die den Zustand der Objekte über Zeit beeinflussen, wissenschaftlich analysiert und besser verstanden werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen zudem, wie 3D-Modelle Einzelfunde in einem archäologischen Kontext neu zugänglich machen können. Die digitale Rekonstruktion ermöglicht es, auch bei schwer zugänglichen oder biologisch überdeckten

4. Ergebnisse

Funden wie dem Flugzeug-Zusatztank oder dem Fernschreiber T36 Lo wesentliche Details sichtbar zu machen, die für Identifizierung und Kontextualisierung von entscheidender Bedeutung sein können. Die digitalen Daten schaffen so die Grundlage für eine nachhaltige Integration in moderne Monitoring-Systeme und in die langfristige Denkmalpflege.

Darüber hinaus bieten die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Modelle die Möglichkeit, digitale Archive aufzubauen, die weltweit zugänglich sind. Diese Archive könnten zukünftig als repräsentative Datenbasis für vergleichbare archäologische Fundstellen dienen und die wissenschaftliche Zusammenarbeit erleichtern. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Masterarbeit, dass die 3D-Dokumentation von Einzelfunden nicht nur ein wertvolles Werkzeug zur wissenschaftlichen Dokumentation und Analyse darstellt, sondern auch neue Perspektiven für die archäologische Forschung und den langfristigen Schutz des Unterwasser-Kulturerbes eröffnet.

4.3.1. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Einbaums aus Weyregg

Die Erstellung eines photogrammetrischen 3D-Modells des Einbaums aus Weyregg (Abb. 4.49) stellte einen entscheidenden Schritt zur umfassenden Dokumentation und wissenschaftlichen Analyse dieses Fundes dar. Mithilfe der Image-Based-Modelling Technologie wurden hochauflösende Aufnahmen des Fundes verarbeitet, um ein detailliertes digitales 3D-Modell zu erzeugen, das die verbliebenen Strukturen des Einbaums präzise abbildet. Der in 18 Metern Tiefe liegende Einbaum wies zum Zeitpunkt der



Abb. 4.49.: 3D-Modell: Attersee, Einbaum, Aufsicht.

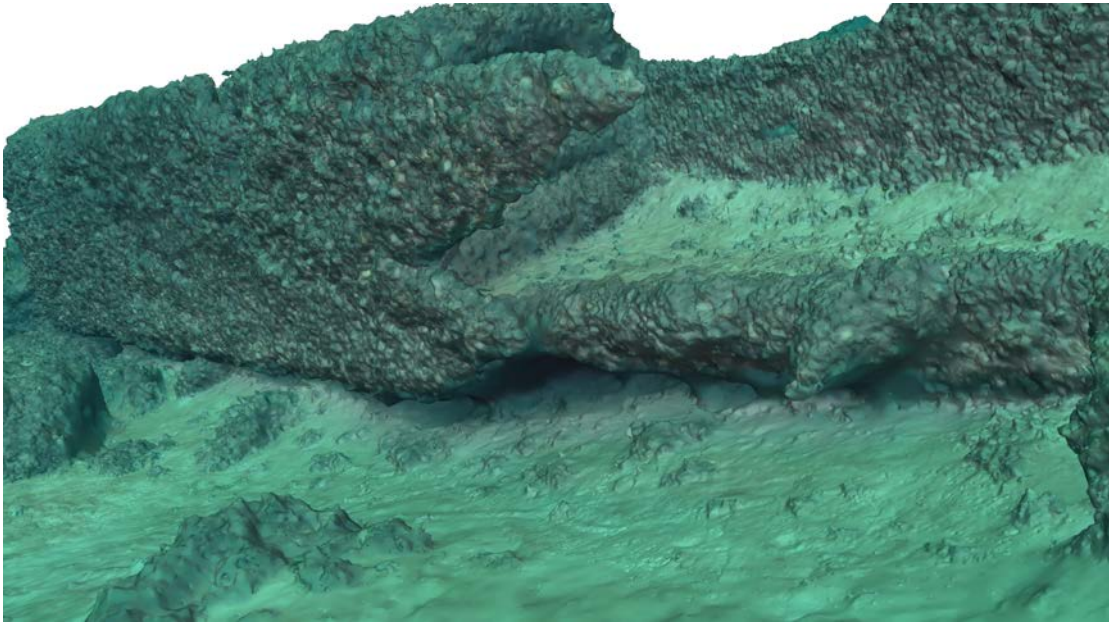


Abb. 4.50.: 3D-Modell: Attersee, Einbaum, Quagga-Muschelbefall.

Modellierung deutliche Spuren natürlicher Verfallsprozesse sowie erhebliche Schäden durch den Befall mit der invasiven Quagga-Muschel auf (Abb. 4.50, 4.51).

Das Modell zeigte den erhaltenen hinteren Abschnitt des Einbaums, der rund drei Meter lang und 0,8 Meter breit ist, wobei die ursprüngliche Gesamtlänge des Bootes auf sechs bis acht Meter geschätzt wird. Zwar waren der massive Heckblock und die mittlere Trennwand noch gut sichtbar, doch feinere Details wie die ursprünglich dokumentierten Nägel im Holz und der nahegelegene Steinanker waren infolge des dichten Quagga-Muschelbefalls bereits nicht mehr erkennbar. Die Muscheln hatten sowohl die Oberfläche des Holzes als auch die Ankerstruktur vollständig überdeckt, was die Möglichkeit einer weiteren direkten 3D-Modellierung dieser Elemente stark einschränkt.

Die photogrammetrische Modellierung erfasste den aktuellen Zustand des Einbaums mit einer hohen Genauigkeit und lieferte eine Momentaufnahme, die wichtige Informationen über die verbleibende Struktur und die fortschreitenden Veränderungen bietet. Durch das Modell konnte die fortschreitende Fragmentierung der Bordwände und die Schwächung der mittleren Trennwand dokumentiert werden. Dies verdeutlicht nicht nur die negativen Auswirkungen des Quagga-Muschelbefalls, sondern auch die Dringlichkeit, solche Funde rechtzeitig zu dokumentieren, bevor weitere Einzelheiten unwiederbringlich verloren gehen.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Modells sind vielfältig. Es bietet eine wertvolle Grundlage für die langfristige Überwachung des Fundes und die Analyse fort-

4. Ergebnisse

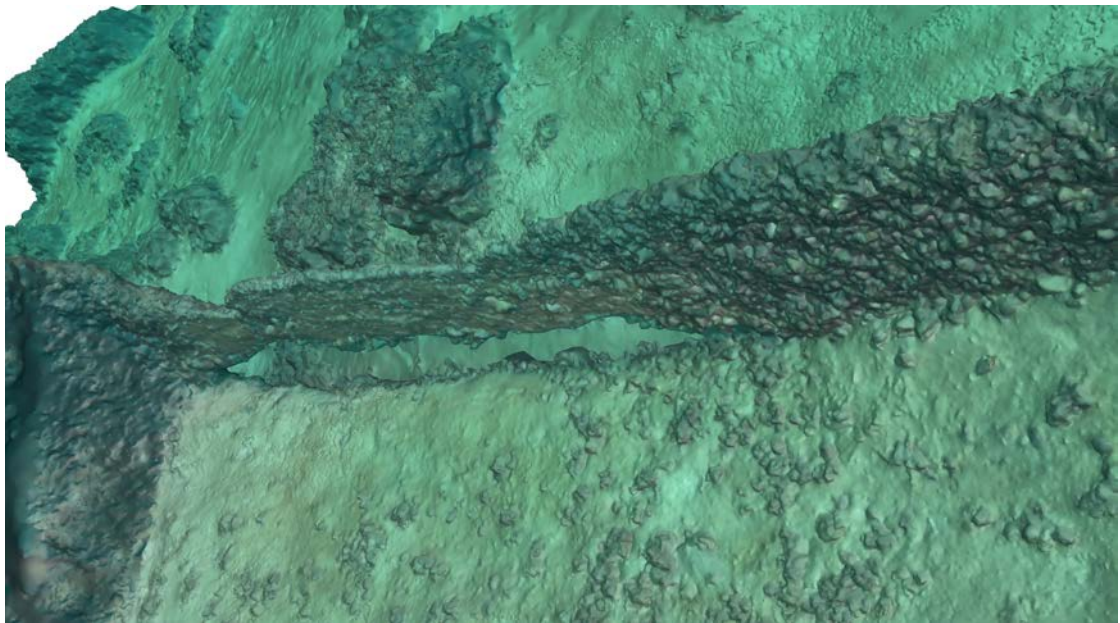


Abb. 4.51.: 3D-Modell: Attersee, Einbaum, Bordwand mit Degradation und Quagga-Muschelbefall.

schreitender Erosion und Materialabbaus. Die millimetergenaue Erfassung erlaubt es, Veränderungen retrospektiv zu bewerten und dient damit der langfristigen Denkmalpflege. Das 3D-Modell steht dem Bundesdenkmalamt georeferenziert zur Verfügung und könnte Teil einer österreichweiten Datenbank werden, die zukünftig alle wichtigen unterwasserarchäologischen Fundstellen digital archiviert. Diese georeferenzierten Modelle könnten auch genutzt werden, um den Zustand anderer Funde zu vergleichen und spezifische Gefährdungen, etwa durch biologische oder anthropogene Einflüsse, systematisch zu bewerten.

Darüber hinaus liefert das Modell eine visuelle Grundlage für die öffentliche Vermittlung und die Sensibilisierung für den Schutz des Unterwasser-Kulturerbes. Die Möglichkeit, den Einbaum virtuell zu präsentieren, eröffnet neue Perspektiven in der Bildungsarbeit und trägt dazu bei, das Bewusstsein für die Bedeutung solcher Funde und die Herausforderungen ihrer Erhaltung zu schärfen.

4.3.2. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Fernschreibers L15 Lo

Die photogrammetrische 3D-Modellierung des im Attersee gefundenen Fernschreibers L15 Lo (Abb. 4.52) ermöglichte eine präzise Dokumentation seines Zustands und der durch Umwelteinflüsse und anthropogene Einwirkungen verursachten Veränderungen. Der Fund, der in einer Tiefe von etwa 19 Metern entdeckt wurde, zeigte zum Zeitpunkt der Modellierung 2024 eine auffällige Schleifspur am Seegrund (Abb. 4.53). Diese Spur

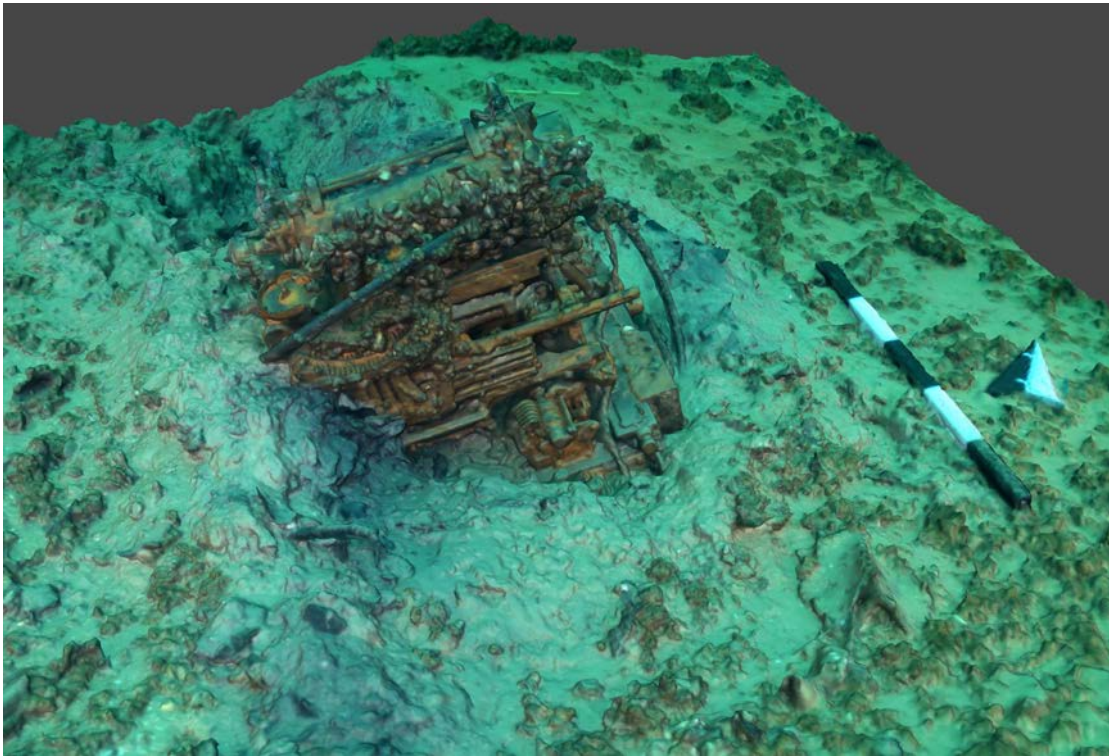


Abb. 4.52.: 3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Süd-Profil.

wurde durch Versuche verursacht, den Fernschreiber zu bergen, was das Modell deutlich dokumentiert. Diese anthropogene Einflussnahme, die dem Fund offensichtlich in den Monaten nach seiner Entdeckung 2021 widerfahren ist, konnte so erstmals nachweislich festgehalten werden.

Ein weiterer zentraler Aspekt des Modells war die Erfassung des starken Quagga-Muschelbefalls, der sich als bedeutender Einfluss auf den Fernschreiber herausstellte (Abb. 4.54). Die Muschelschicht bedeckte große Teile des Geräts, einschließlich der Tasten und der Seriennummer, was die direkte Sichtbarkeit und detaillierte Untersuchung dieser Bereiche stark einschränkt. Gleichzeitig zeigte das Modell, wie diese biologische Überwucherung eine Art „Tarnung“ vor weiteren menschlichen Eingriffen bot. Die Dokumentation im Januar 2025 bestätigte, dass der Fund in den letzten Jahren keinen weiteren anthropogenen Einflüssen ausgesetzt war. Dies unterstreicht die paradoxe Rolle des Muschelbefalls als Schutzmechanismus vor menschlicher Manipulation.

Die durch das Modell dokumentierte Sedimentation des Fundortes zeigt zudem, dass der Fernschreiber allmählich unter einer zunehmenden Sedimentschicht verschwindet. Das Verschwinden der Schleifspur, die 2024 noch sichtbar war, deutet auf eine rasche Überlagerung durch Sedimente hin. Diese Prozesse können die künftige Auffindbarkeit und Untersuchung des Objekts erheblich erschweren, und verdeutlichen die Bedeutung

4. Ergebnisse

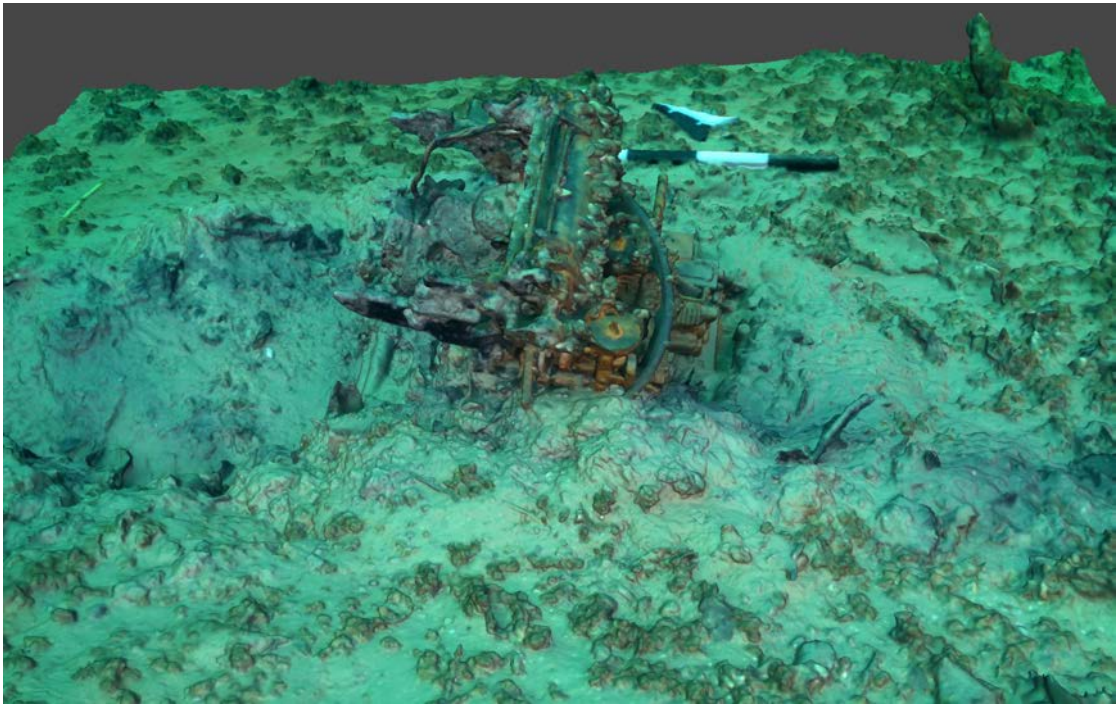


Abb. 4.53.: 3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Schleifspur durch Plünderungsversuch in nördlicher und südlicher Richtung.

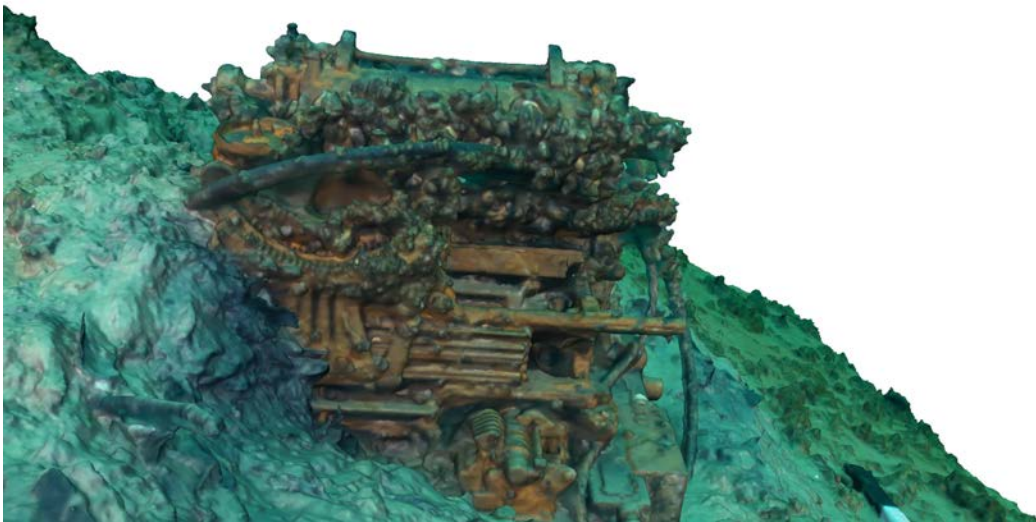


Abb. 4.54.: 3D-Modell: Attersee, Fernschreiber L15 Lo, Quagga-Muschelbefall.

der rechtzeitigen Dokumentation solcher Funde durch moderne Technologien wie Image-Based-Modelling.

4.3.3. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Fernschreibers T36 Lo

Die photogrammetrische 3D-Modellierung des Fernschreibers T36 Lo (Abb. 4.55, 4.56) verdeutlichte die Auswirkungen des massiven Befalls durch die invasive Quagga-Muschel, die das Objekt vollständig überzogen hat. Im Vergleich zu Aufnahmen aus dem Jahr 2021 (Abb. 4.38) zeigt das Modell, dass zum Zeitpunkt der 3D-Modellierung keine charakteristischen Merkmale oder Strukturen mehr direkt erkennbar waren. Der gesamte Fernschreiber war bei der Erstellung des Modells so stark mit Muscheln bedeckt, dass seine Form und Struktur nur mithilfe des Wissens, dass es sich um einen Fernschreiber handelt, rekonstruiert werden konnten. Sichtbare Details, die für die Identifizierung wichtig gewesen wären, wie etwa die Tastatur oder Gehäuseelemente, waren vollständig verdeckt.

Das Modell zeigt eindrücklich, wie die Überwucherung durch Quagga-Muscheln nicht nur den direkten Zugang zu einem Fund einschränkt, sondern das Objekt effektiv „unsichtbar“ macht. Im Gegensatz zum vorherigen Fernschreiber L15 Lo, der durch Sedimentation teilweise geschützt und verborgen wurde, liegt der T36 Lo in einer nahezu unveränderten Position und zeigt keine Anzeichen signifikanter Sedimentüberlagerung. Dies verdeutlicht, dass die Lage des T36 Lo zwar stabil ist, die biologische Überwucherung jedoch weiterhin den Erhaltungszustand beeinflusst.

Wie bereits beim L15 Lo zeigt die Quagga-Muschelschicht auch hier eine doppelte Wirkung. Während sie den Fernschreiber effektiv vor anthropogenen Eingriffen schützt, da er ohne präzises Wissen über seinen Standort nicht mehr auffindbar wäre, stellt sie eine erhebliche Herausforderung für die wissenschaftliche Untersuchung dar. Die Erfassung des Fundes wäre ohne die rechtzeitige Erstellung eines 3D-Modells und den

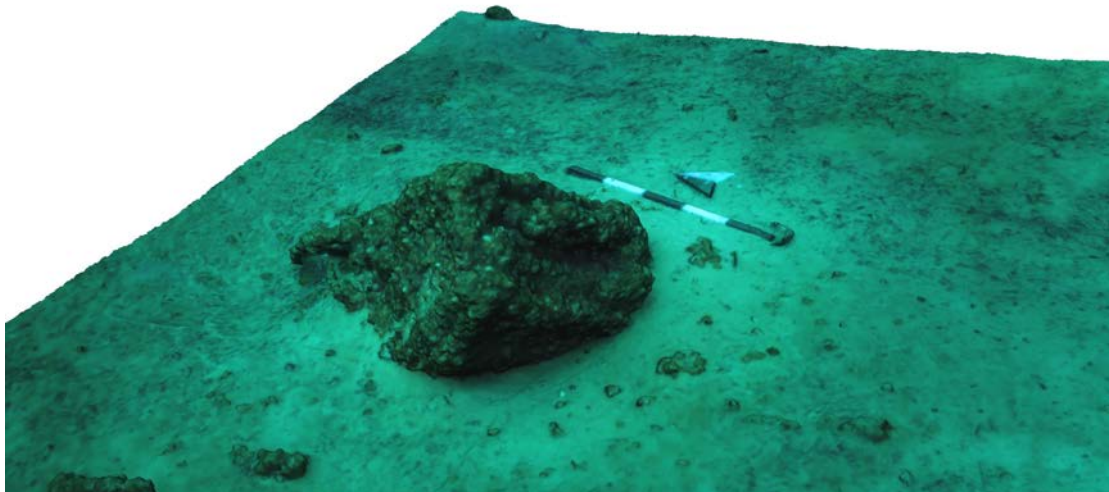


Abb. 4.55.: 3D-Modell: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, West-Profil mit starkem Quagga-Muschelbefall.

4. Ergebnisse

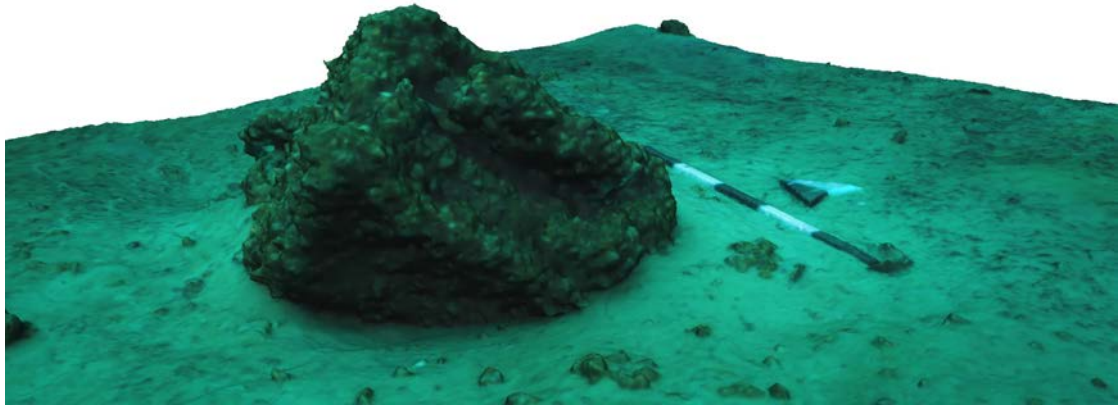


Abb. 4.56.: 3D-Modell: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, keine strukturelle Erfassbarkeit mehr im Modell durch massiven Muschelbefall.

Abgleich mit früheren Aufnahmen kaum möglich gewesen.

Der Zustand des T36 Lo unterstreicht die Dringlichkeit, aktuelle bekannte Funde sowie solche, die durch zukünftige unterwasserarchäologische Prospektionen noch entdeckt werden, systematisch zu dokumentieren. Die Erstellung detaillierter 3D-Modelle ist essenziell, um solche Objekte trotz biologischer oder sedimentärer Veränderungen langfristig für die Forschung zugänglich zu machen. Insbesondere für Funde wie den T36 Lo, die im Milieu Wasser belassen werden sollten, bietet die Photogrammetrie eine einzigartige Möglichkeit, ihren Zustand zumindest digital zu bewahren und die Wissenschaft auch in den kommenden Jahren und Jahrzehnten daran teilhaben zu lassen.

4.3.4. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Renault Dauphine

Die photogrammetrische 3D-Modellierung des Renault Dauphine-Wracks am Südostufer des Attersees bot eine detaillierte Momentaufnahme des aktuellen Zustands des Fahrzeugs und seiner strukturellen Merkmale (Abb. 4.57). Das Wrack, das in einer Tiefe von 24 Metern liegt, zeigt trotz biologischer und anthropogener Einflüsse noch zahlreiche erkennbare Details, die im Modell präzise dokumentiert wurden (Abb. 4.58, 4.59). Zu den hervorstechenden Merkmalen gehören das noch intakte Heckfenster, das jedoch von der geöffneten Heckmotorhaube teilweise verdeckt wird, sowie das Gaspedal, das auch im Modell gut sichtbar ist (Abb. 4.60). Der originale rote Lack ist in Teilen noch vorhanden und konnte im 3D-Modell durch die Texturierung hervorgehoben werden. Beige Stellen auf der Oberfläche sind auf eine dünne Sedimentschicht zurückzuführen, die sich im Laufe der Jahrzehnte über das Wrack gelegt hat.

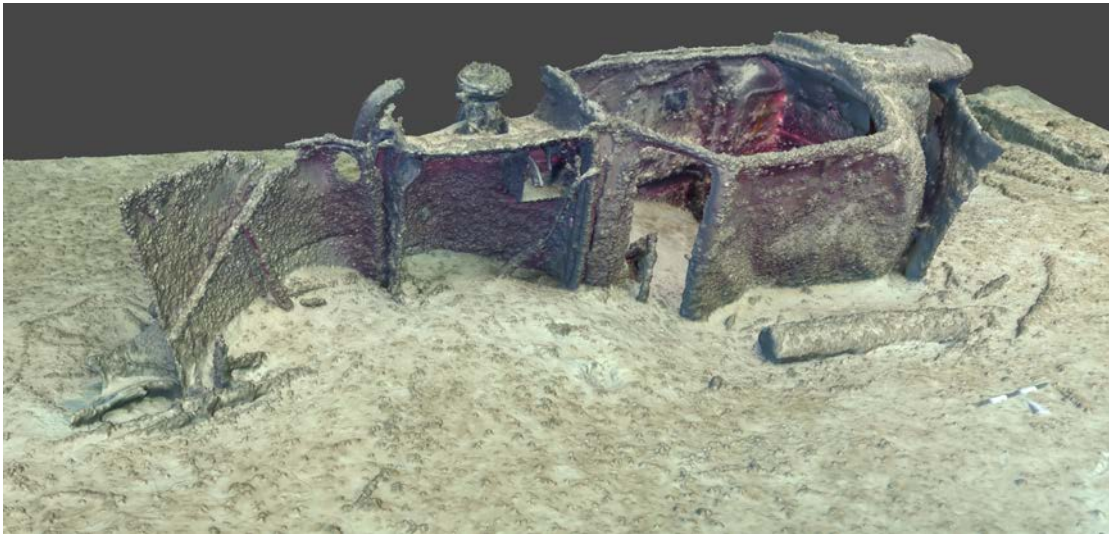


Abb. 4.57.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Süd-Profil.



Abb. 4.58.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Heckteil mit geöffneter Motorklappe und verdeckter Heckscheibe.

Obwohl das Wrack von einer zunehmend dichten Schicht von Quagga-Muscheln bedeckt wird, konnten wichtige Strukturen wie die Frontscheinwerfer und der charakteristische Heckbereich des Renault Dauphine eindeutig dokumentiert werden. Die Modellierung zeigte zudem, dass das Fahrzeug trotz seiner Lage in einer mittleren Sporttauchertiefe von 24 Metern nicht vollständig vor Einflüssen geschützt bleibt. Eine Fahrzeugschürze wurde

4. Ergebnisse



Abb. 4.59.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Nord-Profil, Unterseite des Fundes mit eindeutig identifizierbaren Strukturen wie der Benzinwanne.



Abb. 4.60.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Aufsicht mit Lenkrad, Armaturen und Gaspedal.

etwa zehn Meter westlich des Hauptwracks gefunden (Abb. 4.61, 4.62, 4.63), was auf anthropogene Eingriffe hinweist. Der zunehmende Muschelbefall und die Überlagerung durch Sediment stellen zusätzliche Herausforderungen für die langfristige Erhaltung und Dokumentation dar.

4.3. Einzelobjekt-basierte 3D-Dokumentation

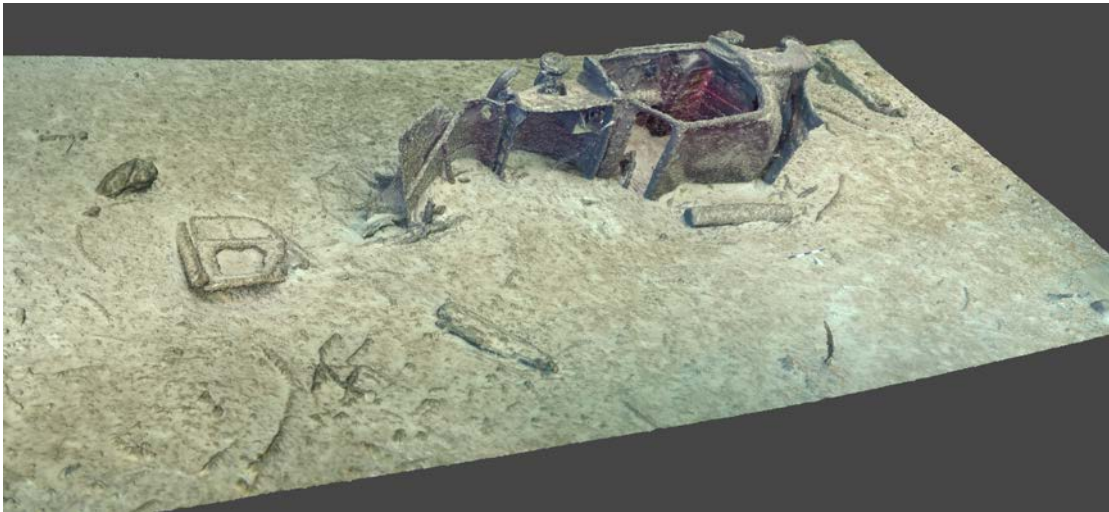


Abb. 4.61.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Süd-Profil mit bewegter Fahrzeugtüre.



Abb. 4.62.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Orthoperspektive mit bewegter Fahrzeugtüren.

Das Wrack eignet sich ideal für eine langfristige wissenschaftliche Untersuchung. Seine Lage, Tiefe und überschaubare Größe bieten optimale Bedingungen, um biologische und anthropogene Einflüsse detailliert zu erfassen. Durch die jährliche Erstellung

4. Ergebnisse



Abb. 4.63.: 3D-Modell: Attersee, Renault Dauphine, Entfernte Fahrzeugtüre.

eines 3D-Modells könnten Veränderungen systematisch dokumentiert und analysiert werden. Solche Langzeitstudien könnten wertvolle Erkenntnisse darüber liefern, wie sich invasive Arten wie die Quagga-Muschel und natürliche Sedimentationsprozesse auf unter Wasser befindliche Kulturgüter auswirken. Zudem könnte untersucht werden, in welchem Maße menschliche Eingriffe wie das Bewegen von Fahrzeugteilen die Erhaltung solcher Objekte beeinflussen.

4.3.5. Ergebnisse der 3D-Modellierung des Flugzeug-Zusatztanks

Die photogrammetrische 3D-Modellierung des Flugzeug-Zusatztanks im Attersee lieferte eine detaillierte Darstellung seines aktuellen Zustands und seiner strukturellen Merkmale (Abb. 4.64). Das Modell zeigt deutlich die teilweise Einbettung des Zusatztanks in das Sediment sowie den dichten Befall mit Quagga-Muscheln, der die Oberfläche des Tanks stark überzieht (Abb. 4.65). Ein Vergleich mit dem Zustand bei der Entdeckung im Jahr 2020 verdeutlicht, dass ein 3D-Modell vor dem Muschelbefall von großem wissenschaftlichem Wert gewesen wäre, jedoch damals nicht erstellt wurde.

Besonders hervorzuheben sind die klar erkennbaren Öffnungen für Benzin und Luftzufuhr sowie die Aufhängevorrichtung, die trotz des Muschelbefalls gut dokumentiert werden konnten. Diese charakteristischen Details, zusammen mit der durch das Modell exakt wiedergegebenen Form und den millimetergenauen Abmessungen, ermöglichen eine präzise Identifizierung des Tanks als 75 Gallon External Jettison Auxiliary Fuel Tank amerikanischer Bauart.

4.3. Einzelobjekt-basierte 3D-Dokumentation

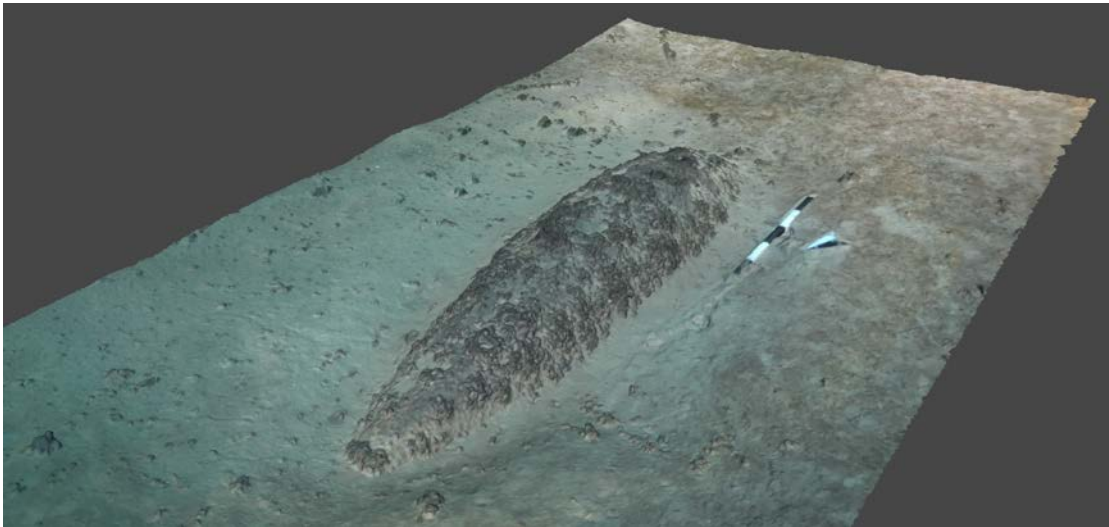


Abb. 4.64.: 3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, Nord-West-Profil.



Abb. 4.65.: 3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, Benzin- und Luft-Öffnungen mit Quagga-Muschel Befall.

Durch das Modell sind nachträgliche Abmessungen und geometrische Analysen durch Forscher:innen jederzeit möglich, was einen wichtigen Beitrag zur weiteren wissenschaftlichen Untersuchung des Objekts leistet. Die präzise Dokumentation von Form und Struktur bietet eine belastbare Grundlage für zukünftige Analysen und Vergleiche.

4. Ergebnisse

4.4. Flächendeckende 3D-Dokumentation

Ein erheblicher Anteil der Forschungsarbeit dieser Masterarbeit entfiel auf die 3D-Dokumentation großflächiger archäologischer Fundareale. Diese Methode ermöglichte eine präzise Erfassung von Siedlungsstrukturen, Unterwasserlandschaften und Fundkontexten in ihrer gesamten räumlichen Ausdehnung. Durch den Einsatz von Image-Based Modeling (IBM) konnten großflächige Areale mit hoher Genauigkeit erfasst und dreidimensional rekonstruiert werden. Die resultierenden Modelle liefern wertvolle Informationen über die topografische Beschaffenheit und den aktuellen Zustand der Fundstellen.

Ein zentraler wissenschaftlicher Nutzen der flächenbasierten 3D-Dokumentation liegt in der Möglichkeit, erosive Prozesse und andere dynamische Veränderungen an den Fundarealen systematisch zu analysieren. Wiederholte Aufnahmen derselben Gebiete ermöglichen es, Unterschiede im Sedimentaufbau, Veränderungen durch Wasserströmungen und die Auswirkung biologischer Faktoren sichtbar und quantifizierbar zu machen. Die dadurch gewonnenen Daten leisten einen wesentlichen Beitrag zur langfristigen Beobachtung und Erforschung der Stabilität von Fundstellen.

Die präzise Erfassung großflächiger Areale bietet zudem eine einzigartige Grundlage für den Vergleich mit historischen Forschungen. Durch die Überlagerung moderner 3D-Modelle mit älteren Karten und Plänen können Veränderungen in der Fundtopografie über Jahrzehnte hinweg nachverfolgt werden. In dieser Arbeit konnten beispielsweise Verschiebungen und Zerstörungen bestimmter Siedlungsstrukturen durch natürliche Prozesse identifiziert werden. Dies schafft neue Perspektiven, um Altbestände mit aktuellen Forschungsfragen zu verbinden und eine tiefere historische Einordnung der Fundstellen zu ermöglichen. Die Möglichkeit, großflächige 3D-Modelle für solche Vergleiche und Analysen heranzuziehen, hebt den wissenschaftlichen Wert dieser Methode hervor. Sie erlaubt nicht nur eine präzise Dokumentation, sondern eröffnet auch neue Wege zur Erforschung der Entwicklung und Veränderung archäologischer Fundstätten im Laufe der Zeit.

4.4.1. Die Seeleitung im Bereich der Pfahlbaustation Miesling I

Im Rahmen der Masterarbeit wurde eine 3D-Modellierung der Ausspülung unter der Seeleitung im Bereich der prähistorischen Pfahlbaustation Miesling I am Attersee durchgeführt. Obwohl die Ausspülung in einer Tiefe von etwa 14 Metern liegt und damit außerhalb des unmittelbaren archäologischen Siedlungskontexts, macht der direkte Bezug zur prähistorischen Fundstelle ihre Dokumentation relevant. Der prähistorische Siedlungsbereich, der unmittelbar oberhalb der Ausspülung liegt, erhöht die Bedeutung dieser Untersuchung, da potenzielle Gefährdungen durch anthropogene Einflüsse aufgezeigt werden können.

Das 3D-Modell zeigt die ovale Form der Ausspülung deutlich und ermöglicht eine präzise Vermessung (Abb. 4.66). Diese Abmessungen bilden die Grundlage für ein lang-

4.4. Flächendeckende 3D-Dokumentation

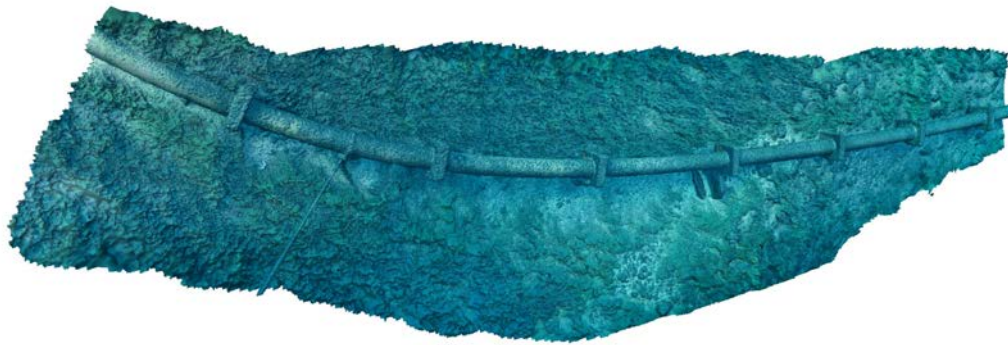


Abb. 4.66.: 3D-Modell: Attersee, Seeleitung bei Pfahlbaustation Miesling I, Aufsicht.



Abb. 4.67.: 3D-Modell: Attersee, Miesling I, Seil an der Seeleitung.

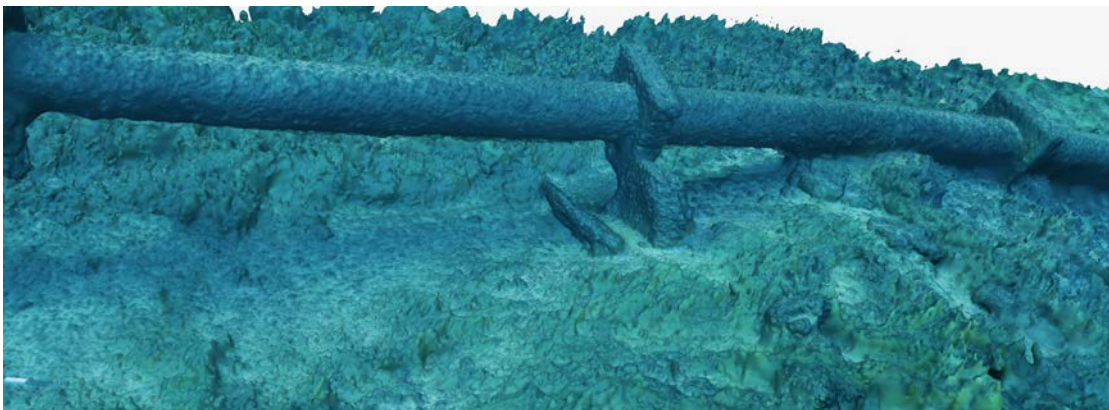


Abb. 4.68.: 3D-Modell: Attersee, Miesling I, Seeleitung liegt mit einem der Abtriebskörper auf einem Felsen auf.

4. Ergebnisse

fristiges Monitoring, um den Verlauf der Erosion in den kommenden Jahren nachvollziehen zu können. Im Modell wird außerdem sichtbar, dass die Ausspülung wahrscheinlich durch ein Seil verursacht wurde, das die Seeleitung umwickelt und Zugkräfte auf sie ausübt (Abb. 4.67). Dieses Seil scheint einem Ankerseil zu entsprechen, das versehentlich mit der Seeleitung in Kontakt gekommen ist. Ein weiterer im Modell deutlich erkennbarer Aspekt ist ein Felsblock, auf dem einer der Abtriebskörper der Seeleitung aufliegt (Abb. 4.68). Dieser Felsblock verhindert, dass die Leitung weiter nach unten gezogen oder stärker gebogen wird, was die Ausspülung möglicherweise noch verstärkt hätte.

Bei der Betauchung und in der modellgestützten Analyse wurden keine archäologischen Funde dokumentiert oder erfasst. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass prähistorische Reste aus dem Siedlungsbereich der Station Miesling I durch die Unterspülung abgerutscht sein könnten. Dies macht deutlich, dass ein weiterführendes Projekt notwendig wäre, um den Seeuntergrund gezielt zu untersuchen, mögliche Funde zu sichern und denkmalpflegerisch zu handeln.

Die Erstellung des 3D-Modells zeigt, wie wichtig ein gründliches Monitoring auch in Bereichen ist, die nicht direkt zum Siedlungsareal gehören. Der Umgebungsbereich archäologischer Fundstellen sollte systematisch beobachtet werden, um anthropogene Einflüsse frühzeitig zu erkennen und entsprechende Schutzmaßnahmen einzuleiten, bevor akuter Handlungsbedarf entsteht. Dieses Beispiel verdeutlicht die Bedeutung eines umfassenden IBM basierten Ansatzes für den Schutz und die Erhaltung prähistorischer Fundstellen.

4.4.2. Die Sprungturmgrube innerhalb der Pfahlbaustation Seewalchen I

Das 3D-Modell der gesamten Ausbaggerung der Sprungturmgrube in der Pfahlbaustation Seewalchen I stellt ein millimetergenaues Abbild des Ist-Zustands dieses Bereichs dar (Abb. 4.69). Dabei ermöglicht das Modell eine detaillierte Analyse des Zustands und liefert wertvolle Erkenntnisse über die aktuellen Gegebenheiten. Durch das mehrmalige Ausbaggern im Bereich der Sprungturmgrube sind jegliche prähistorischen Kulturschichten verschwunden. Dies ist auch im 3D-Modell sichtbar: Innerhalb der Grube, deren Boden von Blättern bedeckt ist (Abb. 4.70), sind keine prähistorischen Kulturreste mehr erkennbar. Um dies präziser zu dokumentieren, wäre es notwendig gewesen, die Blätter vorab zu entfernen. Um den Status quo jedoch möglichst nicht-invasiv festzuhalten, wurde auf eine solche Vorbereitung bewusst verzichtet. Auch der verbleibende blätterfreie Rest und die Randbereiche innerhalb der hölzernen, neuzeitlichen Begrenzung der Grube zeigen keine prähistorischen Überreste (Abb. 4.71). Diese Begrenzung dient der Abgrenzung der Sprungturmgrube vom umliegenden Seebereich und ist nicht prähistorischen Ursprungs.

Direkt außerhalb der neuzeitlichen Umrandung des Grubenbereichs treten jedoch prähistorische Pfähle aus dem Sediment hervor, die im 3D-Modell klar sichtbar sind



Abb. 4.69.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Bereich der Sprungturm-grube Seewalchen I in Orthoperspektive.

(Abb. 4.72). Diese Darstellung verdeutlicht die Abgrenzung zwischen der ausgegraben Grube und den noch erhaltenen Siedlungsüberresten im umliegenden Bereich. Zusätzlich dokumentiert das Modell die Überlagerung des Randbereichs durch abgestorbenes Seegras und andere Pflanzenreste (Abb. 4.73). Zukünftige Projekte könnten durch

4. Ergebnisse



Abb. 4.70.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Blätterwerk bedeckt den Boden der Sprungturmgrube.



Abb. 4.71.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, neuzeitliche hölzerne Abgrenzung der Sprungturmgrube, Innerseite ohne archäologische Reste.

eine gezielte Vorbereitung der Oberfläche die Detailtiefe und Genauigkeit solcher Modelle weiter steigern. Ein regelmäßiges Monitoring durch flächendeckende 3D-Modelle könnte langfristig dazu beitragen, Erosionsverläufe, Sedimentationsprozesse und das Verschwinden sichtbarer Pfähle zu dokumentieren. Dies hätte nicht nur eine wichtige

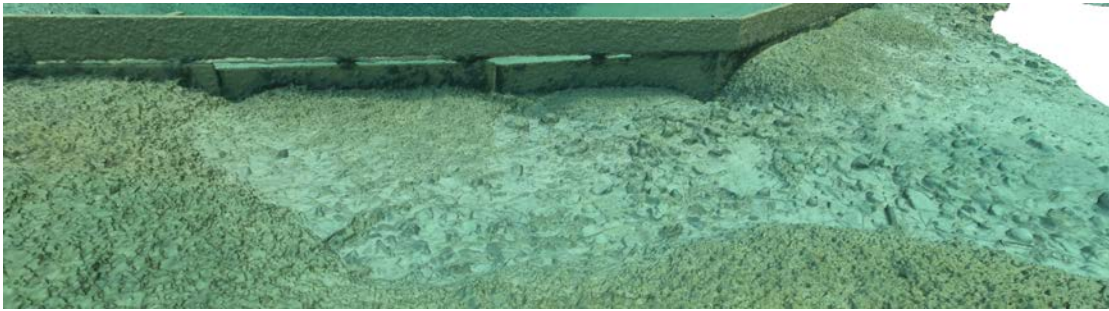


Abb. 4.72.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, einzelne Pfahlreste unmittelbar im südlichen Randbereich der hölzernen Abgrenzung der Sprungturmgrube.



Abb. 4.73.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Abgestorbene Pflanzenreste bedecken den Außenbereich der hölzernen Abgrenzung mit darunter aus dem Sediment stehenden Pfähle.

denkmalpflegerische Funktion, sondern würde auch eine strategische Grundlage für den Schutz und die Erforschung prähistorischer Fundstellen schaffen.

4.4.3. Keramikfragmente und Pfähle im Bereich der Sprungturmgrube

Im Zuge der Betauchung und Erstellung des 3D-Modells im Bereich der Sprungturmgrube stach ein kleiner Bereich besonders hervor, der aufgrund seiner Bedeutung separat und detaillierter einer weiteren 3D-Dokumentation unterzogen wurde (Abb. 4.74).

Bereits im Übersichtsbereich des Westprofils lassen sich klar erkennbare Pfähle im Modell ausmachen. Bei einer genaueren Betrachtung dieses modellierten Teilbereichs sind sowohl gut erhaltene als auch teilweise abgerodierte Pfähle sichtbar, die aus dem Sediment ragen (Abb. 4.75, 4.76). Vor diesen Pfählen treten nahezu freiliegende Keramikfragmente zutage, die in das Sediment eingebettet sind und die besondere archäologische Relevanz dieses Abschnitts verdeutlichen.

Besonders deutlich und millimetergenau erfasst das Modell im unteren Bereich

4. Ergebnisse



Abb. 4.74.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, aus dem Seeboden herausragende Pfähle mit umgebenden freiliegenden Keramikfragmenten.



Abb. 4.75.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfähle und Keramikfragmente im Detail.

das Bodenfragment eines prähistorischen Keramikgefäßes oder möglicherweise eines vollständig erhaltenen Gefäßes, das im Sediment eingebettet liegt (Abb. 4.77). Auf diesem Gefäßboden ist zudem ein beginnender Befall durch Quaggamuscheln sichtbar. Die Erstellung eines hochauflösenden 3D-Modells in diesem fundreichen Siedlungsbereich bietet enorme Vorteile für zukünftige Forschung. Aufgrund der hohen Funddichte und der denkmalpflegerischen Bedeutung wurde dieser Bereich nach Meldung des



Abb. 4.76.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Pfähle im Nordprofil und Keramikfragment.



Abb. 4.77.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Keramik mit Quagga-Muschelbefall.

Verfassers an das Kuratorium Pfahlbauten für Denkmalschutz durch Schutzmaßnahmen abgedeckt.

Die dokumentierte Erfassung solcher fundreicher Siedlungsbereiche durch ein hochgenaues Modell bietet eine fundierte Grundlage für zukünftige Forschungen und Projekte. Diese Methode ist nicht nur ein entscheidendes Werkzeug für die wissenschaftliche Analyse, sondern auch eine unverzichtbare Maßnahme für den Schutz und die langfristige Erhaltung prähistorischer Fundstellen.

4. Ergebnisse

4.4.4. Anlegestelle der Atterseeschifffahrt in Seewalchen

Ein weiterer Teilbereich der Pfahlbaustation Seewalchen I, der Bereich der Schifffahrtsanlegestelle, wurde im Rahmen der Masterarbeit dreidimensional modelliert (Abb. 4.78). Die Modellierung verdeutlicht die erheblichen Auswirkungen des Schiffsverkehrs auf das Seesediment in diesem Bereich (Abb. 4.79). Insbesondere das An- und Ablegen der Attersee-Schifffahrt sowie das Beschleunigen der Schiffe verursachen eine intensive Auswaschung und den Verlust von Sedimentschichten unmittelbar an der Anlegestelle.

Das 3D-Modell zeigt, dass im Umfeld der Ausschwemmung prähistorische Pfahlreste den betroffenen Bereich umgeben. Innerhalb der Ausschwemmung hingegen sind sowohl die Seekreide als auch jegliche möglichen prähistorischen Kulturschichten vollständig verschwunden (Abb. 4.80). Der Boden der Ausschwemmung zeigt keinerlei Hinweise auf prähistorische Siedlungsstrukturen wie Pfähle oder Keramikreste, was durch die Betauchung und die Analyse des Modells bestätigt wurde.

Eine durch die Schifffahrt verursachte, künstlich aufgeschüttete Erhebung aus Schotter-Sediment ist im 3D-Modell ebenfalls deutlich sichtbar (Abb. 4.81). Diese Aufschüttung entsteht durch den Rückstoß der Schiffsschrauben beim Gasgeben der Schiffe und führt zu einer Ansammlung von Sediment, die die Umgebung des prähistorischen Fundbereichs zusätzlich verändert.

Das Modell zeigt exemplarisch die Notwendigkeit einer systematischen Erfassung und

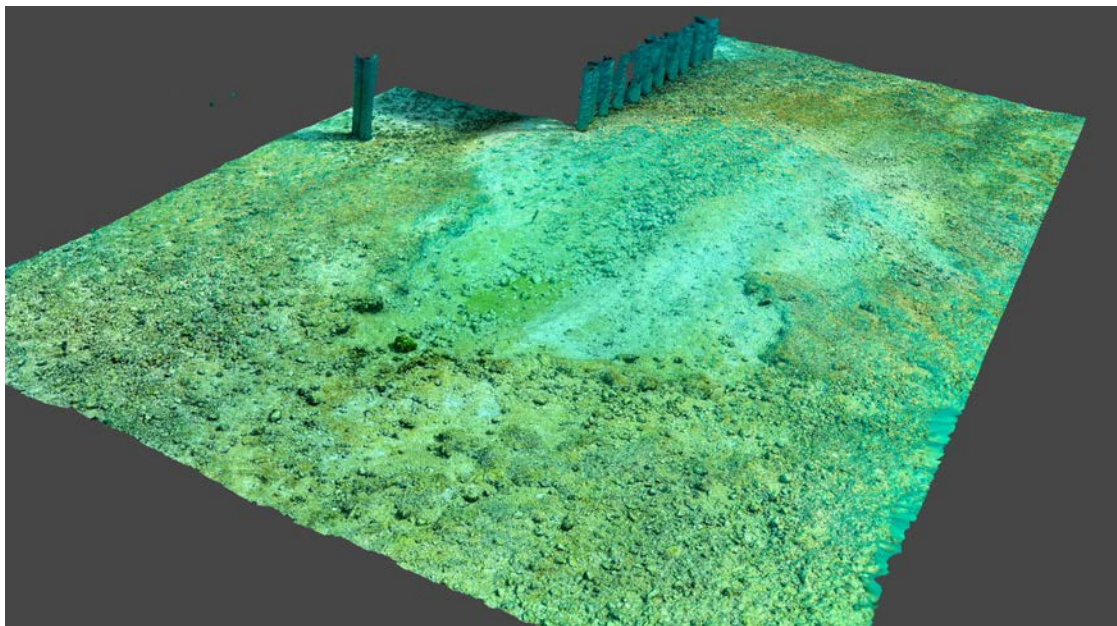


Abb. 4.78.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Übersicht der erosiven Veränderungen im Bereich der Ablegestelle der Atterseeschifffahrt.

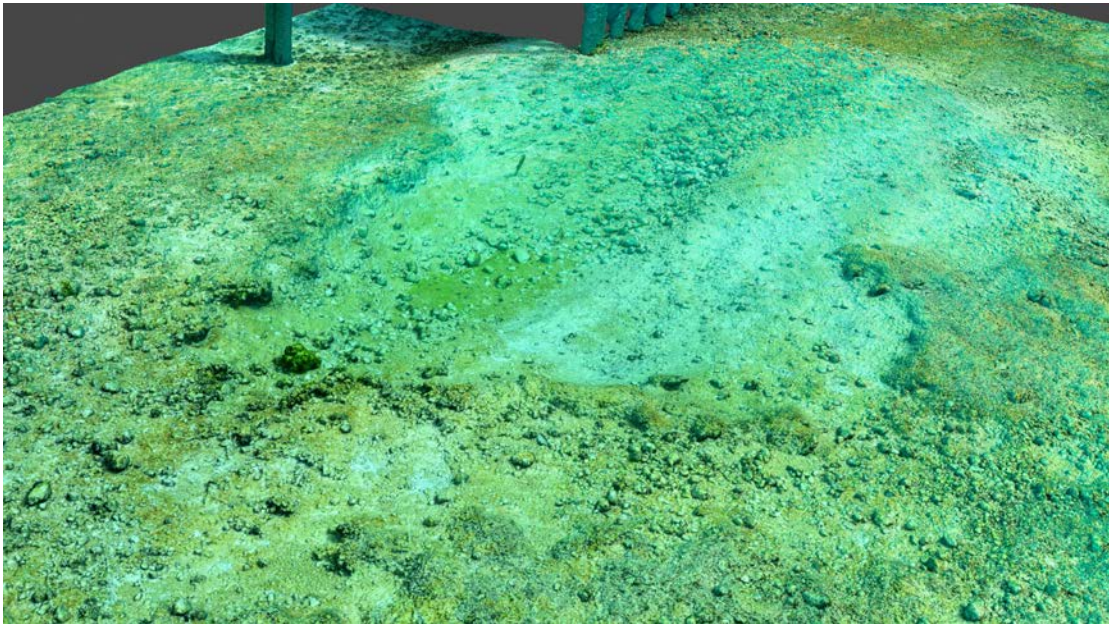


Abb. 4.79.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, erosive Veränderungen im Detail.

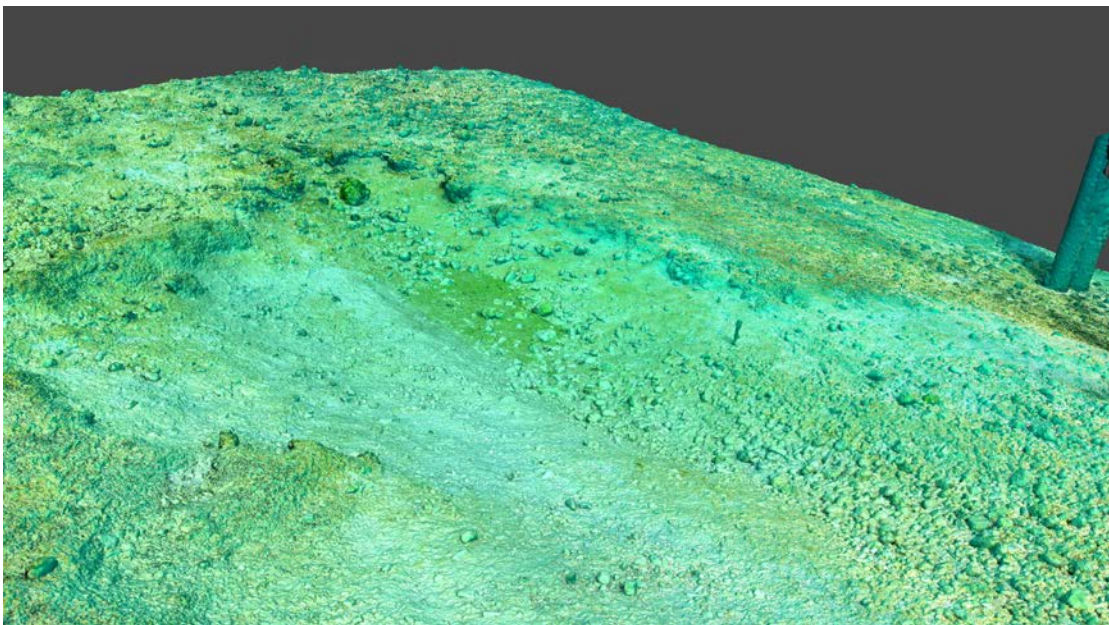


Abb. 4.80.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I. Im erodierten Bereich sind keine prähistorischen Siedlungsreste oder Kulturschichten mehr erkennbar.

4. Ergebnisse

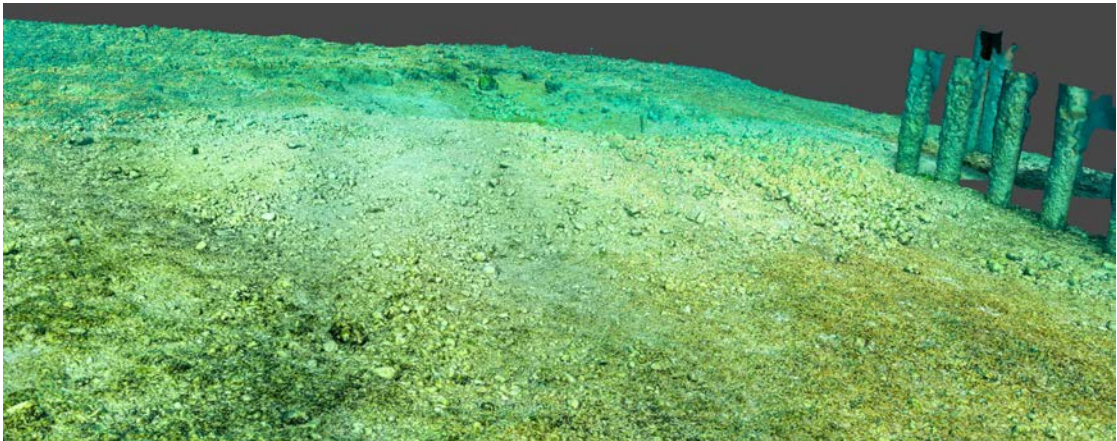


Abb. 4.81.: 3D-Modell: Attersee, Pfahlbaustation Seewalchen I, Von der Schiffahrt aufgeschüttetes Material.

Überwachung solcher sensiblen Bereiche. Eine großflächige 3D-Modellierung vor der Errichtung der Anlegestelle hätte spätere Erosionsverläufe und anthropogene Schäden präzise dokumentieren können. Gleichzeitig bietet das Modell eine Grundlage für zukünftiges Monitoring, um die Bedrohung der gesamten Station Seewalchen I durch die Schiffahrt besser zu verstehen und einzudämmen.

Die geringe Wassertiefe in diesem Bereich erhöht die Gefährdung der Kulturgüter, die sich teils oberflächlich, teils nur wenige Zentimeter unter dem Seeboden befinden. Die Ergebnisse der Betauchung und der 3D-Modellierung machen deutlich, wie dringend denkmalpflegerische Maßnahmen erforderlich sind. Es ist notwendig, einen Konsens mit der zuständigen Gemeinde und der Attersee-Schiffahrt zu finden, um den Bereich der Station Seewalchen I zu schützen und eine nachhaltige Erhaltung dieses bedeutenden archäologischen Erbes zu gewährleisten.

4.4.5. Mondsee Station See

Im Rahmen der Masterarbeit wurde das flächenmäßig mit Abstand größte 3D-Modell als nahezu lückenloses Modell der gesamten Pfahlbaustation See am Mondsee erstellt (Abb. 4.82). Die Fundstätte Station See ist als UNESCO-Weltkulturerbestätte ausgewiesen. Dieses umfassende, hochauflösende Modell bietet eine vollständige Erfassung der Station, die bislang aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse im Mondsee von durchschnittlich ein bis zwei Meter nicht möglich war.

Zu Beginn der Arbeit wurden mehrere Teilmodelle zu Testzwecken erstellt, um Methoden, technische Parameter und die Effizienz des Arbeitsprozesses zu evaluieren. Hierbei wurde unter anderem der Metallrahmen von Johann Offenberger mehrfach modelliert, da er sich als besonders geeignet für Navigation und Replizierbarkeit erwies. Einer dieser Tests beinhaltete ein bei Nacht aufgenommenes Modell, das zeigen sollte, inwiefern die Lichtverhältnisse den Kontrast und die Sichtbarkeit von Details verbessern (Abb. 4.83). Das nächtlich erstellte Modell zeigte, dass Pfähle und einzelne Seegräser bei gezielter Beleuchtung deutlicher abgebildet wurden als bei diffusen Lichtverhältnissen während des Tages (Abb. 4.84).

Schließlich wurde aus insgesamt 22.853 Einzelfotos, die aus verschiedenen Winkeln aufgenommen wurden, ein durchgehendes und georeferenziertes Modell der gesamten Station erstellt. Die Verteilung der Kamerapositionen veranschaulicht den Aufwand und die Dichte der aufgenommenen Bilder, die für eine flächendeckende und detailreiche Erfassung notwendig waren (Abb. 4.85). Das fertige Modell zeigt sämtliche oberflächlich erkennbaren Strukturen der Station und bietet eine hochpräzise Basis für weitere Analysen. Die Zuverlässigkeit des berechneten 3D Modells ist sehr hoch (Abb. 4.86).



Abb. 4.82.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Übersicht.

4. Ergebnisse

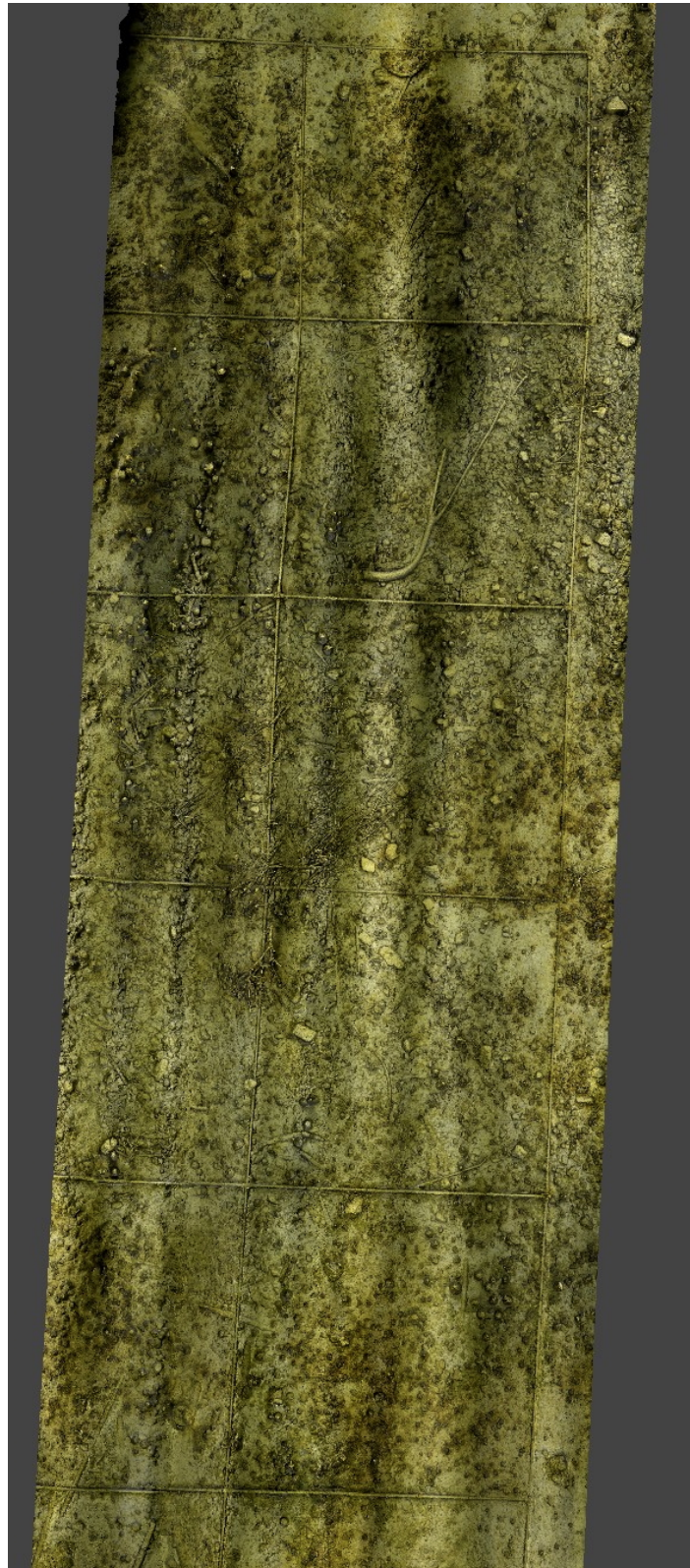


Abb. 4.83.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Offenberger-Metallrahmen bei Nacht.

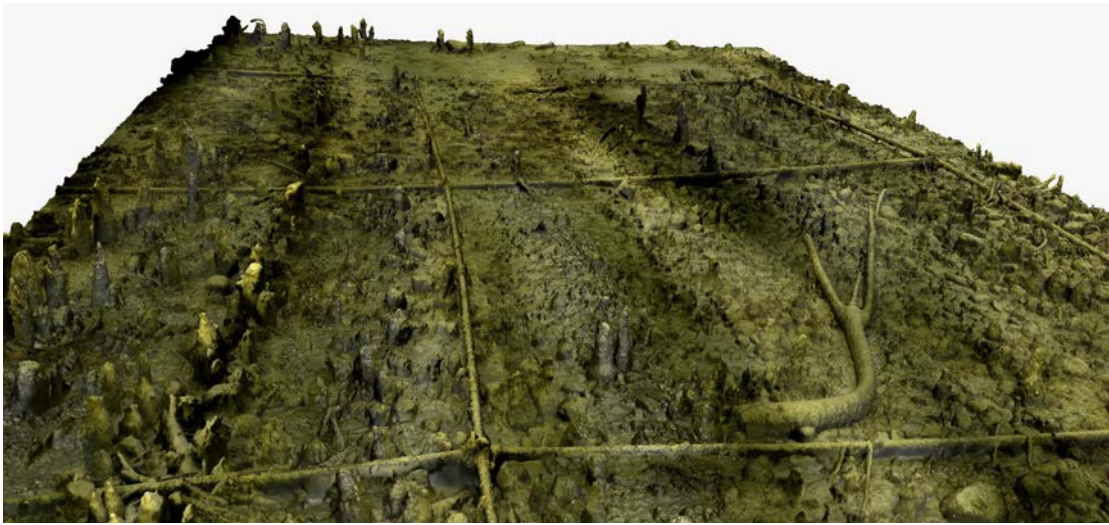


Abb. 4.84.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Offenberger-Metallrahmen bei Nacht, Detailansicht mit Pfählen und liegenden Pflanzenresten.



Abb. 4.85.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Arbeitsdokumentation der 3D-Modellerstellung mit visualisierten Kamerapositionen, dargestellt in Blau.

Bereits im untexturierten Zustand des Modells sind prähistorische Pfähle, liegende Hölzer und der Grabungsschnitt von Johann Offenberger millimetergenau sichtbar (Abb. 4.87, 4.88). Auch gespannte Messleinen und Erosionsmarker des Kuratoriums Pfahlbauten konnten erfasst werden. Nach der Texturierung treten die Strukturen noch deutlicher hervor (Abb. 4.89, 4.90), sodass eine klare Unterscheidung zwischen Holz, Stein, Pflanzenresten und anderen Materialien möglich wurde.

4. Ergebnisse

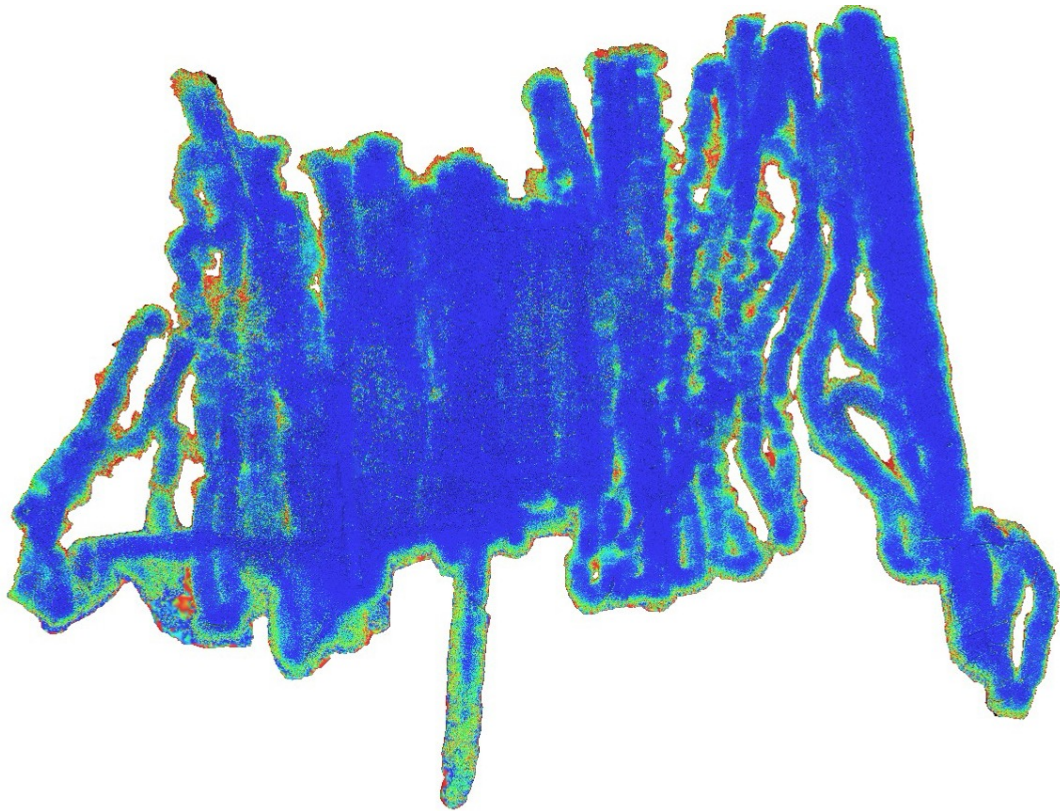


Abb. 4.86.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Zuverlässigkeits-Darstellung (engl. *Confidence*) der 3D-Modellierung der vollständigen Pfahlbaustation See am Mondsee, bestehend aus 178 Millionen Punkten und 356 Millionen Dreiecken. Blau bedeute besonders gute Zuverlässigkeit; rot niedrige.

Das Modell ermöglicht nicht nur die Erfassung und den Abgleich von Höhen- und Flächendaten der Pfähle, sondern auch die Überprüfung und Überlagerung mit historischen Plänen von Offenberger aus den 1980er-Jahren (Abb. 4.91, 4.92). Dies stellt eines der wichtigsten und wesentlichsten Ergebnisse dieser Arbeit dar, da erstmals eine relativ präzise Rückverfolgung der Veränderungen in der Position der Pfähle sowie des Zustands liegender Hölzer möglich ist. Ebenso können die Erosionsverläufe über mehrere Jahrzehnte hinweg nachvollzogen werden. Diese genaue Dokumentation eröffnet neue Perspektiven für ein langfristiges Monitoring und trägt wesentlich dazu bei, die dynamischen Prozesse und Gefährdungen innerhalb der Fundstelle besser zu verstehen und gezielt denkmalpflegerische Maßnahmen einzuleiten.

Besonders auffällig sind einige bisher unerforschte Bereiche der Station, wie eine Ansammlung von Steinen südlich des Offenberger-Grabungsschnitts (Abb. 4.93) und große



Abb. 4.87.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Orthoperspektivische Ansicht des Offenbergschnitts und der Pfähle im untexturierten Zustand.

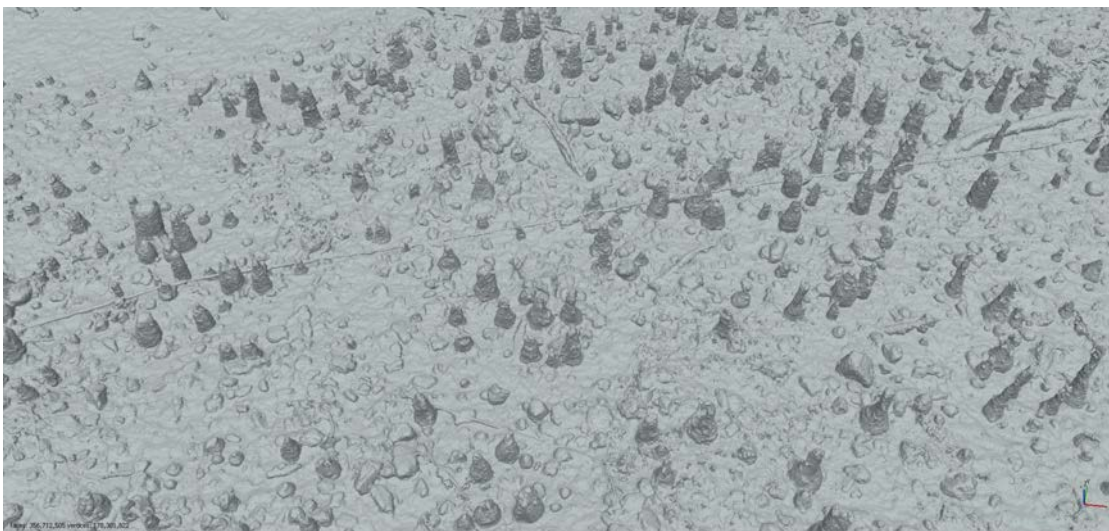


Abb. 4.88.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Pfähle im untexturierten Zustand.

liegende Hölzer am Rand der Station Richtung Seeache (Abb. 4.94). Diese Bereiche bieten erhebliches Potenzial für zukünftige Projekte.

Das abschließende Modell¹ ist nicht nur eine beispiellose Dokumentation der Pfahlbau- fundstätte Station See, sondern bildet auch eine höchst detaillierte Grundlage für langfristiges Monitoring und die nachhaltige Bewahrung der Fundstelle. Es bietet neue

¹ Für eine Animation der Daten siehe: https://youtu.be/_yxIN6L0Xow?si=JE_KbuDBoXrM4ICl

4. Ergebnisse



Abb. 4.89.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Detailansicht aus der Orthoperspektive mit Offenberger-Grabungsschnitt im unteren bis mittleren linken Bereich.



Abb. 4.90.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Orthoperspektivische Ansicht des Offenbergerschnitts und der Pfähle im texturiert Zustand.

Möglichkeiten für ihre Erforschung, moderne Öffentlichkeitsarbeit und Denkmalpflege und zeigt die Bedeutung innovativer, nicht-invasiver Prospektions- und Dokumentationsmethoden für den Schutz und die Erforschung des archäologischen Kulturerbes unterwasser.

4.4. Flächendeckende 3D-Dokumentation

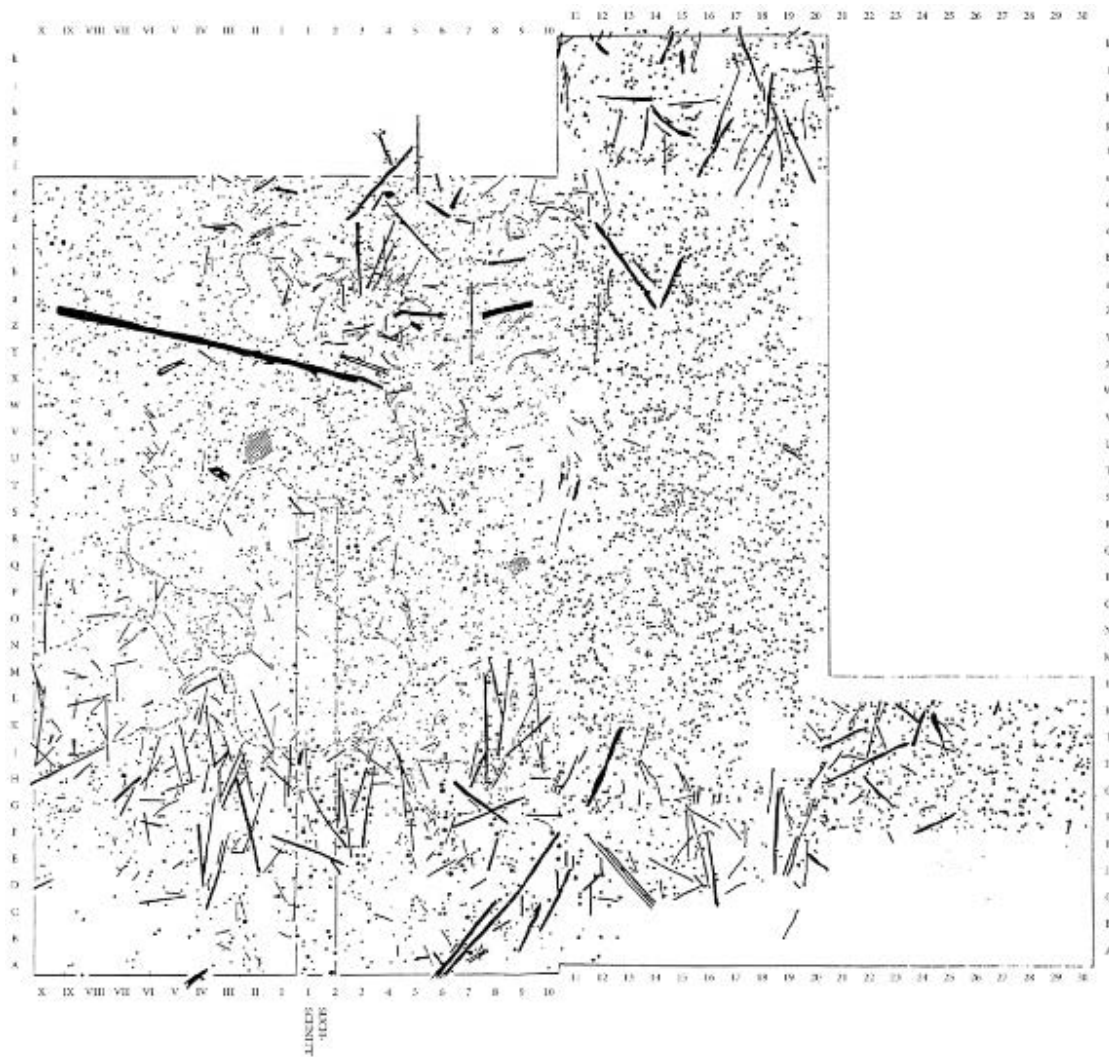


Abb. 4.91.: Abbildung: Detailvermessung Grabungsjahre 1982-1984 (nach Offenberger 1986) Veronika Holzer.

4. Ergebnisse



Abb. 4.92.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Georeferenzierte Überlagerung der Offenberger-Pläne mit dem erstellten 3D-Modell zur Analyse der Erosionsprozesse sowie zur Identifikation erhaltener und verlorener Pfähle und liegender Hölzer seit den 1980er-Jahren.

4.4. Flächendeckende 3D-Dokumentation



Abb. 4.93.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Darstellung einer Steinansammlung links des Offenbergerschnitts, die möglicherweise anthropogenen Ursprungs ist.

4. Ergebnisse



Abb. 4.94.: 3D-Modell: Mondsee, Station See, Tiefenbereiche in Richtung Seeache mit großformatigen liegenden Hölzern.

5. Diskussion

5.1. Vergleich der Ergebnisse mit bestehenden Studien

Die vorliegende Arbeit sollte im Vergleich zu aktuellen, aber auch zu vergangenen, bereits abgeschlossenen, unterwasserarchäologischen Dokumentations- und Prospektionsprojekten in den Forschungsgebieten Attersee und Mondsee betrachtet werden. Durch den Vergleich mit früheren Forschungen und aktuell durchgeführten Studien können Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Methodik herausgearbeitet, sowie deren jeweilige Stärken und Schwächen aufgezeigt werden.

Frühere Forschungen, wie die von Offenberger (1994) und Czech (2014), zeigen eine beispielhafte Vorgehensweise in der unterwasserarchäologischen Prospektion und Dokumentation. Mit ihren, ihrer Zeit gemäßen technischen Mitteln waren sie in der Lage, äußerst innovative Forschung zu betreiben. Der Vergleich der im Rahmen der Projekte von Czech und Offenberger erstellten Pläne mit den 3D-Modellen dieser Arbeit zeigt einerseits eine äußerst präzise Herangehensweise der früheren Forschenden. Andererseits unterscheiden sich die methodischen Ansätze deutlich: Während die Altforschungen auf manuell erstellten Pläne und durch Taucher:innen eingemessene Strukturen setzten, basiert die aktuelle Arbeit auf der fotogrammetrischen Erstellung von georeferenzierten hochauflösenden 3D-Modellen.

Obwohl die Ergebnisse oberflächlich betrachtet dahingehend übereinstimmen, dass Pfahlbauüberreste in ihrer Lage und Ausdehnung eingemessen wurden, so sind doch die methodischen Unterschiede und die Qualität der generierten Daten erheblich. Zum einen stellt das manuelle Einmessen durch Taucher:innen einen enormen zeitlichen, logistischen und personellen Aufwand dar. Zum anderen kann ein solcher Plan, trotz größter Sorgfalt und Professionalität, nicht die Detailgenauigkeit eines bis auf wenige Millimeter genauen 3D-Modells erreichen¹. Darüber hinaus liefert das im Rahmen der Masterarbeit erstellte 3D-Modell, trotz einer unbehandelten Oberfläche, einen detailgenauen Ist-Zustand. Oberflächlich liegende Befunde, wie Holzelemente – darunter stehende Pfähle und liegende Hölzer – können je nach berechneter Auflösung detailgenau und farbgetreu dargestellt werden. Gleiches gilt für oberflächlich liegende Einzelfunde, Artefakte und gegebenenfalls symmetrische, aus dem Seeboden herausragende Strukturen. Solche Details konnten aufgrund der technisch begrenzten Methodik früherer Forschender, die die Daten manuell mit einem Maßband eingemessen haben,

¹ Es kann davon ausgegangen werden, dass die im Rahmen dieser Arbeit an der Station See erzeugten 3D Modelle eine Detailauflösung und Genauigkeit von mindestens 10 mm aufweisen

5. Diskussion

trotz eines hohen systematischen Zusammenhangs nicht erfasst und dargestellt werden. Dennoch ist die Arbeit der früheren Forschenden von unschätzbarem Wert und bildet, in Kombination mit der hier durchgeführten Untersuchung, eine wichtige Grundlage für neue Ansätze. Zum einen ermöglicht sie eine systematische Analyse der gesamten Pfahlbaustation, zum anderen dient sie als Basis für ein rückwirkendes Monitoring, das bis in die 1980er Jahre zurückreicht.

Ein weiterführender Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit bekannten prähistorischen Siedlungen aus anderen alpinen Regionen kann zusätzliche Erkenntnisse über Siedlungsstrategien und Umweltanpassungen liefern. Wie bereits in der Arbeit von Grogan u. a. (1996) gezeigt wurde, spiegeln bauliche und kulturelle Artefakte regionale Unterschiede in der Nutzung von Ressourcen und der Anpassung an klimatische Bedingungen wider. Die Analyse solcher Vergleichsdaten kann helfen, Hypothesen über die wirtschaftlichen und sozialen Strukturen der untersuchten Siedlungen zu präzisieren.

Darüber hinaus bietet sich die Integration modellbasierter Ansätze an, wie sie Bintliff (2012) und Barnard u. a. (2016) vorschlagen. Solche Modelle ermöglichen es, langfristige Entwicklungen von Siedlungslandschaften unter dem Einfluss ökologischer und klimatischer Veränderungen zu analysieren. Die in dieser Arbeit gewonnenen hochaufgelösten 3D-Daten können in solche Modelle einfließen, um die prähistorischen Lebensweisen und deren Anpassungsstrategien noch präziser nachzuvollziehen.

Aus prospektionstechnischer Sicht ist diese Arbeit ebenfalls im Vergleich mit den Prospektionskampagnen des Kuratoriums Pfahlbauten zu betrachten. Die seit 2013 jährlich durchgeführten Prospektionsprojekte verfolgen seit ihrem Beginn mehrere zentrale Ziele. Zum einen geht es um die Erfassung wichtiger Rahmenbedingungen, wie die Ausdehnung und Position bereits durch frühere Forschungen bekannter, unter Wasser liegender prähistorischer Siedlungsbereiche (Pohl, 2016a). Darüber hinaus besteht ein Interesse an der Geomorphologie und dem Erhaltungszustand dieser Fundstätten, insbesondere in Verbindung mit einer Einschätzung der Gefahren, die durch natürliche sowie anthropogene Einflüsse bestehen (Pohl, 2013). Zudem zielt die Prospektion des Kuratoriums Pfahlbauten auf eine verbesserte Aufbereitung und ein vertieftes stratigrafisches Verständnis dieser Fundstätten ab (Pohl, 2019a).

Im methodischen Unterschied dazu verfolgt die hier verfasste Studie zwei zentrale Ziele: Zum einen eine großflächige Prospektion des Ist-Zustandes ohne vorherige Bearbeitung der Untersuchungsfläche, zum anderen die Untersuchung von Forschungsgebieten und Objekten, die nicht nur prähistorische, sondern auch historisch relevante Befunde umfassen. Darüber hinaus wurde in dieser Studie ein besonderer Fokus auf eine möglichst gering-invasive Prospektionsmethodik gelegt. Das Kuratorium Pfahlbauten verfolgt im Gegensatz dazu einen eher klassischen Ansatz. Durch gezielte archäometrische Methoden wie Kernbohrungen, dendrologische Beprobungen und die Entnahme von Radiokarbondatierungsproben wird vom Kuratorium Pfahlbauten ein punktueller Ansatz angewendet. Ergänzt wird diese archäometrische Vorgehensweise durch die Erstellung

5.1. Vergleich der Ergebnisse mit bestehenden Studien

von 3D-Modellen durch die Firma *Crazy Eye* (Pohl, 2021b), die sich auf einzelne Flächen oder Teilflächen konzentrieren.

Weiters liegt der Grund für die Beschränkung auf die Prospektion bereits bekannter und ausschließlich prähistorischer Befunde durch das Kuratorium Pfahlbauten in dessen Gründungszweck. Dieser besteht in der Verantwortung für das UNESCO-Welterbe „Pfahlbauten rund um die Alpen“ (Pieters, 2001) und dessen Verwaltung. Dadurch war das Kuratorium von Beginn an nicht dafür vorgesehen, darüber hinausgehende unterwasserarchäologischen Fundgebiete in Österreich zu betreuen, oder neue Fundstätten zu prospektieren. Dementsprechend wurde auch keine finanzielle Grundlage für eine solche, über die Zielsetzung hinausgehende Prospektionsarbeit geschaffen. Der Verfasser konnte im Rahmen dieser Arbeit in enger Zusammenarbeit erkennen, dass die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Kuratoriums Pfahlbauten bestrebt sind, über ihren eigentlichen Aufgabenbereich hinaus Forschung zu betreiben, neue Forschungsgebiete zu erschließen, und die dafür benötigten Mittel zu akquirieren.

Aus methodischer Sicht sollte die vorliegende Arbeit ebenfalls mit dem Forschungsprojekt der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Deutschland, aus dem Jahr 2017 (Block u. a., 2017b) verglichen werden. In diesem, in Kooperation mit dem Kuratorium Pfahlbauten durchgeführten Projekt, verfolgte Block u. a. (2017b) den Forschungsansatz, mittels eines ferngesteuerten, bzw. autonom operierenden Unterwasserfahrzeugs (ROV) eine automatisierte, flächendeckende 3D-Modellierung der Station See am Mondsee zu erstellen. Der methodische Unterschied dieser Arbeit liegt vorwiegend in der Aufnahme der Fotografien als Grundlage für die 3D-Modelle. Während das Dresdner Projekt auf ein computergestütztes Drohnenmodell setzt, wird in der hier durchgeführten Studie weiterhin ein klassischer Ansatz mittels Forschungstaucher:innen verfolgt. Durch den Vergleich der Ergebnisse lässt sich festhalten, dass trotz des hohen ökonomischen Vorteils, den eine automatisierte maschinisierte Methodik zur Datenerhebung bietet, nach wie vor die subjektive, individuelle und vor allem intuitive Vorgehensweise eines Menschen zu detaillierteren Ergebnissen führt.

Die Möglichkeit, unmittelbar unter Wasser auf unvorhersehbare oder sich verändernde Bedingungen zu reagieren, bietet klare Vorteile gegenüber automatisierter Technologie. Ein veränderter Aufnahmewinkel oder eine gezielte Erhöhung der Überlappung von Fotos in bestimmten Teilbereichen kann eine erhebliche Steigerung des Detailreichtums im späteren 3D-Modell bewirken. In diesem Punkt ist die derzeit verfügbare Robotik und künstliche Intelligenz einem geschulten, fachkundigen und aufmerksamen Forschungstaucher:innen eindeutig unterlegen. Darüber hinaus ist die im Projekt von Block u. a. (2017b) eingesetzte Kamertechnologie mittels Action-Kamera einer professionellen Spiegelreflexkamera technologisch unterlegen. Insbesondere in Bezug auf Fokuseinstellungen, ISO-Empfindlichkeit und die verfügbaren Brennweiten weist sie deutliche Einschränkungen auf. Zudem stellt der fehlende manuelle Autofokus einen weiteren Nachteil dar, da er die Anpassungsmöglichkeiten an unterschiedliche Aufnahmebedingungen begrenzt. Sowohl die Studie der Hochschule Dresden als auch die hier durchgeführte Arbeit zeigten Herausforderungen in Bezug auf die Ausleuchtung

5. Diskussion

der untersuchten Flächen. Bei beiden Methoden führe eine mangelhafte Ausleuchtung der Fläche zu einem Verlust des realistischen Farbspektrums und einer verringerten Detaildichte. Nichtsdestotrotz steckt in der Arbeit der Hochschule Dresden ein großes wissenschaftliches Potenzial. Die Zukunft großflächiger unterwasserarchäologischer Prospektionen liegt zweifellos in autonomen Systemen. Dennoch ist zum jetzigen Zeitpunkt die manuelle Durchführung der Schritte zur Erzeugung der Grunddaten einem automatisierten System noch vorzuziehen.

Des Weiteren sollte die durchgeführte Arbeit mit zwei aktuellen Studien verglichen werden. Trinks u. a. (2019a) setzen mit verschiedenen Sonarmessungen, unter anderem mit einem Fächerecholot (Multibeam Sonar) und einem Mehrkanal-Sedimentsonar, an der Pfahlbau-Station See, Mondsee, auf eine bathymetrische und seismische Kartierung des Seebodens. Riederer u. a. (2025) berichten über eine Vermessung der Bathymetrie der Station See mit Hilfe von Airborne Laser Bathymetrie (ALB) mittels grünem Lasers. Die beiden Projekte verfolgen einen Ansatz, der in dieser Arbeit zwar theoretisch behandelt, jedoch nicht selber empirisch umgesetzt wurde. Die Ergebnisse von Trinks u. a. (2019a) weisen methodische Ähnlichkeiten sowie Parallelen in den erzielten Resultaten zur hier durchgeführten Erstellung eines 3D-Modells des sichtbaren Siedlungsbefundes auf der Seebodenoberfläche auf. Die Methodik des Sedimentsonars verfolgt ebenfalls eine großflächige, minimal-invasive Vorgehensweise zur Prospektion der im Seeboden verborgenen prähistorischen Siedlungsreste. Im Gegensatz zu punktuellen Kernbohrungen ermöglicht diese Methode die flächenhafte Erfassung der nicht oberflächlich sichtbaren Ausdehnung des Siedlungsgebietes. Methodisch gesehen ist eine bustrophedonische Befahrung mittels Boot vergleichbar mit den eingesetzten Tauchmustern, die zur Erstellung der 3D-Modelle angewendet wurden. Der organisatorische und personelle Aufwand beider Methoden ist somit nahezu gleich, auch wenn die finanziellen Aufwendungen für die Multibeam und Sedimentsonar-Methodik erheblich höher sind. Im Ergebnis verfolgen beide Methoden das Ziel, ein hochauflösendes großflächiges 3D-Modell des Seebodens zu erstellen. Während die im Rahmen dieser Arbeit erstellten 3D-Modelle jedoch ausschließlich oberflächliche Strukturen abbilden, liefern seismische Methoden (Trinks u. a., 2019a) Erkenntnisse über im Sediment verborgene Befunde.

Im gleichen Kontext sind die neuesten LiDAR-basierten Studien der Technischen Universität Wien in Kooperation mit dem Kuratorium Pfahlbauten zur Pfahlbaustation See am Mondsee zu betrachten und mit dieser Arbeit zu vergleichen (Riederer u. a., 2025). Diese Methodik und die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien fokussieren sich auf denselben Forschungsbereich – die Erstellung eines hochauflösten 3D-Modells des sichtbaren Siedlungsbefundes auf der Seebodenoberfläche. Ein wesentlicher Vorteil der LiDAR-Methode liegt im erheblich geringeren zeitlichen Aufwand zur Erzeugung der Ausgangsdaten. Die Aufnahme mittels Drohne erfordert einen deutlich geringeren zeitlichen Einsatz als die manuelle Dokumentation durch Forschungstauer:innen. Hinsichtlich der Qualität der erzielten Ergebnisse gegenüber traditioneller Vermessung sind beide Methoden prinzipiell vergleichbar, auch wenn der IBM Ansatz ein erheblich höheres Detaillniveau erreicht. Auch weist die IBM-basierte Erstellung

5.1. Vergleich der Ergebnisse mit bestehenden Studien

von 3D-Modellen durch Taucher:innen unterwasser weitere Vorteile auf: Im Gegensatz zu Grünlaser-Aufnahmen, die kein Farbspektrum erfassen können, ermöglichen 3D-Fotomodelle eine farbgetreue Darstellung des Befundes. Nur durch eine solche Herangehensweise ist es möglich, schwer erkennbare Strukturen, wie auf Pfählen, liegenden Hölzern, Steine, Keramik oder andere Materialien, differenziert darzustellen. Darüber hinaus erlaubt die farbdifferenzierte Herangehensweise die Unterscheidung zwischen mit Muschelbewuchs bedeckten und freien Flächen – ein entscheidender Vorteil für eine detaillierte und langfristige Überwachung der Fundstelle. Der größte Nachteil der LiDAR-Technik liegt in ihrer begrenzten Einsattiefe. Studien wie Doneus u. a. (2015) haben gezeigt, dass die maximale Einsattiefe der ALB Technik, basierend auf einer Drohnen- oder Flugzeuggestützten Trägerplattform, unter idealen Bedingungen bei wenig mehr als 10 Metern Wassertiefe liegt. Dieser Wert reduziert sich erheblich, wenn die Sichtverhältnisse im Wasser durch Schwebeteilchen beeinträchtigt sind oder unruhige Wetterbedingungen die Wasseroberfläche destabilisieren. Deshalb ist der Einsatz von ALB für die Kartierung des Seebodens im Flachwasser bei guten Sichtverhältnissen eine durchaus effektive Methode, jedoch für tiefer liegende Befunde nicht praktikabel. Die begrenzte Einsattiefe und die Abhängigkeit von guten Sichtverhältnissen schränken die Anwendungsmöglichkeiten erheblich ein. Eine Kombination aus IBM 3D-Fotomodellierung, ALB, Fächerecholot- und Sedimentsonarvermessung und gezielten minimalinvasiven Kernbohrungen würde unter geeigneten Umständen am effektivsten die detailliertesten Prospektions- und Dokumentationsergebnisse liefern. Diese Werkzeuge wären in der Lage ein besonders umfassendes Bild des Fundplatzes zu liefern und somit eine solide Grundlage für zukünftige Forschung und Monitoring schaffen.

5.1.1. 3D-Modellierungsergebnisse und deren Bedeutung

Die im Rahmen der Masterarbeit durchgeführten 3D Modellierungen haben mehrere grundlegende forschungsrelevante sowie denkmalpflegerische Aspekte aufgezeigt. Zum einen konnte durch die Erstellung von Modellen der historischen und neuzeitlichen Einzelfunde die Notwendigkeit verdeutlicht werden, dass derzeit noch die Möglichkeit besteht, eine detaillierte Erfassung durchzuführen. Die fortschreitende strukturelle Veränderung durch den Quagga-Dreikantmuschel-Befall in den österreichischen Seen wird in den kommenden Jahren voraussichtlich zu einem vollständigen Verlust dieser Dokumentationsmöglichkeit führen. Darüber hinaus ist noch nicht geklärt, welche Auswirkungen die Quagga-Muschel auf aus Metall oder Holz bestehende Fundobjekte hat, was möglicherweise zu einer erheblichen Schädigung der Fundobjekte führen könnte. Dies belegen die erstellten Modelle im Vergleich zu älteren fotografischen Dokumentationen. Besondere Bedeutung haben in diesem Kontext die beiden Modelle des Einbaums im Attersee und des Fernschreibers T36 LO im Attersee. Die Veränderungen, die durch den Muschelbefall in diesen beiden Fällen verursacht wurden, sind gravierend. Beim Einbaum ist es nicht mehr möglich, die korrekten Abmessungen zu bestimmen, noch lassen sich die durch Pohl (2017b) beschriebenen Details – wie die im Bugbereich vorgefundenen Nägel oder der seitlich liegende Steinanker – lokalisieren. Noch gravierender

5. Diskussion

ist die strukturelle Veränderung des Fernschreibers T36 LO. Der Muschelbewuchs hat hier zu einem vollständigen Verlust der erkennbaren Struktur geführt, sodass das Objekt mittlerweile ohne genaue Kenntnis der ursprünglichen Position oder den Einsatz großflächiger Metalldetektion nicht mehr auffindbar wäre. Hier wären bereits zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführte IBM-gestützte Untersuchungen von erheblichem wissenschaftlichen Wert gewesen. Eine nachträgliche Reinigung der Fundobjekte zur erneuten IBM-gestützten 3D Dokumentation und Analyse würde jedoch zum einen dem Prinzip der nichtinvasiven Methodik widersprechen, und zum anderen das Fundmaterial irreversibel beschädigen. Zudem ist derzeit nicht absehbar, in welchem Maße und über welchen Zeitraum hinweg die Fundobjekte durch den fortschreitenden Muschelbefall weiter beschädigt oder gänzlich zerstört werden könnten.

Weiters muss im Kontext der Quagga-Muschel-Problematik besonders der Wert der 3D-Modelle in Bezug auf die in dieser Arbeit erfassten Siedlungsbefunde hervorgehoben werden. Sowohl an der Station See im Mondsee, als auch an der Station Seewalchen I im Attersee verschwindet zunehmend die Möglichkeit den oberflächlich sichtbaren archäologischen Siedlungsbefund strukturell zu erfassen. Das fortschreitende Überwuchern durch sich immer weiter überlagernde Muschelschichten wird auch hier langfristig zu einem vollständigen Verlust der Sichtbarkeit führen. Ohne eine vorhergehende invasive Grabung wäre eine Dokumentation der betroffenen Strukturen dann nicht mehr möglich.

Ebenso lassen sich systematische Zusammenhänge oder möglicherweise sogar komplexe Strukturen wie Hausgrundrisse durch eine oberflächliche Betrachtung nicht mehr erfassen. Die 3D-Modellierungsergebnisse an der Station Seewalchen, Attersee, aber vor allem an der Station See, Mondsee, sind daher wissenschaftlich bedeutungsvolle Zustandsbeschreibungen der jeweiligen Fundstätten. Speziell das nahezu flächendeckende 3D-Modell der Station See stellt angesichts der massiv zunehmenden Besiedelung der Pfähle und des gesamten Seebodens durch die Quagga-Muschel eine essenzielle Momentaufnahme des oberflächlichen Siedlungsbefundes dar.

Des Weiteren stellen die 3D-Modelle einen Fortschritt für den denkmalpflegerischen Umgang mit den behandelten Fundstellen dar. Durch die präzise digitale Erfassung wird eine neue Form der langjährigen Überwachung der Fundstätten möglich, die nicht nur den aktuellen Status dokumentiert, sondern auch rückwirkende Vergleiche mit den Plänen früherer Forschungen erlaubt. Dies ermöglicht eine genauere Analyse der Veränderungen über Jahrzehnte hinweg und stellt eine wertvolle Ergänzung zu klassischen archäologischen Methoden dar.

Ein weiteres zentrales Ziel der 3D-Modelle ist die Erfassung eines Status quo, sowohl in Bezug auf anthropogene Einflüsse als auch auf natürliche Veränderungen der Fundstellen. Durch regelmäßige Modellierungen können Langzeitveränderungen detailliert erfasst und beobachtet werden. Besonders hilfreich ist dies, um freiliegende und ungeschützte Bereiche im Kontext der gesamten Fundstätte besser zu erkennen.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Farbtreue bei der Dokumentation der Befunde. Die Far-

5.2. Herausforderungen und Grenzen der Methodik

ben der Modelle bieten eine realitätsnahe Darstellung, welche für die spätere Analyse entscheidend ist. Eine Unterscheidungen verschiedener Materialien wie Stein, Holz, Keramik, Metall ist, sofern keine vorangegangene Bearbeitung auf dem Seegrund stattfindet, nur durch Farbunterscheidung zu realisieren.

Zudem erlauben die Modelle, archäologische Strukturen am Seegrund zu belassen, wodurch sie vor unnötiger Störung geschützt bleiben, während sie dennoch detailliert erforscht werden können.

Neben dem wissenschaftlichen Nutzen bietet die 3D-Modellierung auch eine neue Möglichkeit der Öffentlichkeitsarbeit. Unterwasserarchäologie ist für Menschen außerhalb der Forschung oft schwer greifbar, da die Fundstellen in der Regel nicht zugänglich sind. Durch die realitätsgetreuen 3D-Modelle lassen sich die Strukturen und ihr Zustand anschaulich vermitteln und einem breiten Publikum zugänglich machen.

Langfristig könnten diese 3D-Modelle die Grundlage für eine österreichweite Datenbank unterwasserarchäologischer Fundstätten bilden. Ein solches digitales Archiv würde nicht nur der wissenschaftlichen Forschung dienen, sondern auch dem Denkmalschutz und der Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit. Die aktuellen Modellierungen sind damit nicht nur eine Momentaufnahme der Fundstätten, sondern auch ein wichtiger Schritt zu einer neuen Ebene der systematischen Dokumentation des unter Wasser liegenden Kulturerbes.

5.2. Herausforderungen und Grenzen der Methodik

Die Durchführung der Untersuchung war mit einer Vielzahl methodischer und technischer Herausforderungen verbunden, die sowohl die großflächige Dokumentation als auch die präzise Erfassung und Modellierung einzelner Funde betrafen. Diese Herausforderungen resultierten aus einer Kombination physikalischer, umweltbedingter, technischer und finanzieller Limitationen, die den gesamten Forschungsprozess beeinflussten. Trotz zahlreicher innovativer Lösungsansätze konnten einige dieser Einschränkungen nur partiell kompensiert werden, wodurch die methodischen Grenzen der angewandten Verfahren deutlich wurden.

Technische Limitationen der Ausrüstung

Ein grundlegendes methodisches Problem bestand in der Entwicklung, Bereitstellung und Adaption geeigneter technischer Ausstattung für die spezifischen Anforderungen der subaquatischen Dokumentation. Da etwa 95 Prozent der benötigten Geräte vom Autor selbst bereitgestellt werden mussten, ergaben sich signifikante Herausforderungen im Hinblick auf die technologische Infrastruktur des Forschungsprojekts.

Die Kameraausrüstung stellte eine der zentralen technologischen Limitierungen dar. Die ursprünglich eingesetzte Nikon D600 Kamera, ein bereits 13 Jahre altes Modell, erwies sich insbesondere in Bezug auf Bildqualität, Lichtempfindlichkeit und Dynamikum-

5. Diskussion

fang als unzureichend für die anspruchsvollen subaquatischen Aufnahmebedingungen. Unter den variierenden Lichtverhältnissen der untersuchten Gewässer führte die eingeschränkte Sensorempfindlichkeit zu einem erhöhten Bildrauschen und reduzierter Detailgenauigkeit. Zudem begrenzte das eingesetzte 35-mm-Objektiv das Sichtfeld erheblich, was eine Vervierfachung der Bildanzahl für großflächige Modellierungen erforderlich gemacht hätte. Erst durch die Bereitstellung eines Domeports und die Nutzung eines Weitwinkelobjektivs – unterstützt durch das Vienna Institute for Archaeological Science – konnte der Aufnahmeprozess optimiert werden, wodurch sich die Datenerfassungseffizienz signifikant erhöhte.

Ein weiteres wesentliches Problem ergab sich aus der Notwendigkeit, konventionelle archäologische Messinstrumente für den Unterwassereinsatz zu adaptieren. Insbesondere die Verwendung von Maßstabelementen und Orientierungsmarkern war mit unerwarteten Schwierigkeiten verbunden. Während sich Maßstäbe mit Metallkern als weitgehend praktikabel erwiesen, stellte sich die Nutzung eines herkömmlichen Nordpfeils ohne Metallkern aufgrund seiner hohen Auftriebseigenschaften als problematisch dar. Die Stabilisierung dieses Instruments durch die improvisierte Befestigung eines Bleiblättchens stellte zwar eine funktionale Lösung dar, offenbarte jedoch die grundsätzlichen Herausforderungen, die sich aus der Übertragung terrestrischer Dokumentationstechniken in ein subaquatisches Umfeld ergeben.

Darüber hinaus wiesen die für die Untersuchung eingesetzten Unterwasserlampen erhebliche technische Limitationen auf. Aufgrund der spezifischen Anforderungen subaquatischer Beleuchtung, insbesondere in Gewässern mit variierenden Sichtweiten und Lichtbrechungseffekten, war die ursprünglich genutzte Beleuchtung nicht in der Lage, eine gleichmäßige, schattenfreie und farbtreue Ausleuchtung der Fundstellen zu gewährleisten. Die suboptimale Lichtführung führte zu Kontrastverlusten, Farbverfälschungen und einer ungleichmäßigen Verteilung der Lichtintensität innerhalb des Untersuchungsgebiets, was sich in einer reduzierten Präzision der erzeugten photogrammetrischen Modelle niederschlug. Eine professionelle Unterwasserlichtanlage hätte dieses Problem potenziell lösen können, war jedoch aufgrund finanzieller Einschränkungen im Rahmen der Arbeit noch nicht verfügbar. Zum aktuellen Zeitpunkt wurde jedoch bereits ein Antrag auf einen HEAS² Seed Grant eingereicht, um eine geeignete Lichtanlage für weitere Projekte anzuschaffen.

Kapazitätsgrenzen der Datenerfassung und -verarbeitung

Die Erfassung und Verarbeitung der großen Datenmengen stellte eine weitere zentrale methodische Herausforderung dar. Photogrammetrische Modellierungen, insbesondere in großflächigen Untersuchungsgebieten, erfordern nicht nur eine umfangreiche Datenerhebung, sondern auch eine leistungsfähige Infrastruktur zur Speicherung und Verarbeitung der erzeugten Bilddaten.

Die Speicherkapazität der verwendeten Kamera erwies sich als limitierender Faktor,

² <https://www.heas.at>

5.2. Herausforderungen und Grenzen der Methodik

da sie bei großflächigen Modellen eine erhöhte Anzahl an Tauchgängen erforderlich machte. Dies hatte zur Folge, dass sich Umweltbedingungen zwischen den Aufnahmen veränderten, was insbesondere bei der Modellierung von Strukturen mit hoher Detailgenauigkeit zu Inkonsistenzen in der Bildüberlagerung führte. Die begrenzte Speicherkapazität der verwendeten Datenträger erschwerte darüber hinaus die unmittelbare Sicherung und Überprüfung der Daten im Feld, was wiederum die Notwendigkeit zusätzlicher Kontrolltauchgänge nach sich zog.

Ein weiteres methodisches Problem bestand in der Rechenleistung, welche für die Verarbeitung der erzeugten 3D Modelle erforderlich war. Aufgrund der Größe der Datenmengen stieß der private Rechner des Autors schnell an seine Kapazitätsgrenzen, wodurch die Berechnung der photogrammetrischen Modelle ineffizient und zeitaufwendig wurde. Erst durch den Zugang zu einem Hochleistungsrechner des Vienna Institute for Archaeological Science konnte dieser Engpass partiell behoben werden, wodurch eine höhere Präzision in den Modellierungen erreicht werden konnte.

Zusätzlich traten Schwierigkeiten beim Datentransfer auf. Die enormen Dateigrößen überstiegen die Kapazitäten konventioneller Speicherlösungen, was den sicheren Transport und die langfristige Archivierung der Daten erschwerte. Zur Bewältigung dieses Problems war die Anschaffung zusätzlicher externer Festplatten erforderlich. Diese Maßnahmen verbesserten zwar die Datensicherheit, erhöhten jedoch den finanziellen und logistischen Aufwand des Projekts.

Georeferenzierungsprobleme und Präzisionsgrenzen

Die genaue Georeferenzierung der untersuchten Fundstellen war durch die verwendeten Messmethoden eingeschränkt. Während die Kombination aus Altdaten und neu erfassten Referenzpunkten eine grundlegende Orientierung ermöglichte, erwiesen sich die eingesetzten Verfahren insbesondere in größerer Wassertiefe als unzureichend für eine hochpräzise geodätische Fixierung der untersuchten Strukturen und Objekte.

Insbesondere entlang der Z-Achse zeigten sich erhebliche Messungenauigkeiten, was die exakte räumliche Positionierung der Fundstellen erschwerte. Diese Limitationen wirkten sich besonders nachteilig auf weiterführende Analysen aus, die eine präzise Positionsbestimmung erfordert hätten.

Ein spezifisches Problem bestand in der Anwendung der IBM-Technik zur Modellierung von Erosionsprozessen. Da die Aufnahme mehrerer präziser georeferenzierter Vergleichsmodelle über einen längeren Zeitraum hinweg notwendig sind um erosive Prozesse detailliert zu analysieren, wäre eine Einmessung der Markerpunkte mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich erforderlich gewesen. Die verfügbaren Messmethoden konnten diese Anforderungen jedoch nicht in allen Dimensionen erfüllen, insbesondere aufgrund der durch zunehmende Wassertiefe bedingten physikalischen Einschränkungen.

Ein vielversprechender alternativer Ansatz hätte in der Nutzung von ultraschallbasierten Unterwassermesstechniken bestanden, die für den Einsatz in großen Tiefen

5. Diskussion

optimiert sind. Diese Systeme hätten im Fall der tiefer gelegenen Objekte eine höhere Messgenauigkeit und eine verbesserte Georeferenzierung der Modelle ermöglicht, waren jedoch aufgrund der hohen Kosten und des erheblichen logistischen Aufwands nicht in das Projekt integrierbar.

Die genannten methodischen Herausforderungen und Restriktionen verdeutlichen die spezifischen Schwierigkeiten, die mit der Archäologie in Binnengewässern verbunden sind. Während durch innovative Anpassungen und die Unterstützung externer Forschungsinstitutionen einige Limitationen partiell kompensiert werden konnten, bleiben die strukturellen und technologischen Grenzen der eingesetzten Methodik bestehen. Die Analyse dieser Herausforderungen zeigt den zukünftigen Forschungsbedarf auf und betont die Notwendigkeit interdisziplinärer Ansätze zur Optimierung der Unterwas

Limitationen der Sonartechnologie

Neben den bereits diskutierten Herausforderungen in der Georeferenzierung und der Präzision der Messungen sind auch die physikalischen Grenzen der Sonartechnologie zu berücksichtigen. Obwohl Sonartechniken wie Side-Scan- und Multibeam-Sonar großflächige Gebiete effizient abdecken können, sind sie stark von den Umgebungsbedingungen abhängig. Faktoren wie Turbulenzen, Sedimentaufwirbelungen und Wasserdichte können die akustischen Signale erheblich stören und Artefakte in den Sonardaten erzeugen. Diese können zu Fehlinterpretationen führen, indem sie natürliche Formationen als potenziell archäologische Strukturen erscheinen lassen. Westerdahl (2011) zeigt, dass solche Störungen insbesondere in Binnengewässern die Datenqualität signifikant beeinträchtigen können. Daher ist es essenziell, diese Faktoren in der Interpretation der Sonardaten zu berücksichtigen und durch ergänzende Untersuchungsmethoden, wie taucherische Verifizierung und 3D-Modellierung, abzusichern. Die in dieser Arbeit angewandten Verfahren versuchen, diesen Einschränkungen bestmöglich entgegenzuwirken, dennoch bleiben technologische Grenzen bestehen, die zukünftige Entwicklungen im Bereich hochauflösender Sonarsysteme adressieren könnten.

Methodische Reflexion und interdisziplinäre Perspektiven

Neben den technischen und logistischen Herausforderungen ist auch eine methodische Reflexion der angewandten Verfahren im Kontext theoretischer Rahmenbedingungen erforderlich. Wie Lockyear u. Shlasko (2017) betonen, ist eine präzise geophysikalische Dateninterpretation essenziell für das Verständnis archäologischer Kontexte. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die angewandten Methoden zwar detaillierte dreidimensionale Rekonstruktionen ermöglichen, jedoch in ihrer Aussagekraft durch Messungenauigkeiten und Umweltfaktoren beeinflusst werden.

Eine weitere Optimierung der Untersuchungsmethodik könnte durch die verstärkte Integration interdisziplinärer Ansätze erfolgen. Beispielsweise haben Brown u. a. (2018) und Fischer u. Pedersen (2018) gezeigt, dass paläoökologische und geochemische Analysen einen wertvollen Beitrag zur Rekonstruktion vergangener Umweltbedingungen und

5.3. Beiträge zur Unterwasserarchäologie und zum Denkmalschutz

deren Einfluss auf Siedlungsdynamiken leisten können. Die Kombination solcher Methoden mit modernen Prospektionstechniken könnte nicht nur die räumliche und zeitliche Einordnung archäologischer Befunde präzisieren, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen prähistorischen Gemeinschaften und ihrer Umwelt besser erfassen.

Physiologische, physikalische und umweltbedingte Einschränkungen

Die physikalischen Eigenschaften des Untersuchungsraumes stellten eine grundlegende Herausforderung für die Datenerhebung dar. Besonders problematisch waren stark eingeschränkte Sichtweiten, die in einigen Bereichen unter einem Meter lagen. Diese limitierten Sichtbedingungen erschwerten nicht nur die Navigation, sondern beeinflussten auch die Konsistenz der Bildaufnahmen. In großflächigen Untersuchungsgebieten wie der Station „See“ erschwerte dies die präzise Positionierung und führte zu Lücken in den 3D-Modellen.

Neben der Sichtweite wirkten sich saisonale Schwankungen auf die Untersuchungsmethodik aus. Phänomene wie Algenblüten, wechselnde Lichtverhältnisse oder sinkende Wassertemperaturen beeinflussten die Arbeitsabläufe signifikant. Besonders niedrige Temperaturen zu Beginn und Ende der Tauchsaison begrenzten die potenzielle Aufenthaltsdauer unter Wasser und erforderten eine kontinuierliche Anpassung der Arbeitsplanung.

Eine Verbesserung der Navigationsgenauigkeit wäre durch den Einsatz von Führungslinien und strategisch platzierten Orientierungspunkten möglich gewesen. Diese Maßnahmen hätten die Reproduzierbarkeit der Messungen verbessert und potenzielle Abweichungen in den Modellen reduziert. Die Umsetzung dieser Maßnahmen war jedoch aufgrund zeitlicher und organisatorischer Restriktionen nicht durchführbar.

Die methodischen Herausforderungen dieser Untersuchung verdeutlichen die spezifischen Schwierigkeiten, die mit der Unterwasserarchäologie in Binnengewässern verbunden sind. Während viele der Probleme durch improvisierte Lösungen und technische Anpassungen partiell kompensiert werden konnten, bleiben einige methodische Grenzen bestehen, die sich auf die Genauigkeit und Effizienz der Dokumentation auswirken.

5.3. Beiträge zur Unterwasserarchäologie und zum Denkmalschutz

Die Unterwasserarchäologie in Österreich nimmt innerhalb der denkmalpflegerischen Maßnahmen nach wie vor eine marginale Rolle ein, obwohl die Binnengewässer des Landes eine außergewöhnliche Dichte und Vielfalt an archäologischen Fundstellen aufweisen. Während terrestrische Kulturgüter durch etablierte gesetzliche Rahmenbedingungen und finanzielle Förderungen eine gesicherte Grundlage für ihre Erforschung und Konservierung besitzen, fehlt es dem unterwasserarchäologischen Sektor an vergleichbaren strukturellen und finanziellen Ressourcen. Dies steht in starkem Kontrast

5. Diskussion

zu dem Potenzial, das die archäologischen Stätten in den österreichischen Gewässern bieten. Besonders die Pfahlbausiedlungen, Schiffs- und Fahrzeugwracks sowie versenkte Artefakte aus unterschiedlichen Epochen stellen bedeutende Zeugnisse vergangener Siedlungs- und Wirtschaftsräume dar. Ihre wissenschaftliche Untersuchung eröffnet weitreichende Perspektiven für das Verständnis historischer Lebensweisen, wirtschaftlicher Austauschbeziehungen und technologischer Entwicklungen.

Die unzureichende Integration der Unterwasserarchäologie in die österreichische Denkmalpflege zeigt sich insbesondere in der mangelnden institutionellen Verankerung und der fehlenden finanziellen Absicherung langfristiger Forschungs- und Schutzprogramme. Derzeit erfolgt die Dokumentation und Konservierung unterwasserarchäologischer Stätten größtenteils projektbasiert und ist häufig von temporären Förderungen abhängig. Dies führt dazu, dass viele Fundstellen nur punktuell erfasst werden und eine kontinuierliche Zustandsüberwachung der archäologischen Strukturen nicht gewährleistet ist. Ohne ein regelmäßiges Monitoring gehen jedoch wertvolle archäologische Informationen unwiederbringlich verloren, sei es durch natürliche Erosionsprozesse, biologische Ablagerungen oder anthropogene Einflüsse. Die systematische Überwachung dieser Prozesse erfordert eine solide finanzielle und logistische Grundlage, die bislang in Österreich nicht gegeben ist.

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass die Bedeutung unter Wasser befindlicher Kulturgüter nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern in einen internationalen Kontext eingebettet ist. In zahlreichen europäischen Ländern, darunter in der Schweiz, in Deutschland, in Frankreich, und in den skandinavischen Ländern, hat sich die Unterwasserarchäologie als eigenständiges wissenschaftliches Fachgebiet etabliert und ist integraler Bestandteil der nationalen Denkmalpflege. Die Fortschritte in diesen Ländern zeigen, dass gezielte Investitionen in moderne Prospektionsmethoden, Monitoring-Programme und Schutzkonzepte nicht nur zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beitragen, sondern auch eine nachhaltige Bewahrung archäologischer Fundstellen ermöglichen. Österreich verfügt über vergleichbare kulturelle und geologische Rahmenbedingungen, doch bislang fehlt eine umfassende Strategie, die diesen Forschungsbereich auf eine stabile Grundlage stellt.

Ein zentraler Schritt in diese Richtung wäre die Implementierung eines landesweiten Programms für die großflächige, nicht-invasive Prospektion neuer Fundstellen. Die bisherigen Forschungsergebnisse legen nahe, dass eine Vielzahl bedeutender archäologischer Strukturen in den österreichischen Gewässern bislang unentdeckt geblieben ist. Dies betrifft nicht nur prähistorische Pfahlbauten, sondern auch mittelalterliche Hafenanlagen und Unterwasserbauten, versenkte Handelsgüter, Wracks und militärhistorische Hinterlassenschaften. Der gezielte Einsatz hochauflösender geophysikalischer Methoden wie Sonarkartierungen, Magnetometrie und Sedimentanalysen könnte dazu beitragen, diese Fundstellen zu lokalisieren und systematisch zu dokumentieren.

Die archäologische Untersuchung unterwassererhaltener Strukturen eröffnet wertvolle

5.3. Beiträge zur Unterwasserarchäologie und zum Denkmalschutz

Perspektiven auf die materielle Kultur und Bauweise der prähistorischen Pfahlbauten. Diese Aspekte liefern nicht nur Erkenntnisse über technische Konstruktionsmethoden, sondern ermöglichen auch direkte Rückschlüsse auf die sozioökonomische Organisation der damaligen Gemeinschaften. Forschungen, wie sie von Lüning (2000) und Menotti (2012) dargelegt wurden, zeigen, dass sich soziale Differenzierung und wirtschaftliche Spezialisierung in der räumlichen Anordnung, Größe, und den infrastrukturellen Verknüpfungen dieser Bauten widerspiegeln. Die Einbindung solcher theoretischen Ansätze in die Interpretation der mit modernen Prospektionsmethoden gewonnenen Daten bietet die Möglichkeit, die Rekonstruktion der damaligen Lebensweise weiter zu präzisieren und ein tieferes Verständnis der Mensch-Umwelt-Interaktionen in prähistorischen Siedlungen zu gewinnen.

Die großflächige Erfassung und georeferenzierte Archivierung unterwasserarchäologischer Fundstätten ist nicht nur für die wissenschaftliche Forschung von Bedeutung, sondern bildet auch eine unverzichtbare Grundlage für zukünftige denkmalpflegerische Maßnahmen. Ohne eine umfassende Bestandsaufnahme bleiben viele Fundstellen ungeschützt und sind dem fortschreitenden Abbau durch natürliche und anthropogene Faktoren ausgesetzt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Schutzmaßnahmen nur dann effektiv greifen können, wenn sie auf einer soliden Datenbasis beruhen. Die langfristige Überwachung der Fundstellen erfordert daher ein koordiniertes Vorgehen, das sowohl regelmäßige digitale Dokumentationen als auch gezielte Schutzmaßnahmen umfasst.

Eine weitere wesentliche Herausforderung besteht in der zunehmenden Bedrohung unterwasserarchäologischer Stätten durch Umweltveränderungen. Klimatische Einflüsse wie steigende Temperaturen, veränderte Strömungsverhältnisse und Schwankungen im Wasserspiegel haben direkte Auswirkungen auf die Erhaltung archäologischer Materialien. Organische Substanzen wie Holz oder Textilien, die über Jahrtausende in einem stabilen aquatischen Milieu konserviert wurden, können durch Veränderungen der chemischen und biologischen Bedingungen beschleunigt abgebaut werden. Insbesondere die zunehmende Verbreitung invasiver Muschelarten wie der Quagga-Dreikant-Muschel stellt eine ernsthafte Gefahr für viele Fundstellen dar. Diese Arbeit illustriert anschaulich, dass dieser biologische Bewuchs die Sichtbarkeit archäologischer Strukturen massiv einschränkt. Eine weitere physische Schädigung der Artefakte durch den dokumentierten starken Muschelbefall ist sehr wahrscheinlich und besorgniserregend.

Um diesen Herausforderungen begegnen zu können ist eine verstärkte Integration der Unterwasserarchäologie in bestehende denkmalpflegerische Strukturen erforderlich. Die Entwicklung standardisierter Verfahren zur Dokumentation, Analyse und Schutzplanung könnte dazu beitragen gefährdete Fundstellen frühzeitig zu identifizieren um gezielte Erhaltungsmaßnahmen einzuleiten. Dazu gehört auch die Schaffung klarer rechtlicher Rahmenbedingungen, die den Schutz von unter Wasser befindlichen Kulturgüter verbindlich regeln. Derzeit sind viele Fundstellen nicht ausreichend durch gesetzliche Bestimmungen abgesichert, was zu unkontrollierten Eingriffen und Schäden durch Freizeitaktivitäten oder Bauvorhaben führen kann.

5. Diskussion

Ein entscheidender Faktor für den Erfolg zukünftiger Schutzstrategien ist die Bereitstellung langfristig gesicherter finanzieller Mittel. Derzeit sind viele denkmalpflegerische Initiativen im Bereich der Unterwasserarchäologie von kurzfristigen Förderprojekten abhängig, die keine nachhaltige Planung ermöglichen. Eine stabile finanzielle Basis würde es ermöglichen, regelmäßige Monitoring-Programme zu etablieren, Schutzkonzepte zu entwickeln und moderne Dokumentationstechnologien kontinuierlich weiterzuentwickeln. In Ländern wie der Schweiz oder Deutschland haben vergleichbare Investitionen dazu beigetragen, dass die Unterwasserarchäologie nicht mehr als ein Randbereich der Denkmalpflege betrachtet wird, sondern als gleichwertige Disziplin innerhalb des archäologischen und denkmalpflegerischen Sektors anerkannt ist. In Bezug auf die teilweise hervorragenden Erhaltungsbedingungen von organischen Materialien Unterwasser fällt der Untersuchung und Bewahrung von Unterwasserfundstätten eine wichtige Rolle in der archäologischen Forschung zu.

Neben der wissenschaftlichen Erforschung und dem Schutz archäologischer Fundstellen ist es auch von zentraler Bedeutung, das öffentliche Bewusstsein für die Bedeutung des unterwasserarchäologischen Erbes zu schärfen. Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass digitale Dokumentationsverfahren ein großes Potenzial für die museale Vermittlung und die öffentliche Aufbereitung archäologischer Erkenntnisse bieten. Virtuelle Rekonstruktionen, interaktive 3D-Modelle und digitale Museumspräsentationen ermöglichen es, Fundstellen, die für die breite Öffentlichkeit unzugänglich sind, auf innovative Weise zu präsentieren. Eine stärkere Vernetzung zwischen Forschung, Denkmalpflege und Kulturvermittlung könnte dazu beitragen, das kulturelle Erbe der österreichischen Gewässer einer breiteren Bevölkerungsschicht näherzubringen und gleichzeitig das Bewusstsein für die Notwendigkeit seines Schutzes zu fördern.

Die Forschungsergebnisse dieser Arbeit machen deutlich, dass es dringend erforderlich ist, der Unterwasserarchäologie in Österreich einen höheren Stellenwert innerhalb der nationalen Denkmalpflege einzuräumen. Die vorhandenen Kulturgüter stellen ein wertvolles archäologisches Erbe dar, dessen Erhaltung nicht dem Zufall überlassen werden darf. Eine umfassende Strategie, die großflächige nicht-invasive Prospektionen, regelmäßige Monitoring-Programme und stabile finanzielle Strukturen umfasst, könnte dazu beitragen, den wissenschaftlichen und denkmalpflegerischen Umgang mit diesen Fundstätten auf eine nachhaltige Grundlage zu stellen. Die Entwicklungen in anderen europäischen Ländern zeigen, dass ein solcher Ansatz nicht nur realisierbar, sondern auch dringend notwendig ist, um das außergewöhnliche Potenzial der Unterwasserarchäologie in Österreich vollständig zu erschließen.

6. Zusammenfassung

Es konnte im Rahmen dieser Arbeit überzeugend dargelegt werden, dass moderne unterwasserarchäologische Prospektions- und Dokumentationsmethoden essenziell für die systematische detaillierte Erfassung und somit den Schutz von unter Wasser liegender Kulturerbestätten sind. Die Fallstudien aus dem Attersee und Mondsee haben gezeigt, dass mittels großflächiger 3D-fotogrammetrischer Aufnahme eine präzise, zerstörungsfreie Dokumentation möglich ist. In Kombination mit geophysikalischen Messmethoden wie Multibeam-Sonar, Side-Scan-Sonar und Sedimentsonar ergeben sich vollkommen neue Möglichkeiten für die unterwasserarchäologische Forschung und den Denkmalschutz. Durch den Einsatz einer für die österreichische Unterwasserarchäologie in diesem Umfang neuartigen Vorgehensweise konnte nicht nur der aktuelle Zustand archäologischer Strukturen detailliert erfasst werden, sondern auch deren Gefährdungspotenzial durch Umweltfaktoren und menschliche Einflüsse anschaulich dargestellt werden.

Besonders die großflächige, hochauflösende IBM Fallstudie der prähistorischen Station See im Mondsee hat eindrucksvoll verdeutlicht, dass fotogrammetrische Verfahren eine sehr detaillierte Dokumentation der Oberfläche einer kompletten Pfahlbaufundstätte ermöglichen, die sowohl für wissenschaftliche Analysen als auch für denkmalpflegerische Schutzmaßnahmen von großer Bedeutung ist. Durch die Erstellung digitaler 3D-Modelle konnten nicht nur die strukturellen Eigenschaften und der Erhaltungszustand der Fundstellen dokumentiert, sondern auch Erkenntnisse über Erosionsprozesse, Veränderungen und den Einfluss invasiver Arten, d.h. die Quagga-Muschel gewonnen werden. Diese Faktoren stellen eine zunehmende Bedrohung für unterwasserarchäologische Fundstätten in österreichischen Seen dar und unterstreichen die Dringlichkeit von gezielten Schutzmaßnahmen, und eben der demonstrierten detaillierten Dokumentation.

Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist die Erkenntnis, dass die Unterwasserarchäologie in Österreich dringend ein systematisches und nachhaltiges Konzept benötigt, um das archäologische Erbe unterwasser langfristig bewahren zu können. Die Ergebnisse belegen, dass moderne Prospektions- und Dokumentationsmethoden nicht nur für die Forschung, sondern auch für den Schutz und die langfristige Überwachung archäologischer Fundstellen von großer Bedeutung sind. Ohne eine systematische Bestandsaufnahme und kontinuierliche Dokumentation besteht die Gefahr, dass wertvolle Kulturgüter unwiederbringlich verloren gehen, bevor sie überhaupt wissenschaftlich untersucht werden konnten. Daher ist es essenziell, dass der hier demonstrierte wissenschaftliche Ansatz kontinuierlich weiterentwickelt und gezielt in den Denkmalschutz

6. Zusammenfassung

integriert wird.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit hat sich als besonders erfolgversprechend erwiesen, da sie es ermöglicht, kulturgeschichtliche (d.h. archäologische und historische) und technisch-naturwissenschaftliche (fotogrammetrische, geodätische, geophysikalische) Erkenntnisse miteinander zu verknüpfen. Die enge Kooperation zwischen Archäolog:innen, Denkmalpfleger:innen, Fotogrammeter:innen, Vermessungskundler:innen/Geodät:innen, Geophysiker:innen, und weiteren Naturwissenschaftler:innen wie Sedimentolog:innen ist als ein ganzheitlicher Forschungsansatz notwendig, um das komplexe Zusammenspiel zwischen archäologischen Strukturen und ihrer Umwelt verstehen zu können. Dieser Ansatz sind nicht nur für die Erforschung prähistorischer Fundstätten von fundamentaler Bedeutung, sondern auch für den Schutz historischer und neuzeitlicher Objekte, die auf dem Grund von Binnengewässern liegen.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse leisten einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung der Unterwasserarchäologie in Österreich und darüber hinaus. Sie zeigen, dass moderne Dokumentations- und Prospektionsmethoden nicht nur dabei helfen können, Fundstätten präziser zu erfassen, sondern damit auch eine Grundlage für eine langfristige Überwachung – ein Monitoring zu gewinnen, um nachhaltige Schutzkonzepte entwickeln zu können. Durch die enge Verbindung technologischer Innovationen, die interdisziplinärer Zusammenarbeit, und einen zeitgemässen archäologischen Forschungsansatz eröffnen sich neue Perspektiven, um die Hinterlassenschaften vergangene Kulturen in ihrer ursprünglichen Umgebung zu erforschen und dieses Weltkulturerbe für die Zukunft, zumindest digital zu bewahren. Die Seenlandschaften Österreichs sind ein einzigartiges Archiv ihrer Bewohner durch alle Zeiten – eines, das es weiter zu entschlüsseln, zu schützen und für kommende Generationen lebendig zu halten gilt. Jede Entdeckung trägt dazu bei, unser Verständnis der Vergangenheit zu vertiefen und die Verantwortung zu stärken, dieses kostbare Erbe zu bewahren.

7. Ausblick

7.1. Empfehlungen für zukünftige Forschung

Die Unterwasserarchäologie stellt besondere methodische und technische Herausforderungen dar, insbesondere im Bereich der großflächigen 3D-Modellierung und der georeferenzierten Dokumentation von Fundstellen im Flachwasserbereich. Eine zentrale Herausforderung besteht in der Wahl geeigneter Beleuchtungstechnik, da wechselnde Umweltbedingungen unter Wasser eine gleichmäßige Farbwiedergabe und eine hohe Detailgenauigkeit erschweren. Eine gezielte Optimierung der Beleuchtungstechnik würde eine gleichmäßige und naturgetreue Farbwiedergabe im Flachwasser sowie eine gesteigerte Detailgenauigkeit und verbesserte Kontrastdarstellung in größeren Tiefen ermöglichen. Die Forschung sollte daher in modulare Beleuchtungssysteme investieren, die flexibel an verschiedene Umweltbedingungen angepasst werden können. Die Integration von mobilen Hochleistungs-Lichtquellen könnte optimale Beleuchtungsstrategie ermöglichen.

Neben der Beleuchtungstechnik stellt auch die Kamera- und Gehäusetechnologie einen wesentlichen Faktor für die Qualität der aufgenommenen Bilddaten dar. Moderne Kamerasysteme bieten eine verbesserte ISO-Sensitivität, die eine höhere Auflösung mit weniger Bildrauschen ermöglicht. Besonders für großflächige Prospektionen ist eine Umstellung auf spiegellose Kamerasysteme sinnvoll, da diese eine schnellere Bildverarbeitung und eine stabilere Aufnahmefrequenz erlauben. Diese Optimierung würde eine effizientere Ausnutzung der Tauchzeiten ermöglichen und damit sowohl die wissenschaftliche als auch die wirtschaftliche Rentabilität steigern. Die Verwendung moderner Unterwassergehäuse ist ebenfalls erforderlich, um die erweiterten technischen Spezifikationen neuer Kamerasysteme optimal zu nutzen, und Weitwinkelobjektive nutzen zu können, die im Flachwasser die Aufnahme größerer Bildausschnitte ermöglichen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Investition in leistungsfähige Rechensysteme, da die Verarbeitung großflächiger 3D-Modelle erhebliche Anforderungen an die Hardware stellt. Der Einsatz moderner, leistungsfähiger Computer mit neuen Grafikkarten (GPUs), umfassendem Arbeitsspeicher, Solid-State-Festplatten (SSDs) und optimierter Software kann die Berechnung und Erstellung sehr großer, detaillierter 3D Modelle erst ermöglichen und die Berechnungszeiten auf erträgliche Zeiträume verkürzen. Die hier verwendete hochwertige *Dell Alienware Aurora R13* Gaming PC mit 12th generation Intel® Core™ i9-12900KF Prozessor (16 Cores, 30 MB Cache, 3,2 GHz bis 5,2 GHz mit Turbo Boost Max 3.0), einer NVIDIA® GeForce RTX™ 3090 24 GB GDDR6X

7. Ausblick

Grafikkarte, 128 GB RAM Arbeitsspeicher, 2 TB Solid-State und 2 TB SATA Festplatten wurde speziell für die Berechnung der hier präsentierten sehr großen IBM Modelle angeschafft. Leistungsfähige Computersysteme steigern die Effizienz und erlauben die Berechnung und Texturierung hochauflösten Modell mit millimetergenauer Präzision, was insbesondere für Langzeitstudien zur Überwachung von Erosionsprozessen von großer Bedeutung ist.

Die Bereitstellung ausreichender Speicherkapazitäten, ergänzt durch externe Backups, würde darüber hinaus die langfristige Verfügbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Forschungsdaten sicherstellen. Die Anschaffung von Hochleistungs-Arbeitsrechnern sowie die Einbindung von effizienten Cloud-Computing-Optionen sollte daher als wesentliche Voraussetzung für zukünftige Forschungsprojekte angesehen werden.

Zukünftige Forschungen sollten verstärkt auf die kombinierte Nutzung verschiedener Image-Based Modelling (IBM)-Programme setzen, um die jeweiligen Stärken einzelner Softwarelösungen gezielt zu nutzen und die Effizienz der 3D-Rekonstruktion zu maximieren. Ein vielversprechender Ansatz besteht darin, das Kamera-Alignment in *Agisoft Metashape* durchzuführen, da diese Software leistungsstarke Algorithmen zur automatisierten Georeferenzierung und Kamerakalibrierung bietet. Die berechneten Kameraparameter könnten anschließend als `bundler.out` Packet exportiert und in die kostenfreie Software *Reality Capture* importiert werden, um dort die Punktwolkenberechnung und die anschließende 3D-Vermaschung vorzunehmen. Durch diesen hybriden Arbeitsablauf ließe sich unter Umständen eine noch höhere Präzision der 3D-Modelle erreichen, während gleichzeitig die Rechenzeit optimiert und Artefaktbildung in den Punktwolken minimiert wird. Besonders für großflächige Prospektionen und die Dokumentation komplexer archäologischer Strukturen könnte diese Methodenkombination eine wertvolle Ergänzung darstellen. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich daher darauf konzentrieren, standardisierte Arbeitsabläufe für die Nutzung unterschiedlicher IBM-Programme zu entwickeln, um eine systematische und reproduzierbare Modellierung archäologischer Fundstellen zu gewährleisten. Die Integration solcher hybriden Methoden könnte zudem die Langzeitbeobachtung von Erosionsprozessen oder strukturellen Veränderungen in bisher nicht erreichter Genauigkeit ermöglichen.

Auch die Vermessungstechnik unter Wasser bedarf einer Modernisierung, um eine präzisere Georeferenzierung der Fundstellen gewährleisten zu können. Die derzeit verwendeten Vermessungsmethoden basieren auf einer Kombination aus GPS-Bojen, Maßbändern und RTK-GNSS-Systemen (*EMLID REACH RS2*), die durch fortschrittlichere Technologien ergänzt werden könnten. Ein modernes *EMLID REACH RS3*-System mit integriertem Neigungsmesser würde beispielsweise eine genauere Erfassung von Lage- und Neigungswinkeln ermöglichen, wodurch dreidimensionale Vermessungen mit geringeren Fehlerquoten durchgeführt werden könnten.

Neben technischen Verbesserungen spielt auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit eine entscheidende Rolle für die Weiterentwicklung der Unterwasserarchäologie. Eine verstärkte Kooperation zwischen Archäolog:innen, geophysikalischen Prospektionsex-

7.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Erhaltung des UNESCO-Welterbes

pert:innen, und Geoarchäolog:innen könnte zu neuen Erkenntnissen über die Struktur und den Aufbau von Fundplätzen, zu Sedimentationsprozessen und Erosionsmechanismen führen. Gleichermassen kann die Zusammenarbeit mit Spezialisten für 3D Image-Based Modelling die Integration neuer Werkzeuge und Algorithmen zur Optimierung der Modellierungsprozesse ermöglichen. Darüber hinaus würde die Einbindung professioneller Forschungstaucher:innen aus verschiedenen Fachrichtungen die Datenerhebung durch Experten mit praxisnaher Erfahrung optimieren und damit zu einer präziseren und effizienteren Dokumentation archäologischer Fundstellen beitragen. Die interdisziplinäre Vernetzung verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen sollte daher gezielt gefördert werden, um eine umfassendere Aufnahme und Analyse der unter Wasser liegenden archäologischen Strukturen zu ermöglichen.

Ein langfristiger und nachhaltiger Ansatz für die Unterwasserarchäologie in Österreich wäre die institutionelle Absicherung der Forschung durch die Einrichtung eines spezialisierten Forschungsbereichs an einer universitären Institution. Eine zentrale Forschungsstelle für Unterwasserarchäologie könnte die Koordination wissenschaftlicher Projekte übernehmen und eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Methoden sicherstellen. Zudem würde eine gesicherte institutionelle Finanzierung dazu beitragen, dass großflächige Prospektions- und Dokumentationsarbeiten langfristig fortgesetzt werden können, selbst wenn sich Umweltbedingungen oder wissenschaftliche Prioritäten verändern. Eine solche Institution könnte auch als zentrale Anlaufstelle für die Verwaltung von Forschungsequipment und Datenbanken fungieren, um die langfristige Sicherstellung von Forschungsergebnissen zu gewährleisten.

7.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Erhaltung des UNESCO-Welterbes

Die im Rahmen dieser Arbeit erzielten Ergebnisse leisten einen neuen, wesentlichen Beitrag zur Dokumentation, zur Überwachung – dem Monitoring – und somit zur Verwaltung und Erhaltung des UNESCO-Weltkulturerbes *„Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“*. Sie verdeutlichen die Dringlichkeit gezielter Schutzmaßnahmen. Die detaillierte Dokumentation der archäologischen Strukturen am Attersee und Mondsee bietet eine Grundlage für die langfristige Überwachung des Erhaltungszustands dieser Fundstätten und ermöglicht eine systematische Bewertung der Gefährdungsfaktoren. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere natürliche Erosionsprozesse, Sedimentumlagerungen, und die zunehmende Besiedlung mit invasiven Arten, insbesondere der Quagga-Dreikantmuschel, eine akute Bedrohung für die Erhaltung der Fundstätten darstellen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer Ausweitung kontinuierlicher Überwachungs-Programme wie die des Kuratoriums Pfahlbauten, um geeignete Maßnahmen zum Schutz der archäologischen Strukturen einzuleiten.

Ein zentraler Beitrag dieser Arbeit liegt in der Erstellung präziser 3D-Modelle der Station See im Mondsee sowie der Sprungturmgrube Seewalchen im Attersee, die ei-

7. Ausblick

ne grundlegende Voraussetzung für die detaillierte Erosionskontrolle und die Langzeitüberwachung dieser UNESCO-Welterbestätten darstellen. Durch die Integration zeitgemässer digitaler Dokumentationstechniken, insbesondere der 3D-Fotogrammetrie, konnten hochauflösende digitale Modelle generiert werden, die nicht nur den aktuellen Erhaltungszustand dieser Fundstätten erfassen, sondern insbesondere auch als Referenz für zukünftige denkmalpflegerische Maßnahmen dienen. Sie bilden die Grundlage für eine systematische und objektive Erfassung von zukünftigen Veränderungen, die durch natürliche Erosionsprozesse, Muschelbewuchs, anthropogene Eingriffe, oder extreme Wetterereignisse und Wasserstandsschwankungen verursacht werden können.

Von besonderer Bedeutung für das UNESCO-Weltkulturerbe ist die Möglichkeit, die neu erstellten 3D-Modelle mit früheren Forschungsdaten und historischen Aufzeichnungen abzugleichen, wie dem von Offenberger erstellten Plan des Pfahlfeldes der Station See von 1986. Dieser Vergleich erlaubt es, im Rahmen der Georeferenzierungsgenauigkeit und dem Detaillierungsgrad der Aufzeichnungen, die Dynamik der Umweltveränderungen nachzuvollziehen um gezielt Schutzmaßnahmen entwickeln zu können, mit dem Ziel irreversible Schäden soweit möglich zu verhindern. Die moderne detaillierte digitale Dokumentation liefert somit eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Langzeitüberwachung und den Schutz dieser einzigartigen Fundstätten.

Darüber hinaus kann die großflächige 3D-Modellierung zur virtuellen Rekonstruktion gefährdeter oder bereits teilweise zerstörter Strukturen beitragen, und auf diese Weise eine mögliche nachhaltige Dokumentation der Fundstellen für zukünftige Generationen gewährleisten, sowie darüber hinaus neue Möglichkeiten für die archäologische Forschung eröffnen, indem die Modelle für digitale Analysen, Simulationen und konservatorische Planungen genutzt werden können. Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass eine kontinuierliche detaillierte wie umfassende digitale Dokumentation und der regelmäßige Abgleich mit früheren Forschungen essenziell sind, um die langfristige Erhaltung des UNESCO-Weltkulturerbes sicherzustellen und fundierte Entscheidungen über denkmalpflegerische Maßnahmen zu ermöglichen.

Diese Studie zeigt im internationalen Zusammenhang der Pfahlbaudokumentation und -forschung auf, wie mit technisch relativ einfachen, kosteneffektiven Mitteln bedeutende Unterwasserfundstätten umfänglich im höchstmöglichen Detaillierungsgrad dokumentiert werden können, und unterstützt somit die gemeinsame Entwicklung nachhaltiger Erhaltungsmaßnahmen um bestehende Schutzkonzepte weiterzuentwickeln und länderübergreifend anzupassen.

Neben der unmittelbaren detaillierten wissenschaftlich wie denkmalpflegerisch relevanten Dokumentation gestatten die eindrucklichen Ergebnisse dieser Arbeit auch, das Bewusstsein für den faszinierenden Erhaltungszustand der 5500 Jahre alten Pfahlbau-Überreste in der breiteren Öffentlichkeit zu heben und die Notwendigkeit für ihre Bewahrung anschaulich zu vermitteln. Der UNESCO-Welterbestatus bietet eine Plattform für Bildungsinitiativen und nachhaltigen Kulturtourismus, welche zur langfristigen Sicherung der Fundstätten beitragen können. Die in dieser Studie gewonnenen

7.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Erhaltung des UNESCO-Welterbes

Daten unterstützen diese Bemühungen, indem sie für Ausstellungskonzepte, digitale Rekonstruktionen und interaktive Vermittlungsformate genutzt werden können. Die langfristige Erhaltung der UNESCO-Pfahlbauten erfordert daher eine enge Verknüpfung von wissenschaftlicher Forschung, einer angepassten Denkmalschutzstrategie und einer öffentlichen Sensibilisierung, um dieses einzigartige kulturelle Erbe für zukünftige Generationen zu bewahren.

Literaturverzeichnis

- [Adami u. a. 2019] ADAMI, A. ; FREGONESE, L. ; GALLO, M. ; HELDER, J. ; PEPE, M. ; TRECCANI, D.: Ultra-Light UAV Systems for the Metrical Documentation of Cultural Heritage: Applications for Architecture and Archaeology. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLII-2/W17 (2019), 15–21. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-15-2019>. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-15-2019. – ISSN 2194–9034
- [Agisoft 2025] AGISOFT: *Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 2.2*, 2025. <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>. – Version 2.2
- [Alexandris u. a. 2024] ALEXANDRIS, Christos ; PAPAGEORGAS, Panagiotis ; PIROMALIS, Dimitrios: Positioning Systems for Unmanned Underwater Vehicles: A Comprehensive Review. In: *Applied Sciences* 14 (2024), Nr. 21, 9671. <http://dx.doi.org/10.3390/app14219671>. – DOI 10.3390/app14219671. – ISSN 2076–3417
- [Aznar-Gómez 2010] AZNAR-GÓMEZ, Mariano J.: Treasure Hunters, Sunken State Vessels and the 2001 UNESCO Convention on the Protection of Underwater Cultural Heritage. In: *ESTU* 25 (2010), Nr. 2, 209–236. <http://dx.doi.org/10.1163/157180910X12665776638623>. – DOI 10.1163/157180910X12665776638623. – ISSN 0927–3522, 1571–8085
- [Bailey u. Flemming 2008] BAILEY, Geoff ; FLEMMING, N: Archaeology of the continental shelf: Marine resources, submerged landscapes and underwater archaeology. In: *Quaternary Science Reviews* 27 (2008), Nr. 23, 2153–2165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.08.012>. – DOI 10.1016/j.quascirev.2008.08.012. – ISSN 02773791
- [Bailey u. a. 2017] BAILEY, Geoff. ; HARFF, Jan ; SAKELLARIOU, Dimitris ; BAILEY, Geoff. (Hrsg.) ; HARFF, Jan (Hrsg.) ; SAKELLARIOU, Dimitris (Hrsg.): *Under the Sea: Archaeology and Palaeolandscapes of the Continental Shelf*. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-53160-1>. Version: 2017 (Coastal Research Library)
- [Bailey u. a. 2020] BAILEY, Geoff N. ; GALANIDU, Nena ; PEETERS, Hans ; JöNS, Hauke ; MENNENGA, Moritz ; FLEMMING, Nicholas C. ; SAKELLARIU, Dēmētrēs: *The Archaeology of Europe´s Drowned Landscapes*. 1 st ed. 2020. Springer Open, 2020 (Coastal research library volume 35). – ISBN 978–3–030–37366–5. – ISSN: 978-3-030-37366-5
Publication Title: Coastal research library
- [Barnard u. a. 2016] BARNARD, Hans ; WENDRICH, W. Z. ; WINKELS, A. ; BOS, J. ; SIMPSON, E.

- ; CAPPERS, R.T.: The preservation of exposed mudbrick architecture in Karanis (Kom Aushim). In: *Journal of Field Archaeology* 41.1 (2016)
- [Bartosiewicz 2002] BARTOSIEWICZ, László: Dogs from the Ig pile dwellings in the National Museum of Slovenia. In: *Arheološki vestnik* 53 (2002). – ISSN 0570–8966
- [Bass 2011] Bass, George F.: *The Development of Maritime Archaeology*. Oxford University Press, 2011 (Oxford Handbooks Online). <http://dx.doi.org/DOI:10.1093/oxfordhb/9780195375176.013.0000>. <http://dx.doi.org/DOI:10.1093/oxfordhb/9780195375176.013.0000>
- [Bethencourt u. a. 2018] BETHENCOURT, Manuel ; FERNÁNDEZ-MONTBLANC, Tomás ; IZQUIERDO, Alfredo ; GONZÁLEZ-DUARTE, Manuel M. ; MUÑOZ-MAS, Cristian: Study of the influence of physical, chemical and biological conditions that influence the deterioration and protection of Underwater Cultural Heritage. In: *Science of The Total Environment* 613–614 (2018), 98–114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.007>. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.09.007. – ISSN 00489697
- [Bintliff 2012] BINTLIFF, John: *The complete archaeology of Greece: from hunter-gatherers to the 20th century AD*. John Wiley & Sons, 2012
- [Block u. a. 2017a] BLOCK, Marco ; DWORSKY, Cyril ; Löw, Carmen ; SEIDL DA FONSECA, Helena ; GEHMLICH, Benjamin ; WITTCHEN, Dennis ; GÖRSCH, Niklaas ; SUCHOWSKA, Paulina ; DUCKE, Benjamin: Underwater Videogrammetry with Adaptive Feature Detection at “See am Mondsee“, Austria. In: *SDH* 1 (2017), Nr. 2, 547–565. <http://dx.doi.org/10.14434/sdh.v1i2.23202>. – DOI 10.14434/sdh.v1i2.23202. – ISSN 2574–1748
- [Block u. a. 2017b] BLOCK, Marco ; GEHMLICH, Benjamin ; HETTMANCZYK, Damian: Automatic Underwater Image Enhancement using Improved Dark Channel Prior. In: *SDH* 1 (2017), Nr. 2, 566–589. <http://dx.doi.org/10.14434/sdh.v1i2.23214>. – DOI 10.14434/sdh.v1i2.23214. – ISSN 2574–1748
- [Blondel 2009] BLONDEL, Philippe: *The Handbook of Sidescan Sonar*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009 (Springer Praxis Books). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-49886-5>. – ISBN 978–3–540–42641–7 978–3–540–49886–5
- [Blue Robotics 2024] BLUE ROBOTICS, Inc: *BlueROV2 (R1 and R2) Assembly and Build Instructions*, 2024. <https://bluerobotics.com/learn/bluerov2-assembly-r1-r2/>
- [Breitwieser u. Jansa 2012] BREITWIESER, Rupert ; JANS, Viktor: Der „römische Hafen“ von Weyregg. Ein Arbeitsbericht. In: *Stadt, Land, Fluss/Weg* (2012), 9 – 14. <https://ubdata.univie.ac.at/AC09452465>
- [Briggs 2019] BRIGGS, Elizabeth H.: *Ancient Shipwrecks and Archaeological Science*. (2019)

- [Brown u. a. 2018] BROWN, Alex ; RUSSELL, John ; SCAIFE, Rob ; TIZZARD, Louise ; WHITTAKER, John ; WYLES, Sarah F.: Lateglacial/early Holocene palaeoenvironments in the southern North Sea Basin: new data from the Dudgeon offshore wind farm. In: *Journal of Quaternary Science* (2018)
- [Brümmer u. a. 2021] BRÜMMER, F. ; TERSTEEGEN, J. ; RAPP, L. ; BECK, R. ; SCHENK-TRAUTMANN, T. ; RAMM, A. ; LIEBICH, D. ; GENTH, F. ; DAUL, A. ; GRÄFF, M. ; OLDORFF, S. ; SCHILL, R. O. ; MÜLLER, R. W.: Monitoring the invasive quagga mussel by recreational divers in a citizen science project. In: *FOG - Freiberg Online Geoscience* 58 (2021), 54–65. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=grc&AN=154113122&site=ehost-live>. – ISSN 14347512. – Publisher: FOG - Freiberg Online Geoscience
- [Bulut u. Yüceer 2023] BULUT, Nihan ; YÜCEER, Hülya: A literature review on the management of underwater cultural heritage. In: *Ocean & Coastal Management* 245 (2023), 106837. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106837>. – DOI 10.1016/j.ocecoaman.2023.106837. – ISSN 09645691
- [Burns u. a. 2015] BURNS, Jhr ; DELPARTE, D ; GATES, Rd ; TAKABAYASHI, M: Integrating structure-from-motion photogrammetry with geospatial software as a novel technique for quantifying 3D ecological characteristics of coral reefs. In: *PeerJ* 3 (2015), e1077. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.1077>. – DOI 10.7717/peerj.1077. – ISSN 2167–8359
- [Calantropio u. Chiabrandio 2024a] CALANTROPIO, Alessio ; CHIABRANDO, Filiberto: Georeferencing Strategies in Very Shallow Waters: A Novel GCPs Survey Approach for UCH Photogrammetric Documentation. In: *Remote Sensing* 16 (2024), Nr. 8, 1313. <http://dx.doi.org/10.3390/rs16081313>. – DOI 10.3390/rs16081313. – ISSN 2072–4292
- [Calantropio u. Chiabrandio 2024b] CALANTROPIO, Alessio ; CHIABRANDO, Filiberto: Underwater Cultural Heritage Documentation Using Photogrammetry. In: *JMSE* 12 (2024), Nr. 3, 413. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse12030413>. – DOI 10.3390/jmse12030413. – ISSN 2077–1312
- [Cerrillo-Cuenca u. a. 2024] CERRILLO-CUENCA, Enrique ; SANJOSÉ BLASCO, José J. ; BELINCHÓN, Rocío C. ; BUENO-RAMÍREZ, Primitiva ; CORDERO, Antonio G. ; PÉREZ-ÁLVAREZ, Juan A.: Surveying and monitoring submerged archaeological sites in inland waters through a multiproxy strategy: The case of Dolmen de Guadalperal and other sites from Valdecañas reservoir (Spain). In: *Archaeological Prospection* 31 (2024), Nr. 1, S. 53–69. – ISSN 1075–2196. – Publisher: Wiley Online Library
- [Chemisky u. a. 2021] CHEMISKY, Bertrand ; MENNA, Fabio ; NOCERINO, Erica ; DRAP, Pierre: Underwater Survey for Oil and Gas Industry: A Review of Close Range Optical Methods. In: *Remote Sensing* 13 (2021), Nr. 14, 2789. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13142789>. – DOI 10.3390/rs13142789. – ISSN 2072–4292

- [Chithra u. a. 2021] CHITHRA, K ; RAJAPAN, Dhilsha ; RAMADASS, GA: Underwater Voice Communication, IEEE, 2021. – ISBN 1–66543–617–4, S. 1–2
- [Cichocki 2003] CICHOCKI, Otto: Ein jungsteinzeitliches Dorf im See? Pfahlbauforschung im Keutschacher See. In: *Keutschach am See – Eine Chronik* (2003), S. 10 – 26
- [Cichocki u. Dworsky 2006] CICHOCKI, Otto ; DWORSKY, Cyril: Unterwasserarchäologie in Kärntner Seen. In: *Archäologie Österreichs* 17 (2006), Nr. 2, S. 90–95. – ISSN 1018–1857
- [Coombes u. a. 2017] COOMBES ; W. -H. CHEN ; C. LIU: Boustrophedon coverage path planning for UAV aerial surveys in wind. In: *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, IEEE, 2017. – ISBN 978–1–5090–4495–5, 1563–1571. – Journal Abbreviation: 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)
- [Cutugno u. a. 2022] CUTUGNO, Matteo ; ROBUSTELLI, Umberto ; PUGLIANO, Giovanni: Structure-from-Motion 3D Reconstruction of the Historical Overpass Ponte della Cerra: A Comparison between MicMac® Open Source Software and Metashape®. In: *Drones* 6 (2022), Nr. 9, 242. <http://dx.doi.org/10.3390/drones6090242>. – DOI 10.3390/drones6090242. – ISSN 2504–446X
- [Czech 1986] CZECH, K Karl: Bestandsaufnahme des Unterwasserkulturerbes in den Salzkammergutseen. 9. Bericht. In: *Fundberichte aus Österreich* 23 (1986), S. 13–17
- [Czech 2014] CZECH, Karl: 13. Bericht zur Bestandsaufnahme des Unterwasserkulturerbes in den Salzkammergutseen. In: *Fundberichte aus Österreich* 52 (2014), S. 145 – 153
- [Davidde Petriaggi u. a. 2020] DAVIDDE PETRIAGGI, Barbara ; STEFANILE, Michele ; PETRIAGGI, Roberto ; LAGUDI, Antonio ; PELUSO, Raffaele ; DI CUIA, Paola: Reconstructing a Submerged Villa Maritima: The Case of the Villa dei Pisoni in Baiae. In: *Heritage* 3 (2020), Nr. 4, 1199–1209. <http://dx.doi.org/10.3390/heritage3040066>. – DOI 10.3390/heritage3040066. – ISSN 2571–9408
- [DeSanto u. Sandwell 2022] DESANTO, John ; SANDWELL, David: Physical Principles of Multibeam Sonar for Mapping of the Seafloor. (2022)
- [Deschmann 1878] DESCHMANN, Carl: *Über die vorjährigen Funde im Laibacher Pfahlbau*. Bd. 8. Selbstverlag des Verfassers, 1878
- [Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) 2023] DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG E.V. (DGUV): *DGUV Regel 101-023 „Forschungstauchen“*. www.dguv.de/publikationenWebcode:p101023. Version: 2023
- [Dominik Bochatz 2017] DOMINIK BOCHATZ, Timothy T. Jakob Maurer M. Jakob Maurer: Bericht zur Ausgrabung Buchberg im Attergau 2016. In: *Fundberichte aus Österreich* 54 (2017), Nr. 50002.16.02
- [Doneus u. a. 2015] DONEUS, Michael ; MIHOLJEK, I. ; MANDLBURGER, G. ; DONEUS, N. ;

- VERHOEVEN, G. ; BRIESE, Ch. ; PREGESBAUER, M.: AIRBORNE LASER BATHYMETRY FOR DOCUMENTATION OF SUBMERGED ARCHAEOLOGICAL SITES IN SHALLOW WATER. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XL-5/W5 (2015), 99–107. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-99-2015>. – DOI 10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-99-2015. – ISSN 2194–9034
- [Drap u. a. 2015] DRAP, Pierre ; SEINTURIER, Julien ; HIJAZI, Bilal ; MERAD, Djamal ; BOI, Jean-Marc ; CHEMISKY, Bertrand ; SEGUIN, Emmanuelle ; LONG, Luc: The ROV 3D Project: Deep-Sea Underwater Survey Using Photogrammetry: Applications for Underwater Archaeology. In: *J. Comput. Cult. Herit.* 8 (2015), Nr. 4, 1–24. <http://dx.doi.org/10.1145/2757283>. – DOI 10.1145/2757283. – ISSN 1556–4673, 1556–4711
- [Dworsky u. Novak 2012] DWORSKY, C ; NOVAK, H: Archäologische Überlebensstrategie UNESCO-Welterbe. Das UNESCO-Welterbe Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen-Entstehungsgeschichte, Forschungsaufgaben und Fragen der Nachhaltigkeit. In: *Archäologie Österreichs* 23 (2012), Nr. 2, S. 2–12
- [Dworsky u. a. 2016] DWORSKY, Cyril ; LÖW, Carmen ; POHL, Henrik: Unter Wasser - Die UNESCO schützt prähistorische Pfahlbauten um die Alpen und in Österreich. In: *Sporttaucher* (2016), S. 14 – 16
- [Dworsky u. a. 2022] DWORSKY, Cyril ; POHL, Henrik ; RAAB, Gerald ; SEIDL DA FONSECA, Helena ; WESSLING, Ronny: Prähistorischer Erosion mit dem interaktiven 3D-Viewer auf der Spur. In: *Verstehen & Vorausschauen* 4 (2022), S. 163 – 169
- [Dworsky u. Reitmaier 2004a] DWORSKY, Cyril ; REITMAIER, Thomas: Moment, da war doch noch was! Neues zur Pfahlbauarchäologie im Mond-und Attersee: 1854-2004: 150 Jahre Entdeckung der Pfahlbauten. In: *Archäologie Österreichs* 15 (2004), Nr. 2, S. 4–15. – ISSN 1018–1857
- [Dworsky u. Reitmaier 2004b] DWORSKY, Cyril ; REITMAIER, Thomas: Die Seeufersiedlungen im Salzkammergut–Die Verbindung von Wissenschaft und Tourismus als Auftrag zur Forschung. In: *Wetland Economies and Societies* 3 (2004), S. 276 – 280
- [Easton u. a. 2021] EASTON, Norman A. ; MOORE, Charles ; MASON, Andrew R.: The archaeology of submerged prehistoric sites on the North Pacific Coast of North America. In: *The Journal of Island and Coastal Archaeology* 16 (2021), Nr. 1, 118–149. <http://dx.doi.org/10.1080/15564894.2020.1785061>. – DOI 10.1080/15564894.2020.1785061. – ISSN 1556–4894, 1556–1828
- [Emberton u. Simons 2024] EMBERTON, Simon ; SIMONS, Christopher: Photographer-guided attributes for underwater image aesthetics. In: *Qual User Exp* 9 (2024), Nr. 1, 1. <http://dx.doi.org/10.1007/s41233-024-00065-y>. – DOI 10.1007/s41233-024-00065-y. – ISSN 2366–0139, 2366–0147
- [Fanelli u. a. 2019] FANELLI, Francesco ; MONNI, Niccolò ; PALMA, Nicola ; RIDOLFI, Alessandro: Development of an ultra short baseline-aided buoy for underwater tar-

- gets localization. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* 233 (2019), Nr. 4, 1212–1225. <http://dx.doi.org/10.1177/1475090219825768>. – DOI 10.1177/1475090219825768. – ISSN 1475–0902, 2041–3084
- [Fischer u. Pedersen 2018] FISCHER, Andreas ; PEDERSEN, Lisbeth: *Oceans of Archaeology*. Jutland Archaeological Society, 2018
- [Fiz u. a. 2022] FIZ, José I. ; MARTÍN, Pere M. ; CUESTA, Rosa ; SUBÍAS, Eva ; CODINA, Dolors ; CARTES, Antoni: Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. In: *Drones* 6 (2022), Nr. 3, 59. <http://dx.doi.org/10.3390/drones6030059>. – DOI 10.3390/drones6030059. – ISSN 2504–446X
- [Flores u. Ten Brink 2024] FLORES, Claudia H. ; TEN BRINK, Uri S.: Photogrammetry of the Deep Seafloor from Archived Unmanned Submersible Exploration Dives. In: *JMSE* 12 (2024), Nr. 8, 1250. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse12081250>. – DOI 10.3390/jmse12081250. – ISSN 2077–1312
- [Gaffney u. a. 2017] GAFFNEY, Vince ; ALLABY, Robin ; BATES, Richard ; BATES, Martin ; CH'NG, Eugene ; FITCH, Simon ; GARWOOD, Paul ; MOMBER, Garry ; MURGATROYD, Philip ; PALLAN, Mark ; RAMSEY, Eleanor ; SMITH, David ; SMITH, Oliver: Doggerland and the Lost Frontiers Project (2015–2020). In: BAILEY, Geoff. (Hrsg.) ; HARFF, Jan (Hrsg.) ; SAKELLARIOU, Dimitris (Hrsg.): *Under the Sea: Archaeology and Palaeolandscapes of the Continental Shelf*. Springer International Publishing, 2017, S. 305–319
- [Gates 2011] GATES, Larry: *Advanced Underwater Photography : Techniques for Digital Photographers*. Amherst Media Inc, 2011. – ISBN 1–60895–255–X
- [Ghate u. a. 2024] GHATE, Shubhangi N. ; SARDA, Ekta ; NARAWADE, Vaibhav ; ACHALIYA, Shilpa: Optimizing Underwater Vision: A Rigorous Investigation into CNN's Deep Image Enhancement for Subaquatic Scenes. In: *Journal of Electrical Systems* 20 (2024), Nr. 3, S. 593–605. – ISSN 1112–5209. – Publisher: Engineering and Scientific Research Groups
- [Goggin 1960] GOGGIN, John M.: Underwater Archaeology: Its Nature and Limitations. In: *Am. antiq.* 25 (1960), Nr. 3, 348–354. <http://dx.doi.org/10.2307/277518>. – DOI 10.2307/277518. – ISSN 0002–7316, 2325–5064
- [GoPro, Inc 2024] GoPro, Inc: *HERO12 Black*. <https://gopro.com/de/at/shop/cameras/hero12-black/CHDHX-121-master.html>. Version: 2024
- [Grassi u. a. 2022] GRASSI, Caterina ; RONCHI, Diego ; FERDANI, Daniele ; POCOBELLI, Giorgio F. ; FÀ, Rachele M.: A 3D survey in archaeology. Comparison among software for image and range-based data integration. In: *D-SITE. Drones-systems of information on cultural heritage for spatial and social investigation*. Pavia University Press, 2022. – ISBN 88–6952–159–1, S. 138–145

- [Gribble 2011] GRIBBLE, John: The UNESCO Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage 2001: An Impact Review for the United Kingdom: Project Design. In: *J Mari Arch* 6 (2011), Nr. 1, 77–86. <http://dx.doi.org/10.1007/s11457-011-9076-3>. – DOI 10.1007/s11457-011-9076-3. – ISSN 1557–2285, 1557–2293
- [Grogan u. a. 1996] GROGAN, E ; CONDIT, T ; O’CARROLL, F ; O’SULLIVAN, A ; DALY, A: Tracing the late prehistoric landscape in North Munster. In: *Discovery Programme Reports* 4 (1996), S. 26–46
- [Guzinski u. a. 2016] GUZINSKI, Radoslaw ; SPONDYLIS, Elias ; MICHALIS, Myrto ; TUSA, Sebastiano ; BRANCATO, Giacomina ; MINNO, Lorenzo ; HANSEN, Lars B.: Exploring the Utility of Bathymetry Maps Derived With Multispectral Satellite Observations in the Field of Underwater Archaeology. In: *Open Archaeology* 2 (2016), Nr. 1. <http://dx.doi.org/10.1515/opar-2016-0018>. – DOI 10.1515/opar-2016-0018. – ISSN 2300–6560
- [Hafner 2002] HAFNER, Albert: Unter Wasser retten und bewahren. In: *Archäologie in Deutschland* 2 (2002), Nr. 3, S. 54 – 59. – ISSN 0176–8522
- [Hafner 2012] HAFNER, Albert: Das UNESCO Welterbe Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen in m Kanton Bern. Frühe Forschungen, aktuelle Situation und Chancen für die Zukunft. In: *Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern* (2012)
- [Hafner u. a. 2022] HAFNER, Albert (Hrsg.) ; DOLBUNOVA, Ekaterina (Hrsg.) ; MAZURKEVICH, Andrey (Hrsg.) ; PRANCKENAITE, Elena (Hrsg.) ; HINZ, Martin (Hrsg.): *Settling Waterscapes in Europe: The Archaeology of Neolithic & Bronze Age Pile-Dwellings*. Sidestone Press, 2022 (Open Series in Prehistoric Archaeology 1). – ISBN 978–94–6427–024–2 978–94–6427–025–9 978–3–948465–83–4
- [Hafner u. a. 2017] HAFNER, Albert ; EBERSBACH, Renate ; TAYLOR, Timothy ; TINNER, Willy: Pfahlbauten und mehr. In: *Archäologie in Deutschland* (2017), Nr. 6, S. 60–63. – ISSN 0176–8522. – Publisher: JSTOR
- [Hafner u. Schlichtherle 2008] HAFNER, Albert ; SCHLICHOTHERLE, Helmut: Bedrohte Pfahlbauten : gefährdete neolithische und bronzezeitliche Siedlungsreste in Seen und Mooren rund um die Alpen. In: *Archäologie Bern* (2008). <http://dx.doi.org/10.5169/seals-726682>. – DOI 10.5169/seals-726682. – ISSN 2235–3755
- [Hagmann 2016] HAGMANN, Sabine: Forschung, Schutz und Vermittlung. Fünf Jahre UNESCO-Welterbe „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen “. In: *Denkmalpflege in Baden-Württemberg–Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege* 45 (2016), Nr. 1, S. 52–54. – ISSN 0465–7519
- [Hagmann 2022] HAGMANN, Sabine: Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen - ein internationales serielles Welterbe. In: *SH* 63 (2022), Nr. 3, 343–349. <http://dx.doi.org/10.53458/sh.v63i3.2832>. – DOI 10.53458/sh.v63i3.2832. – ISSN 2750–4662, 0342–7595

- [Hagmann u. Schlichtherle 2014] HAGMANN, Sabine ; SCHLICHOTHERLE, Helmut: Das UNESCO-Welterbe „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“ in Baden-Württemberg. Schutz und Vermittlung einer ungewöhnlichen Welterbestätte. In: *Denkmalpflege in Baden-Württemberg–Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege* 43 (2014), Nr. 1, S. 2–8. – ISSN 0465–7519
- [Hansson u. Foley 2008] HANSSON, Maria C. ; FOLEY, Brendan P.: Ancient DNA fragments inside Classical Greek amphoras reveal cargo of 2400-year-old shipwreck. In: *Journal of Archaeological Science* 35 (2008), Nr. 5, 1169–1176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.08.009>. – DOI 10.1016/j.jas.2007.08.009. – ISSN 03054403
- [Hassan u. a. 2024] HASSAN, Nazrul Azha A. ; ISMAIL, Adzrool I. ; JAMALI, Siti S.: Underwater Photography as an Educational Tool for Environmental Awareness and Marine Conservation. In: *Pak.j.life.soc.sci.* 22 (2024), Nr. 2. <http://dx.doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00370>. – DOI 10.57239/PJLSS-2024-22.2.00370. – ISSN 17274915, 22217630
- [Haubner u. Strobl 2020] HAUBNER, Roland ; STROBL, Susanne: Metallographische Untersuchung eines Kupferflachbeils aus der Kupferzeit. In: *Sonderbände der Praktischen Metallographie* zur 54 (2020), S. 202–207
- [Hauser u. Traxler 2018] HAUSER, Franz ; TRAXLER, Stefan: *Die Römer im Attergau*. Oberösterreichisches Landesmuseum Linz, 2018 (Kleine Schriften zur Kulturgeschichte von Oberösterreich 1). – ISBN 978–3–85474–338–5
- [Haydar u. a. 2011] HAYDAR, Mahmoud ; ROUSSEL, David ; MAÏDI, Madjid ; OTMANE, Samir ; MALLEM, Malik: Virtual and augmented reality for cultural computing and heritage: a case study of virtual exploration of underwater archaeological sites (preprint). In: *Virtual Reality* 15 (2011), Nr. 4, 311–327. <http://dx.doi.org/10.1007/s10055-010-0176-4>. – DOI 10.1007/s10055-010-0176-4. – ISSN 1359–4338, 1434–9957
- [Homrani u. a. 2024] HOMRANI, Sabrina ; MOPIN, Irène ; MORIO, O ; LE MOIGNE, Py ; MOREAU, Hugues ; LE CHENADEC, Gilles: Accurate Processing of Multibeam Echosounder Backscatter Based on Statistical Analysis of Snippets Data. In: *ICUA2024*, Institute of Acoustics, 2024
- [Horn 2022] HORN, Toby: *Unterwasser – Die Fotoschule mit "Tiefgang": Für bessere Fotos von Anfang an!* Bildner Verlag, 2022. – ISBN 3–8328–5586–6
- [Howland u. a. 2022] HOWLAND, Matthew D. ; TAMBERINO, Anthony ; LIRITZIS, Ioannis ; LEVY, Thomas E.: Digital Deforestation: Comparing Automated Approaches to the Production of Digital Terrain Models (DTMs) in Agisoft Metashape. In: *Quaternary* 5 (2022), Nr. 1, 5. <http://dx.doi.org/10.3390/quat5010005>. – DOI 10.3390/quat5010005. – ISSN 2571–550X
- [Huang u. a. 2024] HUANG, Zepeng ; RAN, Delu ; RUAN, Yonghao: Application of ultrasonic baseline positioning system and acoustic doppler current profiler in underwater

- archaeology of the shipwreck by Shengbeiyu Island. In: *Science & Technology Review* 42 (2024), Nr. 14, S. 116–124. – ISSN 1000–7857
- [Jansa 2013] JANSÁ, Viktor: *Probleme und Lösungsansätze beim Monitoring unterwasserarchäologischer Fundstellen am Beispiel des UNESCO - Weltkulturerbes Pfahlbauten*. Version: 2013. <https://theses.univie.ac.at/detail/22096>
- [Jian 2024] JIAN, SUN: Development and prospect of underwater archaeology in China. In: *Science & Technology Review* 42 (2024), Nr. 14, S. 38–47. – ISSN 1000–7857
- [Jiang u. a. 2020] JIANG, San ; JIANG, Cheng ; JIANG, Wanshou: Efficient structure from motion for large-scale UAV images: A review and a comparison of SfM tools. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 167 (2020), 230–251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.016>. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.016. – ISSN 09242716
- [Jones u. Church 2020] JONES, Christine A. ; CHURCH, Elizabeth: Photogrammetry is for everyone: Structure-from-motion software user experiences in archaeology. In: *Journal of Archaeological Science: Reports* 30 (2020), 102261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102261>. – DOI 10.1016/j.jasrep.2020.102261. – ISSN 2352409X
- [Kalmring 2010] KALMRING, Sven: *Der Hafen von Haithabu*. Wachholtz, 2010 (Die Ausgrabungen in Haithabu 14). – ISBN 978–3–529–01414–7
- [Ken Rockwell 2014] KEN ROCKWELL: *Nikon D600 Specifications*. <https://www.kenrockwell.com/nikon/d600/specifications.htm>. Version: 2014
- [Kern u. a. 2008] KERN, Anton ; KOWARIK, Kerstin ; RAUSCH, Andreas W. ; RESCHREITER, Hans: *Salz-Reich: 7000 Jahre Hallstatt*. Verlag des Naturhistorischen Museums, 2008
- [Kingsland 2020] KINGSLAND, Kaitlyn: Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. In: *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 18 (2020), e00157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157>. – DOI 10.1016/j.daach.2020.e00157. – ISSN 22120548
- [Kowarik u. a. 2017] KOWARIK, Kerstin ; MAURER, Jakob ; POHL, Henrik ; DWORSKY, Cyril ; LESKOVAR, Jutta ; LÖCKER, Klaus ; SEIDL DA FONSECA, Helena ; KLAMMER, Julia ; DAXER, Christoph ; STRASSER, Michael ; RIES, Marie-Claire ; DIETRE, Benjamin ; HAAS, Jean N. ; TRINKS, Immo: Beyond Lake Villages in the Neolithic of Austria. In: *The newsletter of the Prehistoric Society* 85 (2017), S. 1 – 3
- [Kunze 1986] KUNZE, Walter: *Mondsee 5000 Jahre Geschichte und Kultur*. Selbstverlag der Marktgemeinde Mondsee, 1986
- [Lang u. a. 2020] LANG, Felix ; TRAXLER, Stefan ; STOLLNBERGER, Astrid: Die römische Luxusvilla von Weyregg am Attersee: Ausgrabungen der Universität Salzburg und des OÖ. Landesmuseums 2020. In: *Berger L./Lang F./Reinholdt C./Tober B./Weilhartner J. (Hrsg.), Gedenkschrift für Wolfgang Wohlmayr*. 2020, S. 471–483

- [Lastilla u. a. 2021] LASTILLA, Lorenzo ; BELLONI, Valeria ; RAVANELLI, Roberta ; CRESPI, Mattia: DSM Generation from Single and Cross-Sensor Multi-View Satellite Images Using the New Agisoft Metashape: The Case Studies of Trento and Matera (Italy). In: *Remote Sensing* 13 (2021), Nr. 4, 593. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13040593>. – DOI 10.3390/rs13040593. – ISSN 2072–4292
- [Leidwanger 2017] LEIDWANGER, Justin: From Time Capsules to Networks: New Light on Roman Shipwrecks in the Maritime Economy. In: *American Journal of Archaeology* 121 (2017), Nr. 4, 595–619. <http://dx.doi.org/10.3764/aja.121.4.0595>. – DOI 10.3764/aja.121.4.0595. – ISSN 0002–9114, 1939–828X
- [Leineweber u. Hellmund 2017] LEINEWEBER, Rosemarie ; HELLMUND, Monika: Schiffbar Archäologische Zeugnisse zur historischen Binnenschifffahrt Sachsen-Anhalts – ein Ansatz. In: *Heidelberger OJS-Journal* (2017)
- [Leineweber u. Lübke 2019] LEINEWEBER, Rosemarie ; LÜBKE, Harald: Unterwasserarchäologie im Arendsee. In: *Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie*. 2019. – ISBN 978–3–948618–02–5, S. 13–14
- [Lockyear u. Shlasko 2017] LOCKYEAR, Kris ; SHLASKO, Ellen: Under the Park. Recent Geophysical Surveys at Verulamium (St Albans, Hertfordshire, UK). In: *Archaeological Prospection* 24.1 (2017), S. 17–36
- [Lowag u. a. 2012] LOWAG, J. ; BULL, J.M. ; VARDY, M.E. ; MILLER, H. ; PINSON, L.J.W.: High-resolution seismic imaging of a Younger Dryas and Holocene mass movement complex in glacial lake Windermere, UK. In: *Geomorphology* 171-172 (2012), 42–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.002>. – DOI 10.1016/j.geomorph.2012.05.002. – ISSN 0169555X
- [Löcker u. a. 2021] LÖCKER, Klaus ; TOTSCHNIG, Ralf ; SCHIEL, Hannes ; HINTERLEITNER, Alois ; TRAXLER, Stefan ; STOLLNBERGER, Astrid ; LANG, Felix ; VERHOEVEN, Geert ; VALDELOMAR, Juan T.: The Rich and the Hard-Working: Roman Villae Near Lake Attersee, Austria. In: *ArcheoSciences* 451 (2021), Nr. 1, S. 95–99. – ISSN 1960–1360. – Publisher: Presses universitaires de Rennes
- [Lüning 2000] LÜNING, Jens: Steinzeitliche Bauern in Deutschland. Die Landwirtschaft im Neolithikum. In: *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 23 (2000), S. 285
- [Mayer u. a. 2012] MAYER, Gerhard ; PILGRAM, Reinfried ; PREINER, Alexandra: Application of Hydrographic Measurements in Mine Surveying. In: *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte* 157 (2012), S. 151–155. – ISSN 0005–8912. – Publisher: Springer
- [Mayer u. a. 2003] MAYER, Larry A. ; CALDER, Brian R. ; SCHMIDT, James S. ; MALZONE, Chris: High-Resolution Multibeam Sonar Survey and Interactive 3-D Exploration of the D-Day Wrecks off Normandy. In: *GU Fall Meeting Abstracts* (2003). – Publisher: Hydrographic Society of America

- [Memet 2008] MEMET, Jean-bernard: Conservation of Underwater Cultural Heritage: characteristics and new technologies. In: *Museum International* 60 (2008), Nr. 4, 42–49. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-0033.2008.00664.x>. – DOI 10.1111/j.1468-0033.2008.00664.x. – ISSN 1350-0775, 1468-0033
- [Menna u. a. 2018] MENNA, Fabio ; AGRAFIOTIS, Panagiotis ; GEORGOPOULOS, Andreas: State of the art and applications in archaeological underwater 3D recording and mapping. In: *Journal of Cultural Heritage* 33 (2018), 231–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.017>. – DOI 10.1016/j.culher.2018.02.017. – ISSN 12962074
- [Menotti 2012] MENOTTI, Francesco: *Wetland archaeology and beyond: theory and practice*. Oxford University Press, 2012
- [Morelli u. a. 2024] MORELLI, L. ; IOLI, F. ; MAIWALD, F. ; MAZZACCA, G. ; MENNA, F. ; REMONDINO, F.: Deep-Image-Matching: A Toolbox for Multiview Image Matching of Complex Scenarios. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLVIII-2/W4-2024 (2024), 309–316. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-309-2024>. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-309-2024. – ISSN 2194-9034
- [Morton 1967] MORTON, F.: Der Pfahlbau im Ledrosee. In: *Vorgeschichte, Überlingen* (1967)
- [Mowat 2011] MOWAT, Robert J. C.: Palafittes: prehistoric pile dwellings around the Alps - By Various authors and editors (co-ordinated by the Swiss committee): REVIEWS. In: *International Journal of Nautical Archaeology* 40 (2011), Nr. 2, 439–440. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-9270.2011.00326.5.x>. – DOI 10.1111/j.1095-9270.2011.00326.5.x. – ISSN 10572414
- [Much 1884] MUCH, Matthäus: *Aelteste Besiedelung der Länder des österreichischen Kaisertstaates durch die Menschen und deren Cultur-Entwicklung*. Mayer, 1884
- [Mudugu u. Purushotham 2021] MUDUGU, Kishore . ; PURUSHOTHAM, Drr: An Investigation of White Balancing for Underwater Image Quality. (2021)
- [Müller u. a. 2009] MÜLLER, Ulrich ; KLEINGÄRTNER, Sunhild ; HUBER, Florian: Feuchtboden-und Unterwasserarchäologie in Lehre und Forschung am Institut für Ur-und Frühgeschichte der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. In: *Zwischen Nord- und Ostsee. Zehn Jahre Arbeitsgruppe für maritime und liminische Archäologie (AMLA)* (2009), S. 63–72
- [Neubauer u. a. 2010] NEUBAUER, Daniel ; KONRAD, Michael ; JANSKA, Viktor: Unterwasserarchäologie in Österreich: Aktivitäten des „Tauchvereins für Unterwasserarchäologie“ (TUWA). In: *Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie* 16 (2010), Nr. 2010, S. 100–105
- [Nishikawa 2021] NISHIKAWA, Chihiro: Underwater Cultural Heritage in Asia Pacific and the UNESCO Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage.

- In: *IJAPS* 17 (2021), Nr. 2, 15–38. <http://dx.doi.org/10.21315/ijaps2021.17.2.2>. – DOI 10.21315/ijaps2021.17.2.2. – ISSN 18236243
- [NOAA 2009] NOAA: *How Multibeam Sonar Works*. <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/09bermuda/background/multibeam/multibeam.html>. Version: 2009. – Letzter Zugriff: 18. Sept. 2024
- [Offenberger 1976] OFFENBERGER, Johann: Die österreichischen Pfahlbauten. Ein Arbeitsbericht. In: *Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines* (1976), Nr. 121/1, S. 105 – 120
- [Offenberger 1994] OFFENBERGER, Johann: Archäologische Untersuchungen im ehemaligen Benediktinerkloster Mondsee (Oberösterreich). In: *Mitteilungen Der Deutschen Gesellschaft Für Archäologie Des Mittelalters Und Der Neuzeit* (1994), S. 19 – 20
- [Offenberger u. Nicolussi 1982] OFFENBERGER, Johann ; NICOLUSSI, Siegfried: Tauchuntersuchungen der Abteilung für Bodendenkmale des Bundesdenkmalamtes im Attersee und Traunsee. In: *Fundberichte aus Österreich* 21 (1982). <https://ubdata.univie.ac.at/AC11873956>
- [Offenberger u. Ruttkay 1997] OFFENBERGER, Johann ; RUTTKAY, Elisabeth: Pfahlbauforschung in den österreichischen Salzkammergutseen. In: *Archäologie in Deutschland* (1997). <https://ubdata.univie.ac.at/AC06259072>
- [Offenberger u. a. 2015] OFFENBERGER, Johann ; SCHMIDT, Roland ; WIMMER, R. ; WIMMER, Rupert ; SCHACHL, Rudolf ; MACEK, Manfred (Hrsg.): *Das Pfahlbauerbe: "Brennpunkt" Mondsee: Jungsteinzeitliche Seeufersiedlungen im Salzkammergut: die Detaildokumentation und der Versuch einer Analyse*. Verlagsagentur MMConsulting - Historica-Austria, 2015 (Historica - Austria Band 13). – ISBN 978-3-901515-22-4. – ISSN: 978-3-901515-22-4 Publication Title: Historica - Austria
- [Out u. a. 2023] OUT, Welmoed A. ; HÄNNINEN, Kirsti ; MERELA, Maks ; VELUŠČEK, Anton ; VERMEEREN, Caroline ; ČUFAR, Katarina: Evidence of woodland management at the Eneolithic pile dwellings (3700–2400 BCE) in the Ljubljansko barje, Slovenia? In: *Plants* 12 (2023), Nr. 2, S. 291. – ISSN 2223-7747. – Publisher: MDPI
- [Over u. a. 2021] OVER, Jin-Si R. ; RITCHIE, Andrew C. ; KRANENBURG, Christine J. ; BROWN, Jenna A. ; BUSCOMBE, Daniel ; NOBLE, Tom ; SHERWOOD, Christopher R. ; WARRICK, Jonathan A. ; WERNETTE, Phillipe A.: Processing Coastal Imagery With Agisoft Metashape Professional Edition, Version 1.6—Structure From Motion Workflow Documentation. In: *US Geological Survey* (2021). <https://doi.org/10.3133/ofr20211039>. – Series: Open-File Report
- [Pacheco-Ruiz u. a. 2018] PACHECO-RUIZ, Rodrigo ; ADAMS, Jonathan ; PEDROTTI, Felix: 4D modelling of low visibility Underwater Archaeological excavations using multi-source photogrammetry in the Bulgarian Black Sea. In: *Journal of Archaeological Science* 100 (2018), 120–129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2018.10.005>. – DOI 10.1016/j.jas.2018.10.005. – ISSN 03054403

- [Palestini u. Basso 2020] PALESTINI, Caterina ; BASSO, Alessandro: The UAV Survey of the Valvense Complex in CorfInIo, comparison between two photomodelling methods. In: *PROSPETTIVE MULTIPLE: STUDI DI INGEGNERIA, ARCHITETTURA E ARTE* (2020), S. 274–283. – ISSN 8869521206. – Publisher: Pavia University Press
- [Paulus u. a. 2019] PAULUS, Gernot ; ANDERS, Karl-Heinrich ; ERLACHER, Melanie: Empirical Comparison of Shallow Water Bathymetry Data UAS MultiView Stereo Photogrammetry versus Single Beam Echo Sounding. In: *Workshop on Standardization of procedures in using UAS for environmental monitoring*, 2019
- [Pearson 2019] PEARSON, Natali: Protecting and Preserving Underwater Cultural Heritage in Southeast Asia. Version: 2019. http://dx.doi.org/10.1057/978-1-137-54405-6_31. In: HUFNAGEL, Saskia (Hrsg.) ; CHAPPELL, Duncan (Hrsg.): *The Palgrave Handbook on Art Crime*. Palgrave Macmillan UK, 2019. – DOI 10.1057/978-1-137-54405-6_31. – ISBN 978-1-137-54404-9 978-1-137-54405-6, 685–730
- [Peter 2015] PETER, Nathalie: *Das Jungneolithikum in Europa. Siedlungswesen, Keramik und Artefakte der Altheimer Gruppe*. GRIN Verlag, 2015. – ISBN 3-656-88352-1
- [Pfelderer u. Angermayr 2019] PFLEDERER, Tobias ; ANGERMAYR, Robert: Unterwasserarchäologische Befunde im Umfeld des bronzezeitlichen Einbaumes von Wasserburg im Bodensee. In: *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* Bd. 389, Dr. Rudolf Habelt GmbH, 2019, S. 232 – 240
- [Pfelderer u. a. 2009] PFLEDERER, Tobias ; PRELL, Marcus ; BEER, Hubert: Unterwasserarchäologische Prospektion. In: *Unterwasser- und Feuchtbodenarchäologie in Bayern - 25 Jahre Bayerische Gesellschaft für Unterwasserarchäologie*. BLfD, 2009 (Jahresbericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege), S. 21 – 40
- [Pieters 2001] PIETERS, Marnix: Die UNESCO-Konvention zum Schutz des Kulturerbes unter Wasser (Paris, 2001) und des maritimen Erbes des Ersten Weltkrieges im belgischen Teil der Nordsee. (2001)
- [Pohl 2009] POHL, Henrik: Einbaumfunde aus dem Salzburger Land. In: *Archaeologia Austriaca* 90 (2009), 73–86. <http://dx.doi.org/10.1553/archaeologia90s73>. – DOI 10.1553/archaeologia90s73. – ISSN 0003-8008, 1816–2959
- [Pohl 2013] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologische Prospektion Station See/Mondsee 2013. In: *Fundberichte aus Österreich* 52 (2013)
- [Pohl 2014] POHL, Henrik: Prähistorische Pfahlbauten in Oberösterreich. Ein Jahr Site Management. In: *Sonius* 15 (2014), S. 12 – 14
- [Pohl 2015a] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologische Prospektion römische Unterwasseranlage Weyregg/Attersee. In: *Fundberichte aus Österreich* 54 (2015), Nr. 50329.15.01
- [Pohl 2015b] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Prospektion Station See/Mondsee 2014. In: *Fundberichte aus Österreich* 53 (2015)

Literaturverzeichnis

- [Pohl 2016a] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Sprungturmgrube Seewalchen / Attersee 2015. In: *Fundberichte aus Österreich* 55 (2016), Nr. 50319.15.01
- [Pohl 2016b] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Monitoringkampagne Keutschacher See 2016. In: *Fundberichte aus Österreich* 55 (2016)
- [Pohl 2016c] POHL, Henrik: Drei Jahre unterwasserarchäologisches Monitoring an den österreichischen UNESCO-Welterbestätten „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“. In: *Archäologie Österreichs* 27/1 (2016), S. 29–35
- [Pohl 2017a] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Weyregg II / Attersee. In: *Fundberichte aus Österreich* 57 (2017), Nr. 50329.17.01
- [Pohl 2017b] POHL, Henrik: Fundmeldung Einbaum Weyregg. In: *Fundberichte aus Österreich* 56 (2017), Nr. 50329.17.01
- [Pohl 2018] POHL, Henrik: Prospektionen, Forschung und Schutzmaßnahmen Die unterwasserarchäologischen Aktivitäten des Kuratoriums Pfahlbauten. In: *annual report curatorship pile dwellings Austria* (2018), S. 1 – 20
- [Pohl 2019a] POHL, Henrik: Prospektionen, Forschung und Schutzmaßnahmen Die unterwasserarchäologischen Aktivitäten des Kuratoriums Pfahlbauten. In: *annual report curatorship pile dwellings Austria* (2019), S. 1 – 21
- [Pohl 2019b] POHL, Henrik: Zeiteinsprung Eine Brücke zwischen unseren jungsteinzeitlichen Vorfahren und der Zukunft. In: *Sonius Archäologische Botschaften aus Oberösterreich* 24 (2019), Nr. 24, S. 3 – 11
- [Pohl 2021a] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Prospektion Station See / Mondsee 2021. In: *Fundberichte aus Österreich* in Druck (2021), Nr. MNR. 50106.21.02, S. 11
- [Pohl 2021b] POHL, Henrik: Prospektionen, Forschung Und Schutzmaßnahmen. Die Unterwasserarchäologischen Aktivitäten Des Kuratorium Pfahlbauten. In: *annual report curatorship pile dwellings Austria* (2021)
- [Pohl 2021c] POHL, Henrik: Stürme, Bojen und Basalt - Maßnahmen zum Schutz der Unterwasserfundstellen in Oberösterreich. In: *Pile Dwellings NEWS* (2021), Nr. 21, S. 12 – 17
- [Pohl 2022] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Prospektion Nußdorf / Attersee. In: *Fundberichte aus Österreich* 61 (2022), Nr. 50020.22.01
- [Pohl 2023] POHL, Henrik: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Notbergung Steganlage Kammer-Seewalchen. In: *Fundberichte aus Österreich* 62 (2023), Nr. 50309.23.02
- [Pohl u. Dworsky 2022] POHL, Henrik ; DWORSKY, Cyril: Prospektionen, Forschung und

- Schutzmaßnahmen - Die unterwasserarchäologischen Aktivitäten des Kuratorium Pfahlbauten. In: *Annual report curatorship pile dwellings Austria* (2022), S. 1 – 29
- [Pohl u. Schauer 2022] POHL, Henrik ; SCHAUER, Michael: Überschwemmt und ausgetrocknet - Gefahren durch den Klimawandel für Unterwasserdenkmäler in Österreich. In: *Palafittes/Pfahlbauten/Palafitte/Kolišča/ Pile Dwellings NEWS* (2022), Nr. 3, S. 14 – 21
- [Pohl u. Seidl Da Fonseca 2018] POHL, Henrik ; SEIDL DA FONSECA, Helena: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Mooswinkel / Mondsee. In: *Fundberichte aus Österreich* 57 (2018), Nr. 50106.18.02
- [Pohl u. Seidl Da Fonseca 2019] POHL, Henrik ; SEIDL DA FONSECA, Helena: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Mooswinkel / Mondsee. In: *Fundberichte aus Österreich* 58 (2019), Nr. 50106.19.01
- [Pohl u. Seidl Da Fonseca 2020a] POHL, Henrik ; SEIDL DA FONSECA, Helena: Archäologie im Alpanse. In: *Antike Welt* (2020), S. 27 – 29
- [Pohl u. Seidl Da Fonseca 2020b] POHL, Henrik ; SEIDL DA FONSECA, Helena: Bericht zur unterwasserarchäologischen Grabung Mooswinkel / Mondsee. In: *Fundberichte aus Österreich* 59 (2020), Nr. 50106.20.01
- [Pohl u. Weßling 2016] POHL, Henrik ; WESSLING, Ronny: Systematic SfM and MVS-based documentation and interpretation: The underwater excavation of the Mondsee culture settlement Seewalchen/Attersee, Upper Austria. In: *Conference on Cultural Heritage and New Technologies*. Vienna, Austria, 2016
- [Polkinghorne u. a. 2024] POLKINGHORNE, Martin ; PEARSON, Natali ; VAN DUIVENVOORDE, Wendy ; NAYATI, Widya ; TAHIR, Zainab ; RIDWAN, Nia Naelul H. ; FORREST, Craig ; TAN, Noel H. ; POPELKA-FILCOFF, Rachel ; MORTON, Catherine ; KOWLESSAR, Jarrad ; STANFORTH, Mark: Reuniting orphaned cargoes: Recovering cultural knowledge from salvaged and dispersed underwater cultural heritage in Southeast Asia. In: *Marine Policy* 163 (2024), 106074. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106074>. – DOI 10.1016/j.marpol.2024.106074. – ISSN 0308597X
- [Rani u. Hatti 2024] RANI, Megha ; HATTI, Rajeshwari: Haze Removal Of Underwater Images Using Fusion Technique. In: *JSRT* (2024), 12–16. <http://dx.doi.org/10.61808/jsrt80>. – DOI 10.61808/jsrt80. – ISSN 2583–8660
- [Reich u. a. 2021] REICH, Johannes ; STEINER, Philipp ; BALLMER, Ariane ; EMMENEGGER, Lea ; HOSTETTLER, Marco ; STÄHELI, Corinne ; NAUMOV, Goce ; TANESKI, Bojan ; TODORSKA, Valentina ; SCHINDLER, Konrad ; HAFNER, Albert: A novel Structure from Motion-based approach to underwater pile field documentation. In: *Journal of Archaeological Science: Reports* 39 (2021), 103120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103120>. – DOI 10.1016/j.jasrep.2021.103120. – ISSN 2352409X
- [Reschreiter u. Kowarik 2015] RESCHREITER, Hans ; KOWARIK, Kerstin: Die prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt. In: *Bergauf Bergab* 10 (2015), S. 289–296

Literaturverzeichnis

- [Riederer u. a. 2025] RIEDERER, Kathrin ; SIMBÖCK, David ; MANDELBURGER, Gottfried: Ein Blick unter Wasser. In: *Palafitis News* 24 (2025), S. 44–49
- [Ries 2014] RIES, Marie-Claire: *Palynologische Untersuchung der frühbronzezeitlichen Ufersiedlung Abtsdorf I (Attersee)*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Bachelorarbeit, 2014
- [Ries 2016] RIES, Marie-Claire: New Research on a waterlogged Bronze Age Settlement in Lake Attersee (Austria). In: *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* (2016)
- [Ritterbusch-Nauwerck 1992] RITTERBUSCH-NAUWERCK, Barbara: Fischer und Fischerei am Mondsee - ein Bericht aus Erfahrungen. In: *Oberösterreichische Heimatblätter* 4 (1992), S. 412–421
- [RP-Engineering GmbH 2024] RP-ENGINEERING GMBH: *Scaleo infinity*. <https://scaleo-lig ht.de/shop/infinity/>. Version: 2024
- [Ruttkay u. a. 2004] RUTTKAY, Elisabeth ; CICHOCKI, Otto ; PERNICKA, Ernst ; PUCHER, Erich: Prehistoric lacustrine villages on the Austrian lakes: past and recent research developments. In: *Living on the lake in prehistoric Europe* (2004), S. 68–86. – Publisher: Routledge
- [Rönaby 2007] RÖNNBY, Johan: Maritime Durées: Long-Term Structures in a Coastal Landscape. In: *Journal of Maritime Archaeology* 2 (2007), S. 65–82. <http://dx.doi.org/10.1007/s11457-007-9021-7>. – DOI 10.1007/s11457-007-9021-7. – ISSN 1557-2285, 1557-2293
- [Schmidt 1986] SCHMIDT, roland: Palynologie, Stratigraphie und Großreste von Profilen der neolithischen Station See am Mondsee, Oberösterreich. In: *ArchAustr* 70 (1986), S. 227–235
- [Scholz 2015] SCHOLZ, Roman: Dokumentationsmethoden unter Wasser – wissenschaftliches Arbeiten in der limnischen und maritimen Archäologie. In: *Der Fund und das Wasser*, 2015, S. 7 – 9
- [Schöbel u. Baumhauer 2022] SCHÖBEL, Gunter ; BAUMHAUER, Matthias: Die Pfahlbauten in Unteruhldingen: Ein Rückblick auf 100 Jahre. In: *Schwäbische Heimat* 73 (2022), Nr. 3, S. 67–73. – ISSN 2750-4662
- [Sefercik u. a. 2021] SEFERCIK, U. G. ; KAVZOGLU, T. ; NAZAR, M. ; ATALAY, C. ; MADAK, M.: UAV-BASED 3D VIRTUAL TOUR CREATION. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLVI-4/W5-2021 (2021), 493–499. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-493-2021>. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-493-2021. – ISSN 2194-9034
- [Seidl Da Fonseca 2019] SEIDL DA FONSECA, Helena: *Prehistoric lakeshore settlements' landscape analysis : the cases of Attersee and Mondsee, Upper Austria*, Universität Wien, Masterarbeit, 2019. <https://ubdata.univie.ac.at/AC15389879>

- [Seidl Da Fonseca u. a. 2024] SEIDL DA FONSECA, Helena ; LEIPOLD, Fiona ; GRÖMER, Karina: Prehistoric Recycling Explained in a Playful Way: The Pfahlbauten Wimmelbild—An Interactive Digital Mediation Tool Designed by Young People. In: *Heritage* 7 (2024), Nr. 9, 4617–4630. <http://dx.doi.org/10.3390/heritage7090217>. – DOI 10.3390/heritage7090217. – ISSN 2571–9408
- [Staub 1864] STAUB, Johannes: *Die Pfahlbauten in den Schweizer-Seen*. Bd. 1. Verlag des Verfassers, 1864
- [Stollnberger u. a. 2022] STOLLNBERGER, Astrid ; LANG, Felix ; TRAXLER, Stefan ; LÖCKER, Klaus ; TOTSCHNIG, Ralf: Ausgrabung römische Villenanlage Weyregg. In: *Fundberichte aus Österreich: FÖ* 2020 (2022), Nr. 59, S. D6578–D6602
- [Stradal u. Dworsky 2002] STRADAL, Christian ; DWORSKY, Cyril: Zwei Einbaumfunde aus dem Klopeiner See/Kärnten. In: *Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie* 9 (2002), S. 10–12
- [Störig 1997] STÖRIG, Hans J.: *Abenteuer Sprache: ein Streifzug durch die Sprachen der Erde*. 2., überarb. Aufl. Humboldt-Taschenbuch-Verl. Jacobi, 1997 (Die großen Humboldt-Bücher Humboldt-Information 936). – ISBN 978–3–581–66936–1
- [Subal GmbH 2024] SUBAL GMBH: *SUBAL ND610*. http://www.subalusa.com/a48c73c2c1/Gehaeuse/UW_Gehaeuse/Nikon/ND610.aspx. Version: 2024
- [Suex 2021a] SUEX, S.r.l.: *Universal Video Camera Support - Full Kit - User Instruction Manual and Warnings*. Villorba (TV), 2021. <https://www.suex.it/de/>
- [Suex 2021b] SUEX, S.r.l.: *XK - User Instruction Manual and Warnings*. Villorba (TV), 2021. <https://www.suex.it/de/>
- [Suex 2022] SUEX, S.r.l.: *SGNSS Wireless Buoy - Seika - User Instruction Manual and Warnings*. Villorba (TV), 2022. <https://www.suex.it/de/>
- [Suex 2024a] SUEX, S.r.l.: *Eron D-1 Dashboard - User Instruction Manual and Warnings*. Villorba (TV), 2024. <https://www.suex.it/de/>
- [Suex 2024b] SUEX, S.r.l.: *Sinapsi Nose - User Instruction Manual and Warnings*. Villorba (TV), 2024. <https://www.suex.it/de/>
- [Suter u. Schlichtherle 2009] SUTER, Peter J. ; SCHLICHTHERLE, Helmut: *UNESCO World Heritage Candidature 'Prehistoric Pile Dwellings around the Alps*. Association pour l'inscription des Sites palafittiques préhistoriques autour des Alpes, 2009. – ISBN ISBN-978–3–906140–84–1
- [Tang u. a. 2023] TANG, Yulin ; WANG, Liming ; JIN, Shaohua ; ZHAO, Jianhu ; HUANG, Chao ; YU, Yongcan: AUV-Based Side-Scan Sonar Real-Time Method for Underwater-Target Detection. In: *JMSE* 11 (2023), Nr. 4, 690. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse11040690>. – DOI 10.3390/jmse11040690. – ISSN 2077–1312

- [Trinks u. a. 2018] TRINKS, Immo ; HINTERLEITNER, Alois ; NEUBAUER, Wolfgang ; NAU, Erich ; LÖCKER, Klaus ; WALLNER, Mario ; GABLER, Manuel ; FILZWIESER, Roland ; WILDING, Julia ; SCHIEL, Hannes ; JANSÁ, Viktor ; SCHNEIDHOFER, Petra ; TRAUSMUTH, Tanja ; SANDICI, Vlad ; RUSS, David ; FLÖRY, Sebastian ; KAINZ, Jakob ; KUCERA, Matthias ; VONKILCH, Alexandra ; TENCER, Tomáš ; GUSTAVSEN, Lars ; KRISTIENSEN, Monica ; BYE-JOHANSEN, Lise-Marie ; TONNING, Christer ; ZITZ, Thomas ; PAASCHE, Knut ; GANSUM, Terje ; SEREN, Sirri: Large-area high-resolution ground-penetrating radar measurements for archaeological prospection. In: *Archaeological Prospection* 25 (2018), Nr. 3, 171–195. <http://dx.doi.org/10.1002/arp.1599>. – DOI 10.1002/arp.1599. – ISSN 1075–2196, 1099–0763
- [Trinks u. a. 2019a] TRINKS, Immo ; NEUBAUER, Wolfgang ; TAYLOR, Timothy ; WALLNER, Mario ; LÖCKER, Klaus ; LESKOVAR, Jutta: High-resolution underwater archaeological prospection of Upper Austrian pile dwellings and lakes using multi-beam and sediment sonar. In: *NEW GLOBAL PERSPECTIVES ON ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION* (2019), S. 21
- [Trinks u. a. 2019b] TRINKS, Immo ; NEUBAUER, Wolfgang ; TAYLOR, Timothy ; WALLNER, Mario ; LÖCKER, Klaus ; LESKOVAR, Jutta: Hochauflösende unterwasserarchäologische Prospektion oberösterreichischer Pfahlbauten und Seen mit Fächerecholot und Sediment-Sonar. In: *PHOTOGRAMMETRIE – FERNERKUNDUNG – GEOINFORMATION* Bd. 28, Thomas P. Kersten, 2019, 234 – 240
- [Undersea Systems International, Inc. 2024a] UNDERSEA SYSTEMS INTERNATIONAL, INC.: *GoPro® / Light Combination Mount for Accessory Rail System*. <https://oceantechnologysystems.com/store/accessories/accessory-rail-systems-dive-lights/new-combination-mount-for-accessory-rail-system/>. Version: 2024
- [Undersea Systems International, Inc. 2024b] UNDERSEA SYSTEMS INTERNATIONAL, INC.: *Guardian Full Face Mask*. <https://oceantechnologysystems.com/store/full-face-masks/guardian-full-face-mask/>. Version: 2024
- [Veluscek u. Cufar 2014] VELUSCEK, Anton ; CUFAR, Katarina: Kolišča na Ljubljanskem barju/Pile-dwellings at Ljubljansko barje.–V. In: S. Tecco Hvala (ur./ed.), *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 30 (2014), S. 39–64
- [Verhoeven u. a. 2021] VERHOEVEN, G. J. ; SANTNER, M. ; TRINKS, I.: From 2D (to 3D) to 2.5D – Not All Gridded Digital Surfaces Are Created Equally. In: *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* VIII-M-1-2021 (2021), 171–178. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-M-1-2021-171-2021>. – DOI 10.5194/isprs-annals-VIII-M-1-2021-171-2021. – ISSN 2194–9050
- [Vinson 2004] VINSON, Steve: State of the Art? The International Handbook of Underwater Archaeology. In: *Reviews in Anthropology* 33 (2004), Nr. 2, 95–109. <http://dx.doi.org/10.1080/00938150490447420>. – DOI 10.1080/00938150490447420. – ISSN 0093–8157, 1556–3014

- [Violante 2021] VIOLANTE, Crescenzo: Acoustic remote sensing for seabed archaeology. In: *IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, 2021, S. 22–24
- [Westerdahl 2011] *Kapitel Conclusion: The maritime cultural landscape revisited.* In: WESTERDAHL, Christer: *The archaeology of maritime landscapes..* Bd. New York. NY: Springer New York, 2011, S. 331–344
- [van de Weyer u. a. 2018] WEYER, Klaus van d. ; SCHMIDT, Carsten ; KREIMEIER, B ; WASSONG, D: *Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland.* LfU, Landesamt für Umwelt, 2018
- [Willvonseder 1955] WILLVONSEDER, Kurt: *Das Mondseeland in urgeschichtlicher Zeit.* Oberösterreichische Heimatblätter, 1955 <https://ubdata.univie.ac.at/AC10519709>
- [Willvonseder 1963] WILLVONSEDER, Kurt: *Die jungsteinzeitlichen und bronzezeitlichen Pfahlbauten des Attersees in Oberösterreich.* Böhlau, 1963 (Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften / 11/12). <https://ubdata.univie.ac.at/AC02444170>
- [Willvonseder 1966] WILLVONSEDER, Kurt: *Eine bronzezeitliche Moorsiedlung in Gerlham bei Seewalchen.* 1966 <https://ubdata.univie.ac.at/AC09553797>
- [Wu u. a. 2021] WU, Ziyin ; YANG, Fanlin ; TANG, Yong: *High-resolution Seafloor Survey and Applications.* Springer Singapore, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-9750-3>. – ISBN 9789811597497 9789811597503
- [Yong-Ju u. Jong-Rak 1999] YONG-JU, Ro ; JONG-RAK, Yoon: *Design of the Wireless Underwater Telephone,* The Acoustical Society of Korea, 1999, S. 197–200
- [Zhang u. a. 2024] ZHANG, Ge ; YI, Guoxing ; WEI, Zhennan ; XIE, Yangguang ; QI, Ziyang: A Novel Positional Calibration Method for an Underwater Acoustic Beacon Array Based on the Equivalent Virtual Long Baseline Positioning Model. In: *Journal of Marine Science and Engineering* 12 (2024), Nr. 5, S. 825. – ISSN 2077–1312. – Publisher: MDPI
- [Zhao u. Wang 2024] ZHAO, Wenke ; WANG, Bangbing: Archaeological Geophysics in China–A Historical Perspective. In: *World Archaeo-Geophysics: Integrated minimally invasive approaches using country-based examples.* Springer International Publishing Cham, 2024, S. 93–107
- [Çağatay 2014] ÇAĞATAY, Namık ; FLEMMING, Nicholas C. (Hrsg.): *Land beneath the waves: submerged landscapes and sea level change; a joint geoscience-humanities strategy for European Continental Shelf Prehistoric Research.* 2. ed. European Marine Board, 2014 (European Marine Board Position Paper 21). – ISBN 978–94–92043–03–0
- [Ødegård 2018] ØDEGÅRD, Øyvind: *Towards Autonomous Operations and Systems in Marine Archaeology,* Norwegian University of Science and Technology, Doctoral thesis, 2018

Literaturverzeichnis

- [Čufar u. a. 2009] ČUFAR, Katarina ; VELUŠČEK, Anton ; TOLAR, Tjaša ; KROMER, Bernd:
Dendrokronološke raziskave na koliščarskih naselbinah Stare gmajne in Blatna Brezovica.
Inštitut za arheologijo ZRC SAZU: Založba ZRC, 2009. – ISBN 961–254–155–8. –
Issue: 16

A. Anhang

A.1. Technische Spezifikationen der verwendeten Geräte

A.1.1. Kameraausrüstung

Kamera und Objektive

In dieser Arbeit wurden zwei Kamerasysteme für die unterwasserarchäologische Dokumentation eingesetzt. Die Nikon D600, eine Vollformat-DSLR mit einer Auflösung von 24 Megapixeln und einem erweiterten ISO-Bereich von 100–6.400 wurde für hochauflösende Dokumentationen und photogrammetrische Anwendungen genutzt. Je nach Aufnahmesituation kamen das Nikkor 35 mm-Objektiv für Detailaufnahmen einzelner Objekte, und das Nikkor 14-24 mm Weitwinkelobjektiv für großflächige Kartierungen zum Einsatz. Ergänzend wurde die GoPro Hero 12 verwendet, die Videoaufnahmen in 5,3 K bei 60 fps ermöglicht, und durch ihre kompakte Bauweise insbesondere für die Erfassung von Arbeitsabläufen und Übersichtsaufnahmen diente.

Unterwassergehäuse und Dome-Ports

Für die Unterwasseraufnahmen wurde ein Gehäuse und Dome-Ports der Marke Subal und der Marke GoPro eingesetzt. Die Nikon D600 wurde in einem Subal ND610 Unterwassergehäuse verwendet, das für Tauchtiefen bis zu 80 Metern ausgelegt ist und eine Bedienung aller Kamerafunktionen unter Wasser ermöglicht. Je nach Objektiv kamen unterschiedliche Subal Ports zum Einsatz: Für das Nikkor 14-24 mm Weitwinkelobjektiv wurde ein Subal Dome-Port genutzt, während für das Nikkor 35 mm-Objektiv ein Subal Flachport verwendet wurde. Die GoPro Hero 12 wurde in einem Schutzgehäuse der Marke GoPro mit flacher Frontlinse eingesetzt.

Beleuchtungsanlage

Für die Unterwasseraufnahmen wurde eine Beleuchtungsanlage eingesetzt. Zum Einsatz kam eine Scaleo Infinity LED-Videoleuchte mit einer maximalen Lichtstärke von 7.000 Lumen und einer Farbtemperatur im Bereich von 5.000 Kelvin. Der Abstrahlwinkel beträgt 120 Grad. Die Leuchte wurde von einem Thor Lithium-Ionen-Akku mit einer Kapazität von 24 Ah betrieben. Sie war an einem Armsystem montiert, das eine flexible seitliche oder frontale Beleuchtung ermöglichte.

A. Anhang

A.1.2. Tauchausrüstung

Drucklufttauchgerät *DTG*

Für die Unterwasserarbeiten wurde ein Drucklufttauchgerät mit einem Doppeltanksystem bestehend aus zwei 12-Liter-Flaschen eingesetzt, wodurch ein Gesamtluftvolumen von 24 Litern zur Verfügung stand. Die Atemgasversorgung erfolgte über eine Vollgesichtsmaske des Typs Guardian der Marke OTS. Dieses System erlaubte im Flachwasserbereich Tauchzeiten von bis zu vier Stunden. Für den notwendigen Kälteschutz bei etwa 5 Grad Celsius Wassertemperatur sorgte ein Trilaminat-Trockentauchanzug der Marke Bare, der in Kombination mit einem beheizbaren Unterzieher und beheizbaren Handschuhen der Marke Santi getragen wurde. Die Beheizung der Unterziehausrüstung wurde über einen 40,8 Ah Akkutank der Firma YellowDiving betrieben, der eine gleichmäßige Wärmeversorgung auch bei längeren Tauchgängen sicherstellte.

Elektrisches Taucherantriebshilfsmittel *DPV*

Für die Unterwasserarbeiten wurde ein elektrisches Tauchertransporthilfesystem eingesetzt, um größere Distanzen effizient zurückzulegen und den Luftverbrauch zu reduzieren. Zum Einsatz kam ein Suex XK1 Scooter mit einer maximalen Geschwindigkeit von 85 Metern pro Minute und einer variablen Geschwindigkeitsregelung. Die Akkukapazität von 1.300 Wh ermöglichte eine Laufzeit von bis zu 330 Minuten.

A.1.3. Georeferenzierung

Für die Georeferenzierung wurden mehrere Systeme kombiniert, um eine präzise Positionsbestimmung unter Wasser zu gewährleisten. Das Suex SEIKA-System mit Synapsi und Eron wurde zur Navigation während der Tauchgänge eingesetzt, wobei die Seika-Boje GNSS-Daten übertrug, das Eron D-1 Dashboard Positions-, Tiefen- und Kursdaten in Echtzeit anzeigte, und die Synapsi-Nase Bewegung und Position über AHRS und GNSS erfasste. Zusätzlich wurde ein RTK-GNSS-System mit einem EMLID REACH RS2 Empfänger an einer modifizierten Boje genutzt, um die Position der Tauchbereiche mit zentimetergenauer Präzision zu bestimmen. Die grundlegenden und im Rahmen der Arbeit verwendeten Sonardaten wurden mit RTK- und IMU-Korrektur aufgenommen, wobei ein Teledyne Reson Seabat T50-P Multibeam-Sonarsystem mit einem Dual-head RTK-GNSS Positionierungssystem von Septentrio sowie einer SBG Apogee-E Inertial Measurement Unit (IMU) ausgestattet war, um Bewegungen auszugleichen und eine exakte Georeferenzierung der Fundstellen zu ermöglichen.

A.1.4. Computer Hardware

Für die Verarbeitung und Analyse der Unterwasseraufnahmen wurde ein Dell Alienware Aurora R13 Gaming PC eingesetzt, der eine leistungsstarke Hardwarekonfiguration für

A.2. Detaillierte Karten der Untersuchungsgebiete

rechenintensive Anwendungen bietet. Das System ist mit einem Intel Core i9-12900KF Prozessor der 12. Generation ausgestattet, der über 16 Kerne, 30 MB Cache und eine Taktrate von 3,2 GHz bis 5,2 GHz mit Turbo Boost Max 3.0 verfügt. Für die Grafikberechnungen kam eine Nvidia GeForce RTX 3090 mit 24 GB GDDR6X VRAM zum Einsatz, die insbesondere für die Bearbeitung großer photogrammetrischer Datensätze optimiert ist. Der Arbeitsspeicher umfasst 128 GB RAM, wodurch selbst speicherintensive Prozesse effizient ausgeführt werden konnten. Zur Speicherung der großen Datenmengen standen eine 2 TB Solid-State-Festplatte sowie eine zusätzliche 2 TB SATA-Festplatte zur Verfügung.

A.1.5. Computer Software

Die Bearbeitung der aufgenommenen Fotos erfolgte mit Adobe Lightroom Version 8.1, um Farbkorrekturen und Kontrastanpassungen vorzunehmen. Zur Erstellung der 3D-Modelle kam Agisoft Metashape Pro Version 2.1 zum Einsatz, während RealityCapture testweise für großflächige Modellierungen verwendet wurde. Die Georeferenzierung der Daten wurde mit QGIS Version 3.22 durchgeführt, um eine präzise Verortung der Fundstellen sicherzustellen. Für die Erstellung der Arbeit wurde der Online- $\text{\LaTeX}$ -Editor Overleaf genutzt. Die Recherche erfolgte über Google Scholar, die Datenbank der Universitätsbibliothek der Universität Wien, sowie ChatGPT. Als Zitiersoftware diente Zotero, das über ein Plugin in Overleaf integriert wurde. Für Übersetzungen wurden DeepL und Google Translate verwendet.

A.2. Detaillierte Karten der Untersuchungsgebiete

Aufgrund denkmalpflegerischer Erfordernisse werden hier keine Koordinaten oder Karten der Einzelobjekte veröffentlicht. Diese sensiblen Daten stehen jedoch auf Anfrage für Forschende beim Autor oder beim Bundesdenkmalamt zur Verfügung.

A.3. Dokumentation

A.3.1. Flugzeug Zusatztank

Fundort:	Attersee
Material:	Aluminium
Länge:	etwa 350 cm
Durchmesser:	etwa 60 cm
Farbe:	grau

A.3.2. Beschreibung

Die freiliegenden Bereiche des Tanks weisen eine zylindrische Form auf. Der Tank ist länglich und mit einem runden Querschnitt. Das Material weist selbst nach der Zeit im Wasser eine gute solide Struktur auf. Die beiden speziellen Halterungen zur Befestigung an den Tragflächen sind nach wie vor intakt. Die Füll- und Belüftungsöffnungen sind gut sichtbar und liegen frei.



Abb. A.1.: Foto: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, Jänner 2025

A.3.3. Erhaltungszustand

Auffallend ist der extensive Muschelbewuchs, welcher sich seit 2020 ausgebreitet hat. Innerhalb von 4 Jahren ist die freiliegende Oberseite nahezu völlig mit Muscheln bewachsen. Erheblich tritt dies an den Halterungen und den Öffnungen zum Vorschein, da diese nahezu verschwunden sind.



Abb. A.2.: 3D-Modell: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, West-Profil



Abb. A.3.: Foto: Attersee, Flugzeug-Zusatztank, Links: ohne Muschelbewuchs 2020, Rechts: starker Muschelbewuchs 2024

A.4. Einbaum

Fundort:	Attersee
Material:	Holz
Länge:	etwa 300 cm
Breite:	etwa 80 cm
Farbe:	braun

A.4.1. Beschreibung

Auf der leicht abfallenden Hanglage des Seebodens, in etwa 18 m Tiefe, befindet sich der hintere Abschnitt eines Einbaums, der ungefähr 3 Meter lang und 0,80 Meter breit ist. Deutlich erkennbar sind der massiv ausgeführte Heckblock, ein gut erhaltenes sowie ein beschädigtes Querschott, ein stabiler Boden und dünnwandige Seiten. Es wird angenommen, dass die ursprüngliche Länge des Einbaums in etwa zwischen 6 und 8 Metern lag, was darauf hindeutet, dass nur der hintere Teil des Wasserfahrzeugs erhalten geblieben ist. Im Heckblock und im ersten Querschott befinden sich jeweils zwei metallene Nägel

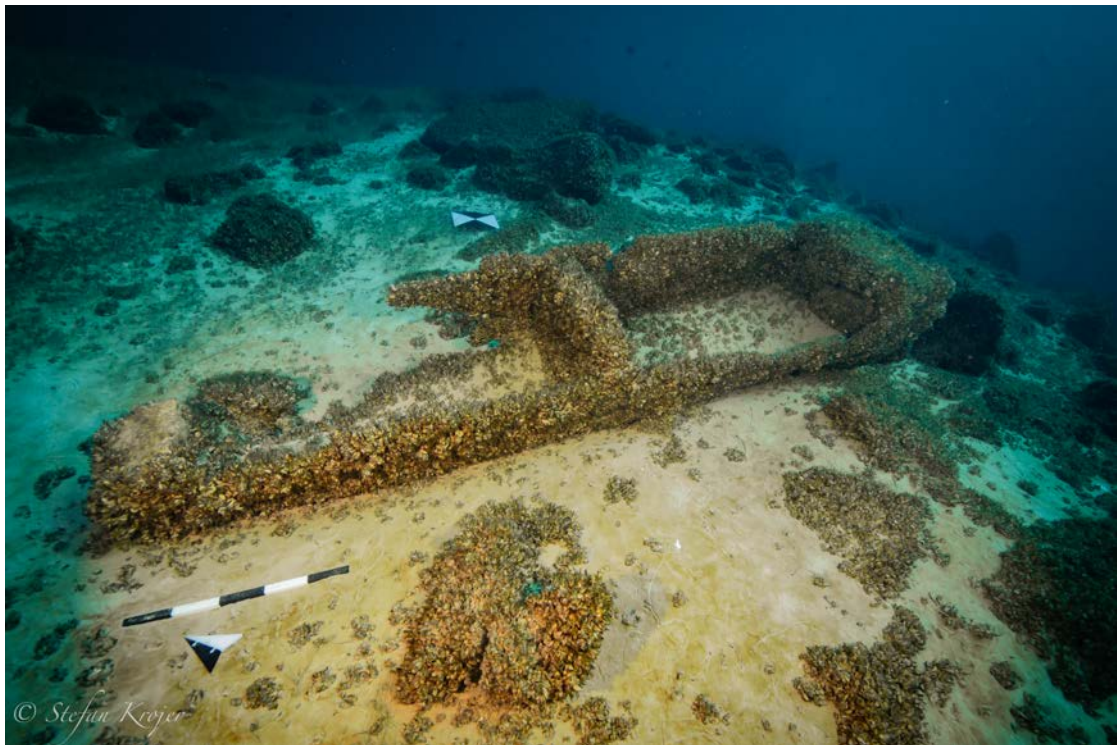


Abb. A.4.: Foto: Einbaum, Attersee, Übersicht Januar 2025

A.4.2. Erhaltungszustand

Im Rahmen der jüngsten archäologischen Untersuchung des Fundstücks im Januar 2024 wurde eine umfassende Zustandserfassung vorgenommen, die auf präzisen Voruntersuchungen basierte, welche ursprünglich von Henrik Pohl vom Kuratorium Pfahlbauten dokumentiert wurden. Die Vergleichsanalyse bestätigte, dass die strukturelle Integrität des Artefakts seit der letzten Dokumentation im Jahr 2017 nicht signifikant beeinträchtigt wurde. Dies legt nahe, dass weder hydrodynamische Belastungen noch direkte externe Einwirkungen erkennbare physische Schäden verursacht haben. Dennoch ist eine erhebliche Veränderung im biologischen Zustand des Fundobjekts zu beobachten. Besonders bemerkenswert und zugleich besorgniserregend ist der signifikante Anstieg des Muschelbewuchses, der in früheren Beobachtungszeiträumen nicht dokumentiert wurde. Die Akkumulation von Muscheln auf der Oberfläche des Artefakts hat zu einer deutlichen Veränderung in seiner physischen Struktur geführt. Die zuvor als dünnwandig eingestuften Seitenwände des Objekts haben durch diese biogenen Ablagerungen eine bemerkenswerte Verdickung erfahren, die an einigen Stellen bis zu 8 cm beträgt. Diese Entwicklung stellt nicht nur eine signifikante physische Veränderung dar, sondern birgt auch potenzielle Risiken für die Konservierung des Artefakts, da der ungewöhnlich starke Muschelbewuchs direkte und indirekte Auswirkungen auf die Materialeigenschaften und somit auf die langfristige Erhaltung des Objekts haben kann. Des Weiteren ist die ursprüngliche Holzstruktur und -form am massiven Heckteil nicht mehr eindeutig erkennbar, da auch hier mehrschichtiger Muschelbewuchs aufgetreten ist. Eine strukturelle Erfassung oder Probenentnahme ist daher nicht mehr möglich. Zuletzt sei angemerkt, dass der auf der Backbordseite gefundene Steinanker nicht mehr identifizierbar ist. Es kann nicht mehr festgestellt werden, ob die 2017 identifizierten Seile am Anker noch vorhanden sind, und auch die Struktur des Steinankers selbst ist aufgrund des Muschelbewuchses um den Einbau herum nicht mehr erkennbar. Die rapide und schichtweise Ausbreitung des Muschelbewuchses lässt darauf schließen, dass die Gesamtstruktur in wenigen Jahren nicht mehr erkennbar sein wird. Es ist derzeit unklar, welche Auswirkungen der Muschelbefall auf die hölzerne Struktur selbst hat. Das massive Gewicht, das dadurch auf die Statik einwirkt, könnte zu einer Destabilisierung führen und den Fund gefährden.

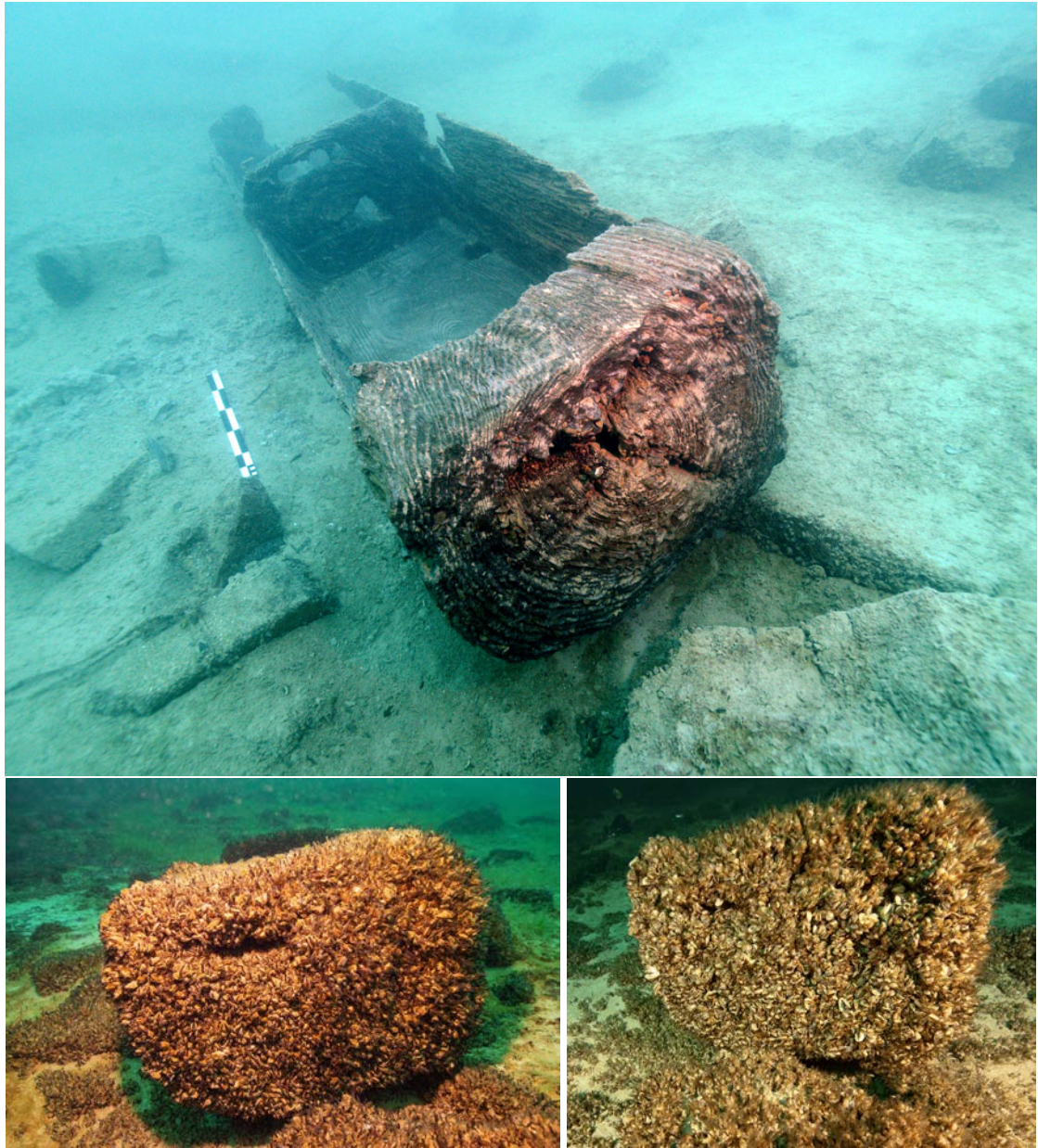


Abb. A.5.: Foto: Attersee, Einbaum, Oben: ohne Muschelbewuchs 2018, © Henrik Pohl;
Links: Januar 2024 Rechts: Januar 2025

A.5. Blattschreiber L15

Fundort:	Attersee
Material:	Stahl / Aluminium
Breite:	etwa 53 cm
Höhe:	etwa 40 cm
Tiefe:	etwa 47 cm
Farbe:	dunkelgrün



Abb. A.6.: Foto: Attersee, Blattschreiber L15

A.5.1. Beschreibung

In einem Abstand von etwa 50 cm östlich eines massiven Baumwurzelstocks liegt in einer Wassertiefe von 19 Metern des Attersees ein Blattschreiber L15. Er ist zu einem Viertel im Sediment eingebettet und weist eine Nord-Süd-Ausrichtung auf. Der Tastaturteil zeigt nach Süden und ist etwas tiefer in das Seebodensediment eingesunken. In westlicher Richtung ist im Seeboden eine deutliche Schleifspur erkennbar.

A.5.2. Erhaltungszustand

Die Metallverkleidung des Geräts fehlt, die Tastatur hingegen ist vollständig erhalten. Die Mechanik liegt frei, und das Stromkabel verläuft quer über den Frontbereich oberhalb der Tastatur. Die Tastatur ist gut erkennbar und noch lesbar. Durch fremde

A. Anhang

anthropogene Einwirkung wurde die Plakette mit der Typenbezeichnung am rechten oberen Rand des Geräts unter Wasser gereinigt. Zum Zeitpunkt der Betauchung war die Inschrift daher deutlich lesbar (Abb. A.7): *BLATTSCHREIBER L15 / C. LORENZ A.-G. / BERLIN-TEMPELHOF / Nr.: 10019*. Aufgrund der gut erkennbaren Seriennummer wäre eine weiterführende Forschung hinsichtlich des Produktionsstandorts sowie des ursprünglichen Einsatzortes möglich und empfehlenswert. Auf der Oberseite der Mechanik ist ein massiver Befall durch Quagga-Muscheln feststellbar, während der restliche Mechanismus nur vereinzelt betroffen ist. Die Schleifspur im Seeboden, die gereinigte Oberfläche, sowie insbesondere das Metallschild deuten darauf hin, dass der Fernschreiber bewegt wurde. Es ist anzumerken, dass vermutlich nur das hohe Gewicht des Geräts eine vollständige Entfernung vom Fundort verhindert hat. Gleichzeitig sind durch das Versetzen des Fernschreibers keine sichtbaren Beschädigungen entstanden. In Hinblick darauf, dass es sich um ein Metallgerät handelt, ist der Erhaltungszustand überdurchschnittlich gut. Wie auf den Abbildungen (Abb. A.8) deutlich zu erkennen ist, unterliegt der Blattschreiber seit seiner Entdeckung im Jahr 2021 starken Veränderungen durch anthropogene und natürliche Einflüsse. Auch der unmittelbare Fundkontext des Fernschreibers T36 Lo hat sich seit 2021 verändert, da seine ursprüngliche Lokalisation nicht mehr gegeben ist.



Abb. A.7.: Foto: Attersee, Blattschreiber L15, Plakette mit Seriennummer

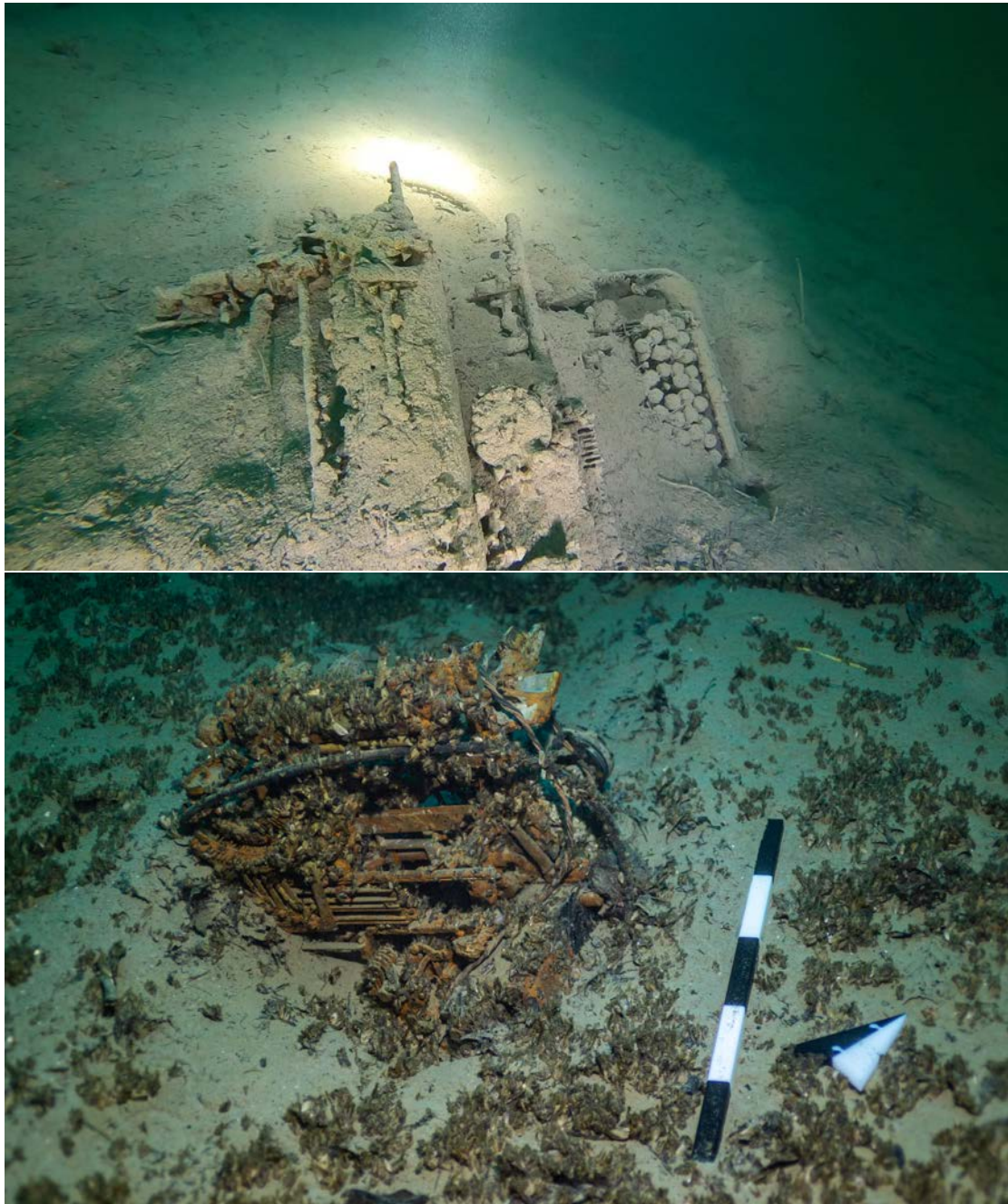


Abb. A.8.: Foto: Attersee, Blattschreiber L15, Oben: Oktober 2021, Unten: Januar 2024

A.6. Fernschreiber T36 Lo

Fundort:	Attersee
Material:	Stahl / Aluminium
Breite:	etwa 47 cm
Höhe:	etwa 40 cm
Tiefe:	etwa 56 cm
Farbe:	dunkelgrün

A.6.1. Beschreibung

Auf freier Fläche und ebenem, schlammigem Seeboden in leichter Hanglage liegt in 22 Metern Tiefe am Grund des Attersees ein Fernschreiber T36 Lo. Das Gerät befindet sich in Kopflage, mit der Vorderseite und der vorstehenden Tastatur nach Süden ausgerichtet. In der nördlichen Ansicht ragt das Stromversorgungskabel deutlich hervor.

A.6.2. Erhaltungszustand

Der Fernschreiber unterliegt massiven strukturellen Veränderungen, die durch einen erheblichen Quagga-Muschel-Befall verursacht wurden, wie auf den Abbildungen (Abb. A.9) deutlich erkennbar ist. Eine strukturelle Unterscheidung oder ein Wiederauffinden wäre ohne genaue Kenntnis der Lokalisation nicht mehr möglich. Die dicke Schicht an Quagga-Muscheln verdeckt die darunterliegende Struktur vollständig, sodass sie nur noch erahnt werden kann. Von den umliegenden Steinen und Hölzern, die ebenfalls vom Quagga-Muschel-Befall betroffen sind, lässt sich der Fernschreiber nur noch durch die herausragende Tastatur sowie das Stromversorgungskabel unterscheiden, die sich in südlicher bzw. nördlicher Richtung abzeichnen. Die Kopflage des Geräts entspricht weiterhin dem Zustand bei seiner Entdeckung im Jahr 2021. Seitdem ist der Fernschreiber jedoch leicht in südliche Richtung in das Seebodensediment eingesunken. Der unmittelbare Fundkontext zum Blattschreiber L15 ist nicht mehr gegeben, da dieser seit 2021 bewegt wurde. Eine Zustandskontrolle seit 2021 ist aufgrund des starken Muschelbewuchses nicht mehr möglich, ohne das Gerät zuvor zu reinigen. Eine solche Reinigung würde jedoch unweigerlich zu strukturellen Beschädigungen führen.

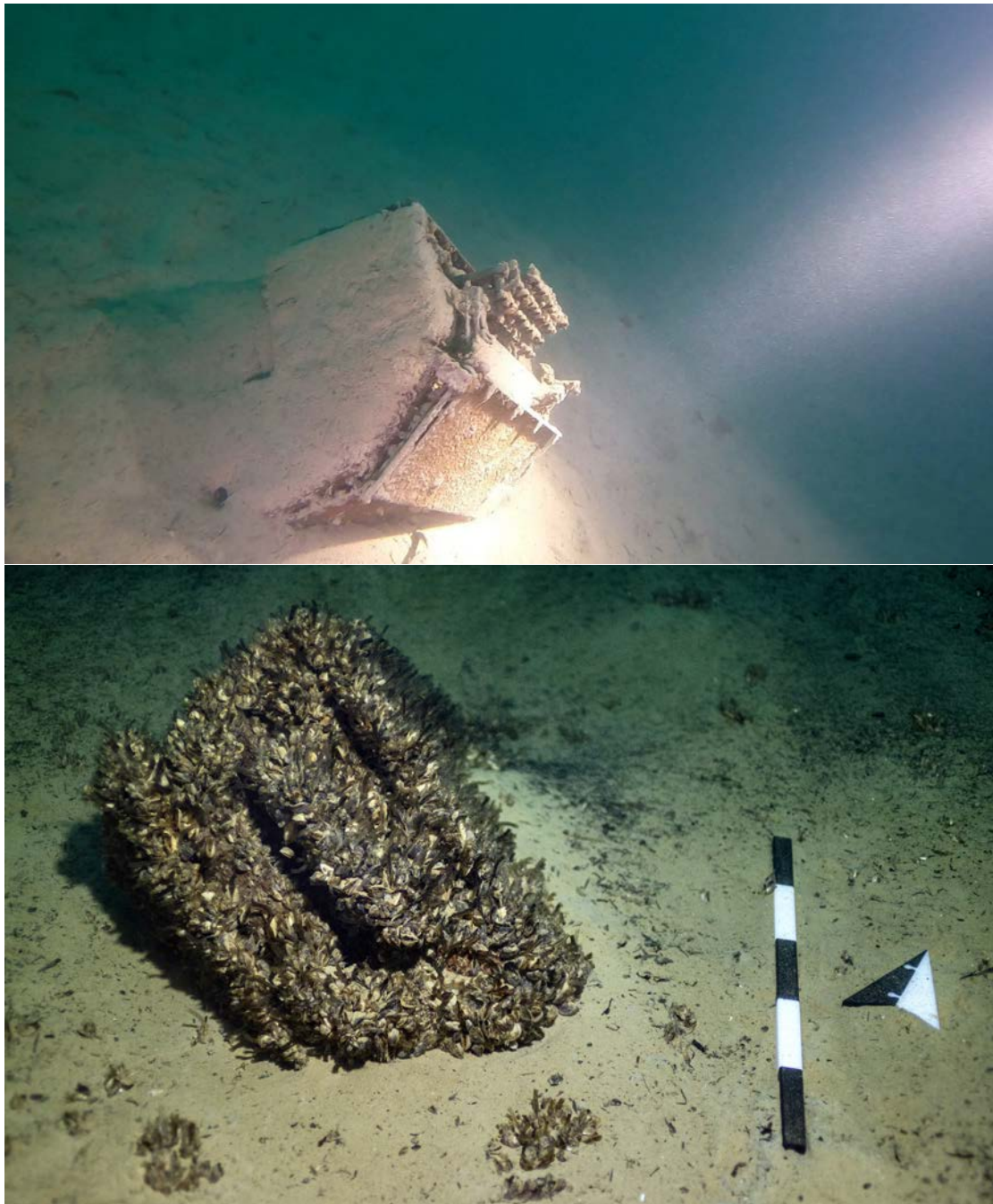


Abb. A.9.: Foto: Attersee, Fernschreiber T36 Lo, Oben: Oktober 2021, Unten: Januar 2024

A.7. Renault Dauphine

Fundort:	Attersee
Material:	Stahlblech, Aluminium
Länge:	560 cm
Breite:	135 cm
Höhe:	126 cm
Farbe:	rot

A.7.1. Beschreibung

Auf freier Fläche des Seebodens in einer Wassertiefe von etwa 23 bis 24 Metern im Attersee befindet sich das Wrack eines Renault Dauphine. Der umliegende Bereich ist frei von jeglichen Orientierungspunkten. Während das Ufergefälle in östlicher Richtung steil abfällt, ist der Bereich des Fundorts nahezu eben. Das Wrack ist in Ost-West-Richtung ausgerichtet. Die Beifahrertür liegt in südwestlicher Richtung, etwa drei Meter vom Wrack entfernt, auf dem Seeboden.



Abb. A.10.: Foto: Attersee, Renault Dauphine, Unterseite, Januar 2024

A.7.2. Erhaltungszustand

Das untersuchte Autowrack weist für ein metallisches Fundobjekt unter Wasser einen vergleichsweise guten Erhaltungszustand auf. Die Fahrzeugstruktur ist weitgehend

intakt, und es sind nur geringe Korrosionsspuren sichtbar. Eine erste fotografische Dokumentation aus dem Januar 2024 zeigt, dass der Bewuchs durch Quagga-Muscheln zu diesem Zeitpunkt noch nicht flächendeckend war. Eine vergleichende Analyse der Aufnahmen aus dem Jahr 2025 belegt jedoch eine rapide Zunahme des Muschelbewuchses. Mittlerweile ist die gesamte Oberfläche des Objekts stark von Muscheln bedeckt, und durch die Schichtung der Muscheln verliert das Wrack zunehmend an struktureller Klarheit. Besonders problematisch ist dies im Hinblick auf identifikationsrelevanten Merkmale, die durch die dichte Besiedlung zunehmend unkenntlich werden. Das Fahrzeug liegt stabil auf dem Seeboden und zeigt keine Anzeichen von Sedimentbedeckung. Die Identifikation als Renault Dauphine konnte anhand spezifischer Merkmale eindeutig erfolgen. Auffällig ist das Fehlen sowohl des Motorblocks als auch der Autobatterie, wodurch potenzielle Schadstoffquellen nicht mehr im Wrack nachweisbar sind. Damit ist das ökologische Risiko, das von dem Objekt ausgeht, als gering einzustufen. Zudem fehlt die Bereifung der Beifahrerseite, während die Frontscheibe ebenfalls nicht mehr vorhanden ist. Im Gegensatz dazu ist die Heckscheibe intakt. Beide Klappen des Fahrzeugs – sowohl die Heckklappe, die Zugang zum Motorraum gewährt, als auch die Frontklappe über dem Kofferraum – befinden sich in geöffnetem Zustand. Die ursprüngliche Lackierung des Fahrzeugs ist in einem verblassten, aber noch erkennbaren Rot-Färbung erhalten. Das Innere des Wracks ist weitgehend leer: Weder Sitze noch das Interieur sind erhalten. Während das Lenkrad und das Gaspedal noch vorhanden sind, fehlen die Armaturen vollständig. Ein Detail stellt die Beifahrertür dar, die sich etwa drei Meter vom Hauptwrack entfernt befindet. Da in der untersuchten Tiefe keine signifikanten Strömungen festgestellt wurden, die eine derartige Verlagerung bewirken könnten, ist von einer anthropogenen Einwirkung auszugehen. Dies deutet darauf hin, dass das Wrack in der Vergangenheit zumindest partiell durch äußere Einflüsse verändert wurde.

A.8. Station Seewalchen I – Bereich Sprungturmgrube

Fundort: Attersee – Seewalchen
Länge: 15 Meter
Breite: 15 Meter

A.8.1. Beschreibung

Die Sprungturmgrube des Strandbads Seewalchen am Attersee stellt einen Teilbereich der Pfahlbaustation Seewalchen I dar. Innerhalb des öffentlich zugänglichen Strandbads wurde eine etwa 15 mal 15 Meter große Ausbaggerung des Seebodens vorgenommen. Die Wassertiefe in diesem Bereich variiert zwischen einem und 2,5 Metern. Diese künstliche Vertiefung wurde im Jahr 1957 ausgehoben, um das Springen vom Sprungturm in den See sicherer zu gestalten. Die Grube wird von einer hölzernen Umgrenzung eingefasst, die durch Verschalung stabilisiert ist.



Abb. A.11.: Foto: Attersee, Seewalchen I, Drohnenaufnahme des Bereichs der Sprungturmgrube, © Immo Trinks

A.8.2. Erhaltungszustand

Bei der Betauchung im Januar 2024 konnte festgestellt werden, dass im ausgebaggerten Bereich der Sprungturmgrube keinerlei Pfähle oder andere kulturell relevante Strukturen oder Einzelfunde mehr sichtbar sind. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein



Abb. A.12.: 3D Modell: Attersee, Seewalchen I, Sprungturmgrube, Pfähle mit Keramik

Großteil der Fläche innerhalb der 15 mal 15 Meter großen Ausbaggerung von einer dichten Schicht aus Blätterwerk bedeckt war. Da es sich um einen nicht-invasiven Prospektionsstauchgang handelte, wurde diese Sedimentschicht nicht entfernt, sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass darunter noch Überreste verborgen liegen. Auch an der Innenseite der hölzernen Verschalung konnten keine kulturellen Hinterlassenschaften festgestellt werden. Der gesamte Bereich wirkt nicht nur in archäologischer Hinsicht, sondern auch insgesamt äußerst steril. Bemerkenswert ist zudem das Fehlen rezent eingebrachter Gegenstände oder Müllablagerungen, was auf eine ungewöhnlich geringe Störung des Areals hinweist. In südöstlicher Richtung, an der Außenkante der hölzernen Verschalung, befindet sich jedoch eine auffällige Konzentration von Pfählen. Deren genaue Einordnung lässt sich ohne Datierungsmethoden wie die Radiokohlenstoffmethode (C^{14}) oder die Dendrochronologie nicht eindeutig bestimmen. Eine solche Datierung war im Rahmen der durchgeführten Arbeit nicht möglich. Angesichts des Fundkontextes erscheint jedoch eine prähistorische Herkunft wahrscheinlich. Diese Annahme wird durch das Vorhandensein von Keramikfragmenten unmittelbar im Bereich der Pfähle gestützt. Besonders hervorzuheben ist ein intaktes keramisches Bodenfragment, das aus dem Seesediment unmittelbar vor den Pfählen herausragt. Auffallend ist, dass sich bereits auf der Oberfläche des Bodenfragments ein Befall mit Quagga-Muscheln nachweisen lässt (Abb. A.12). Ob es sich dabei um ein vollständiges Gefäß handelt, konnte nicht festgestellt werden, da eine Untersuchung dieser Frage einen invasiven Eingriff in den Seeboden erfordert hätte.

A.9. Station Seewalchen I – Bereich Anlegestelle der Atterseeschifffahrt

Fundort: Attersee – Seewalchen
Länge: 30 Meter
Breite: 15 Meter

A.9.1. Beschreibung

Im Bereich der Station Seewalchen I, südöstlich der Sprungturmgrube, befindet sich die seit 2014 errichtete Panoramasteganlage (Abb. A.13). An ihrem im See befindlichen Ende liegt der Anlegebereich für die Atterseeschifffahrt. Unmittelbar in diesem Bereich, in einer Tiefe von etwa 2,5 Metern und auf einer Fläche von etwa 30 mal 15 Metern, ist infolge der wiederkehrenden Anlandungs- und Abfahrmanöver der Atterseeschifffahrt eine deutliche Ausschwemmung des Seebodensediments erkennbar.



Abb. A.13.: Foto: Attersee, Seewalchen I, Panoramasteganlage

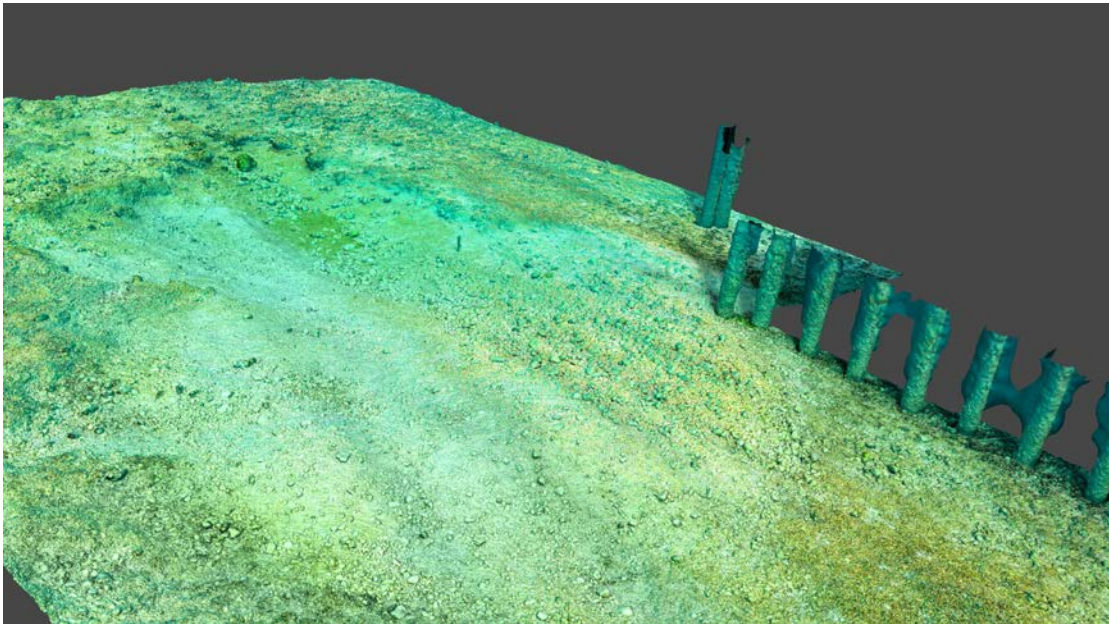


Abb. A.14.: 3D Modell: Attersee, Seewalchen I, Ausspülung durch die Schifffahrt

A.9.2. Erhaltungszustand

Die Betauchung im Januar 2024 ergab, dass infolge der Schiffsmanöver keinerlei kulturelle Reste mehr in diesem Bereich nachweisbar sind. Eine genauere Beurteilung, ob sich hier ursprünglich prähistorische Siedlungsreste befanden, ist mangels vorheriger Dokumentation nicht mehr möglich. Angesichts der umliegenden Befundlage innerhalb der Station Seewalchen erscheint es jedoch naheliegend, dass auch in diesem Bereich Siedlungsreste vorhanden gewesen sein könnten. Die durch die Schub- und Sogwirkung der Schiffe ausgespülten Sedimente aus der Vertiefung haben sich in südwestlicher Richtung unmittelbar neben der Ausspülungszone abgelagert (Abb. A.14). Eine gezielte Untersuchung dieser Aufschüttung auf prähistorische Reste wäre denkbar und sinnvoll. Zwar wäre eine präzise Lokalisierung der Funde innerhalb ihres ursprünglichen Kontexts nicht mehr möglich, dennoch ließen sich durch eine Untersuchung eventuell Hinweise auf eine Zuordnung zu dem Siedlungsbereich gewinnen.

A.10. Station See – Mondsee

Fundort:	Mondsee – See
Länge:	210 Meter
Breite:	100 Meter

A.10.1. Beschreibung

Die Station See, Mondsee befindet sich im Flachwasserbereich des östlichen Auslaufs des Mondsees, unmittelbar vor dem Abfluss in die Seeache. Die Wassertiefe variiert in diesem Bereich zwischen 0,5 und 4 Metern. Die Station wird im Norden und Süden durch das Ufer begrenzt, während das Gelände nach Westen hin sehr flach abfällt und eine maximale Wassertiefe von etwa 6 Metern erreicht. Die oberflächlich sichtbaren Pfahlkonzentrationen erstrecken sich streifenförmig in Bahnen von Nordost nach Südwest und reichen vom Ufer bis in eine Tiefe von etwa 3,7 Metern. Eine optische Begrenzung der Station erfolgt durch die im Rahmen früherer Forschungen gespannten Markierungslinien im westlichen Bereich, die sich über die gesamte Station erstrecken. Zusätzlich wird die Station durch fünf Orientierungsleinen oberflächlich unterteilt, die entlang der vom Kuratorium Pfahlbauten gesetzten Erosionsmarker verlaufen und sich ebenfalls in nordost-südwestlicher Richtung erstrecken. Auffällig ist zudem der durch die Offenbergergrabung entstandene Grabungsschnitt im nordwestlichen Bereich sowie der Offenberger-Rahmen im mittleren Teil der Station. Am südöstlichen Ausläufer der Fundstelle, nahe dem südlichen Ufer, befindet sich eine rezente hölzerne Platte. Unmittelbar südlich davon liegen mehrere größere Schwemmhölzer. Der östliche Bereich der Station erscheint hingegen nahezu steril, lediglich einzelne liegende Schwemmhölzer sind auf der schlammigen Oberfläche auszumachen.

A.10.2. Erhaltungszustand

Auffallend bei den mehrfachen Betauchungen im Rahmen dieser Arbeit ist die zunehmende strukturelle Veränderung der gesamten Fläche durch den fortschreitenden Quagga-Muschel-Befall. Besonders im östlichen Bereich der Station ist der Seeboden bereits vollständig von einer dichten Schicht dieser Muscheln überzogen (Stand Januar 2025). Dadurch sind oberflächlich erkennbare Pfähle nur dann noch sichtbar, wenn sie entweder weit genug aus dem Seeboden ragen und sich als Erhebungen innerhalb der Muschelschicht abzeichnen, oder wenn sie eine Höhe von mindestens 20 Zentimetern über den Seeboden hinaus erreichen und somit noch deutlich erkennbar bleiben. In Richtung Westen nimmt die Intensität des Muschelbewuchses allmählich ab, wenngleich er in allen Bereichen der Station nachweisbar ist. Besonders auffällig ist, dass sich die Muscheln bevorzugt zunächst an den unteren Enden der Pfähle ansiedeln und sich offenbar schrittweise nach oben ausbreiten (Abb. A.16). Dies verdeutlicht erneut, dass bodennahe Strukturen, wie Pfähle oder Steine, bevorzugt besiedelt werden und als erste von der



Abb. A.15.: Foto: Mondsee, Station See, über und unter Wasser mit dem Offenberger-Rahmen

Quagga-Muschel betroffen sind. Basierend auf der aktuellen Entwicklung ist davon auszugehen, dass die gesamte Station See in den nächsten drei Jahren, voraussichtlich bis 2028, vollständig von Quagga-Muscheln überzogen sein wird. Trotz des großflächigen Befalls sind an den Pfählen selbst bislang keine erkennbaren oberflächlichen Schäden durch die Muschelschicht zu beobachten. Allerdings wird die strukturelle Erfassung der Pfähle zunehmend erschwert, da deren Konturen und sichtbare Oberflächen durch den dichten Bewuchs allmählich verschwinden.

Im Folgenden werden 10×10 m Kacheln des 2024 dokumentierten Seegrundes an der Station See abgebildet.

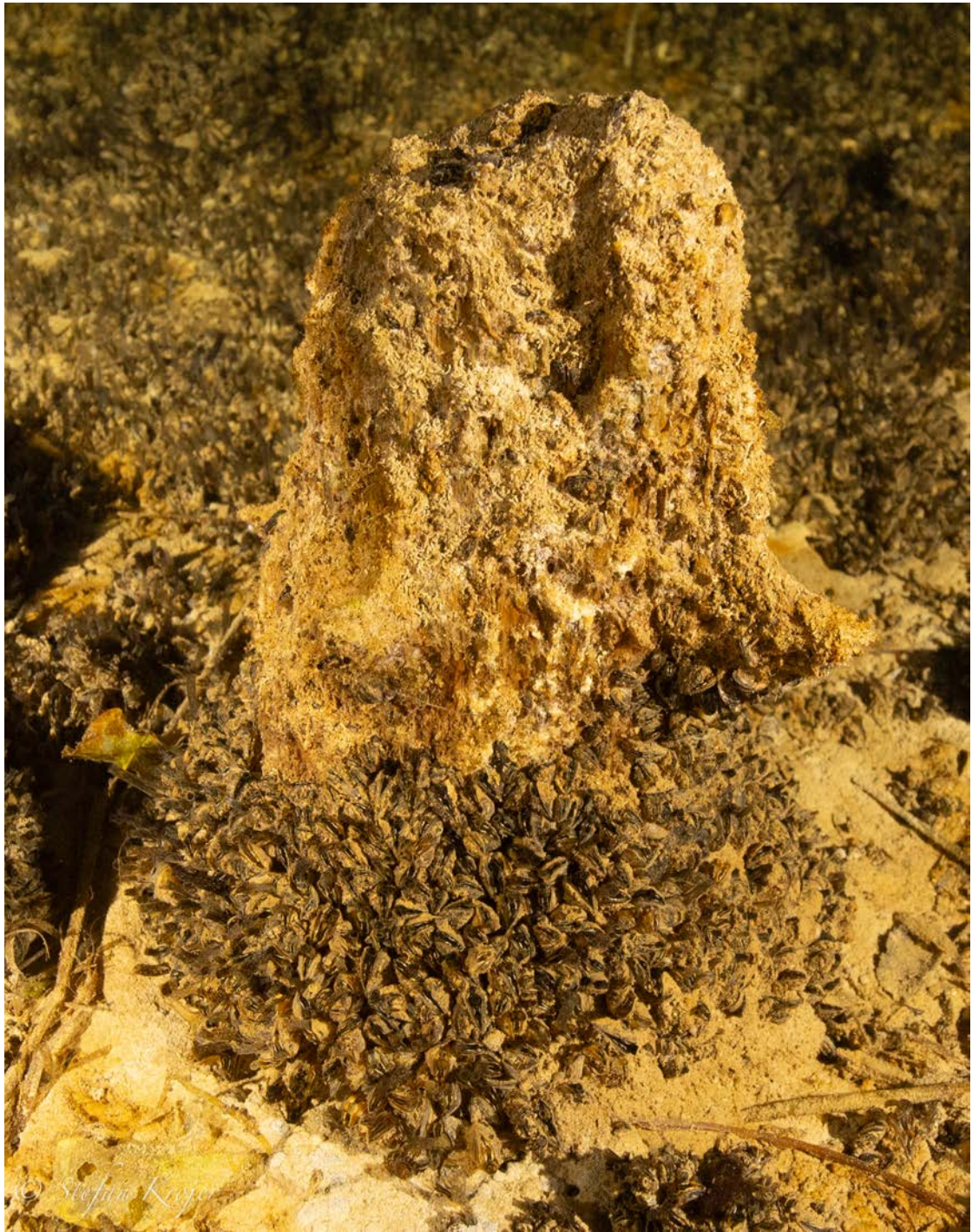
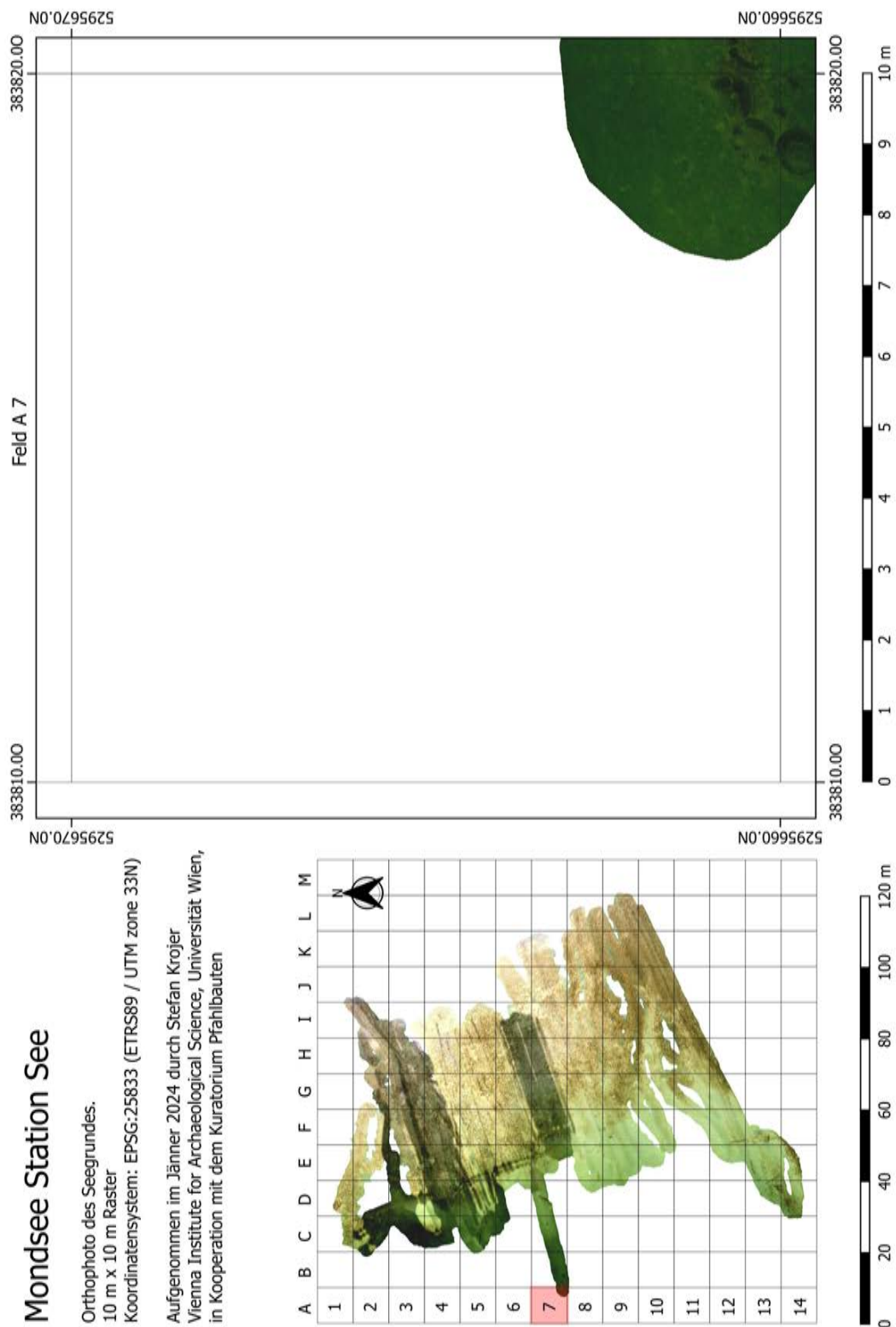


Abb. A.16.: Foto: Mondsee, Station See, Pfahl mit zunehmenden Muschelbewuchs



Abb. A.17.: Foto: Mondsee, Station See, Oben: September 2014, Unten: Januar 2025



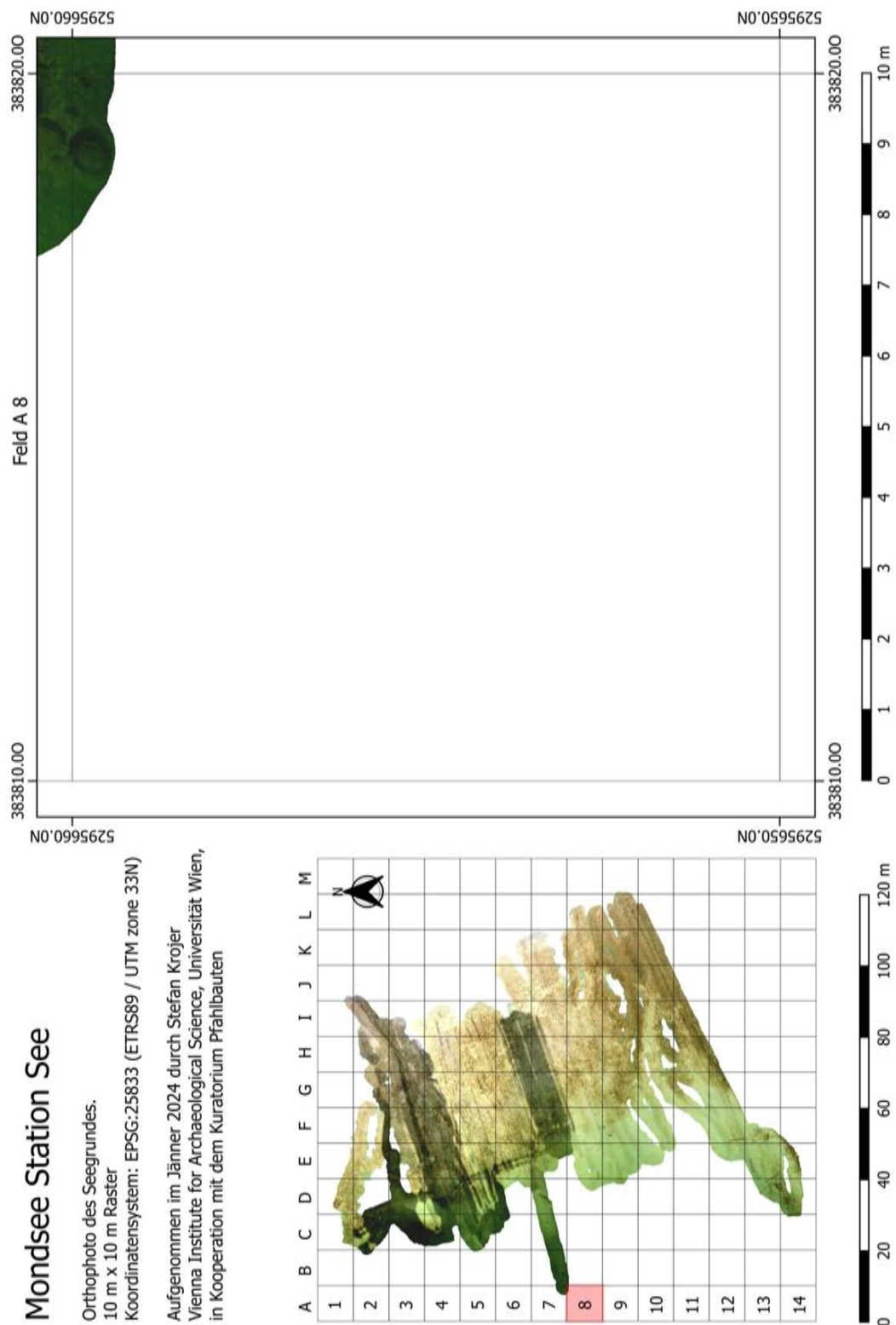


Abb. A.19.: Mondsee Station See: Feld A8

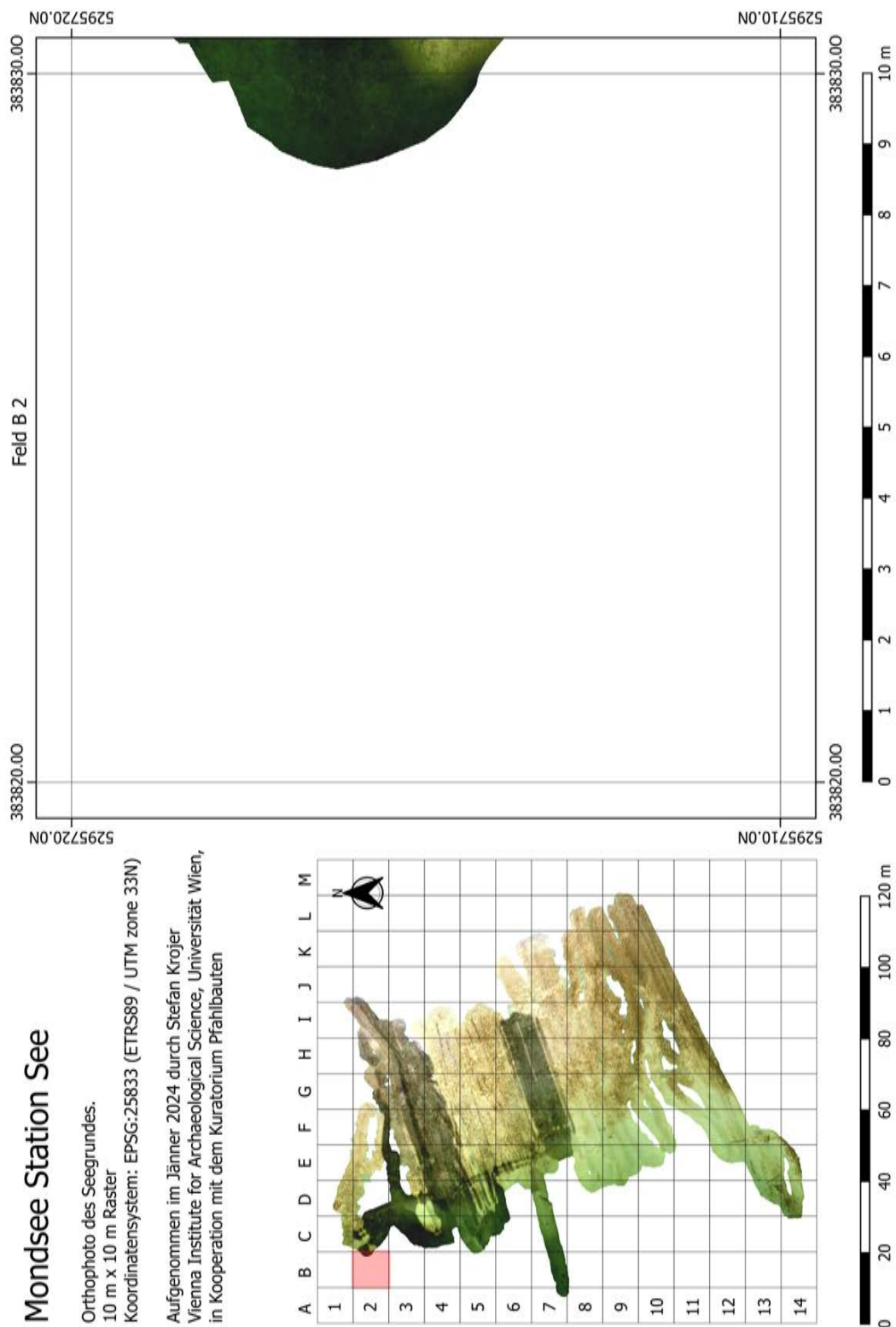


Abb. A.20.: Mondsee Station See: Feld B2

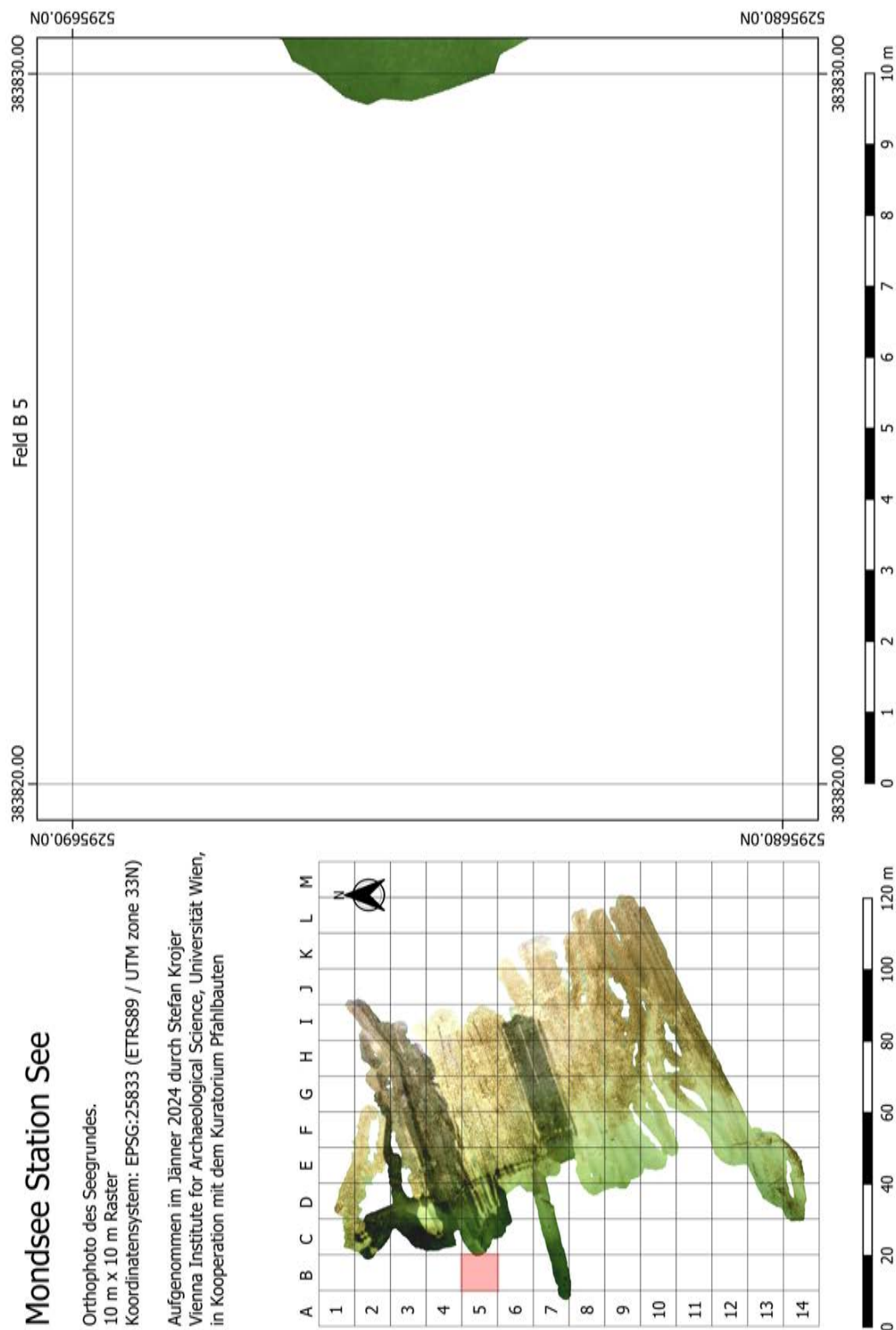


Abb. A.21.: Mondsee Station See: Feld B5

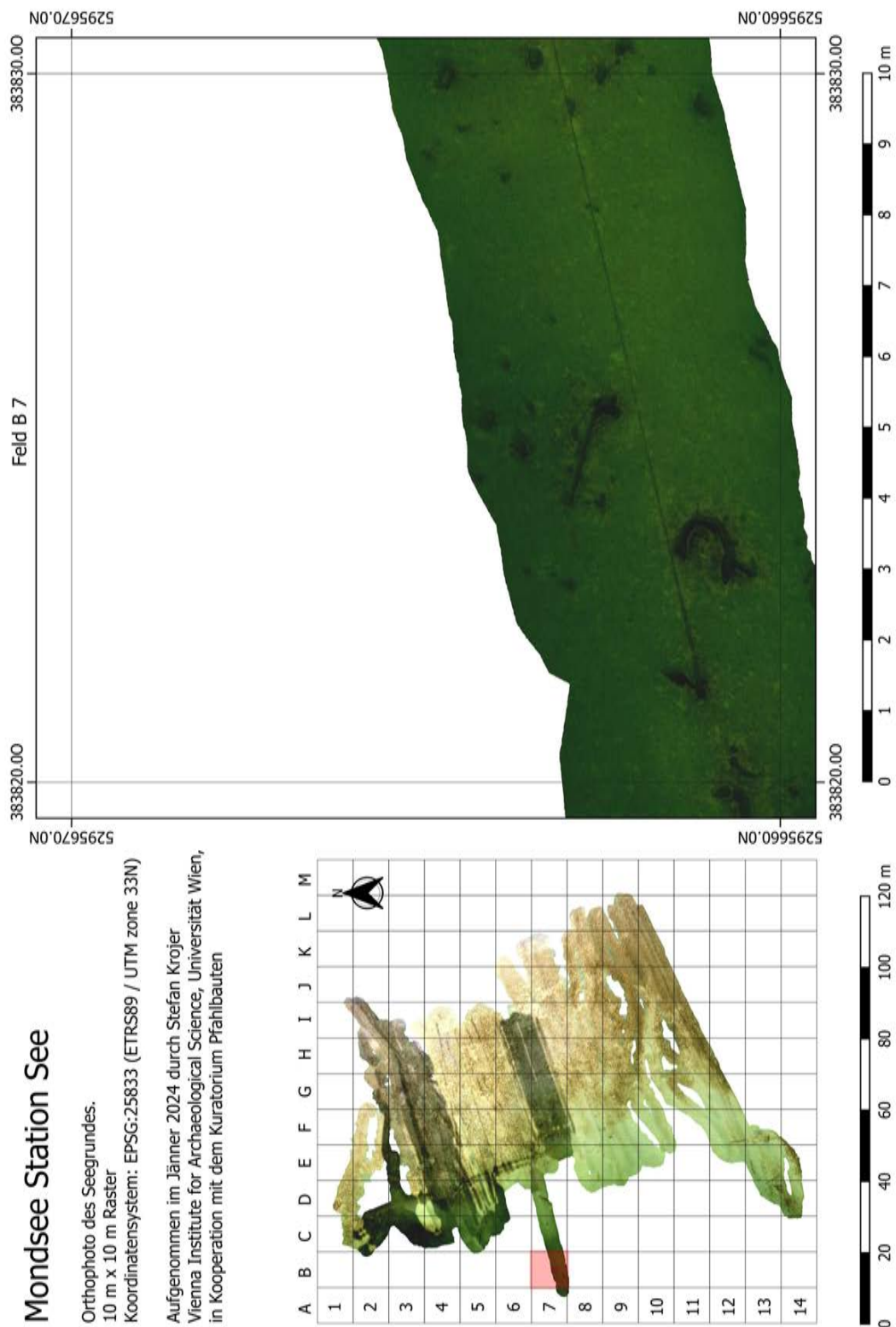


Abb. A.22.: Mondsee Station See: Feld B7

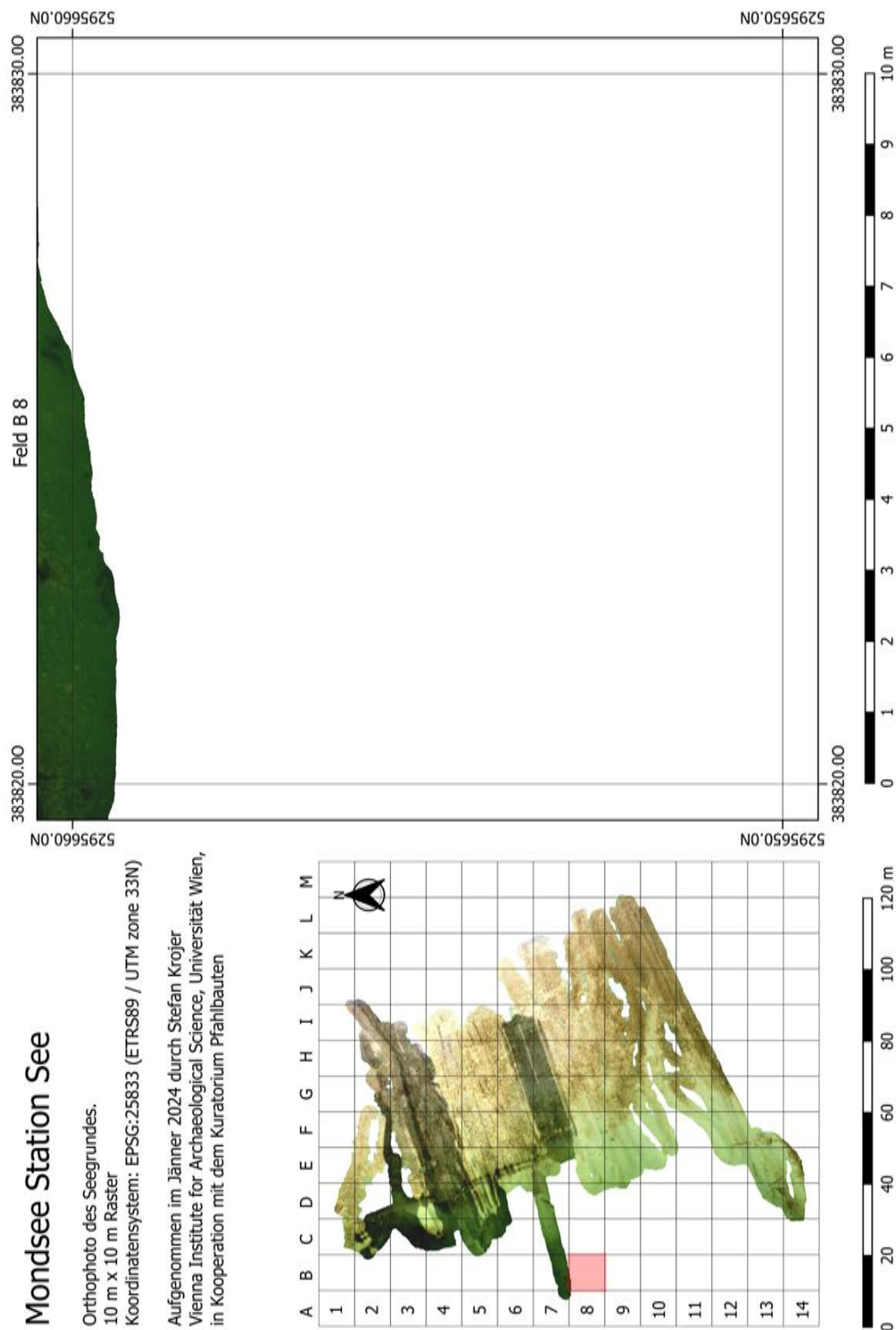


Abb. A.23.: Mondsee Station See: Feld B8

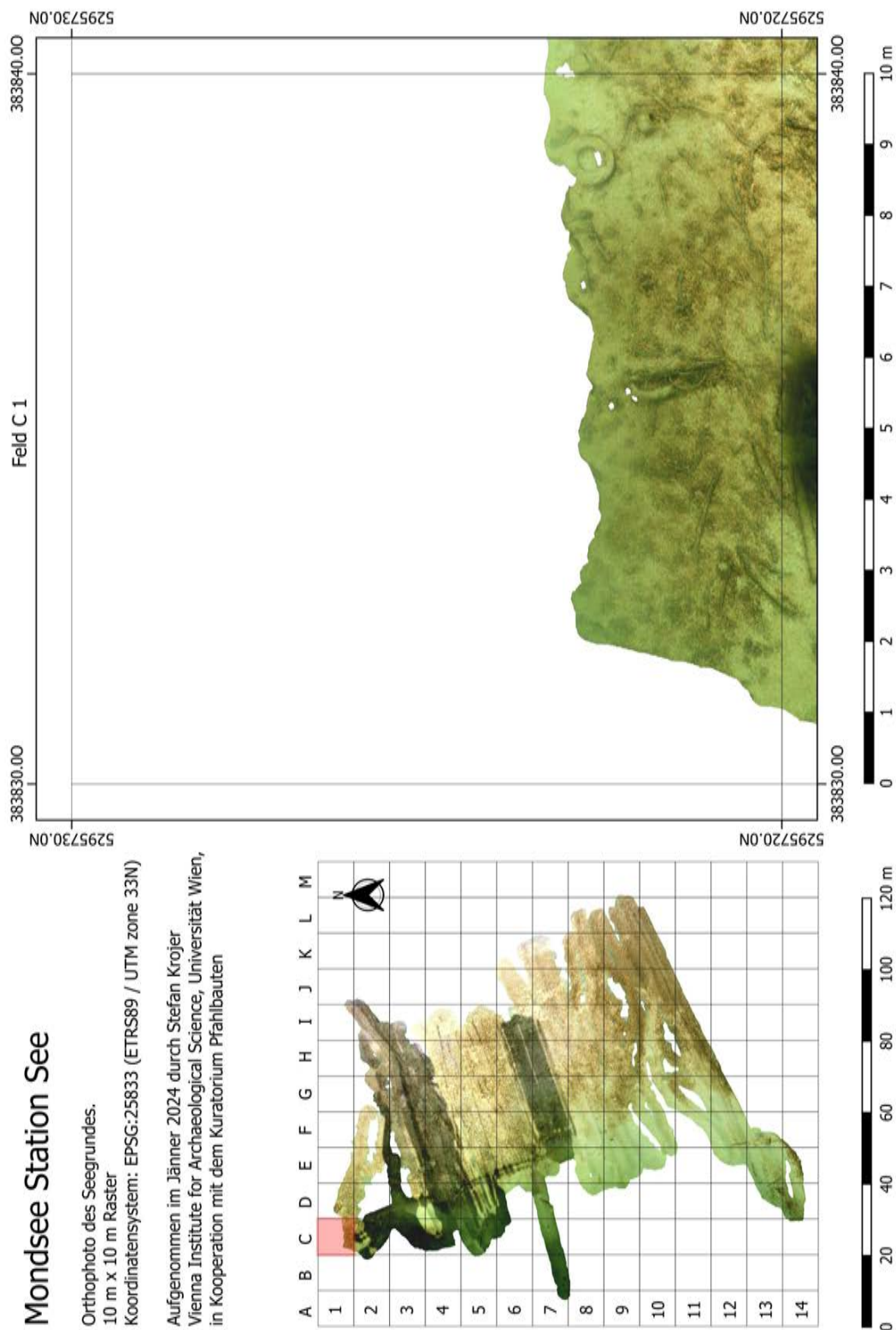


Abb. A.24.: Mondsee Station See: Feld C1

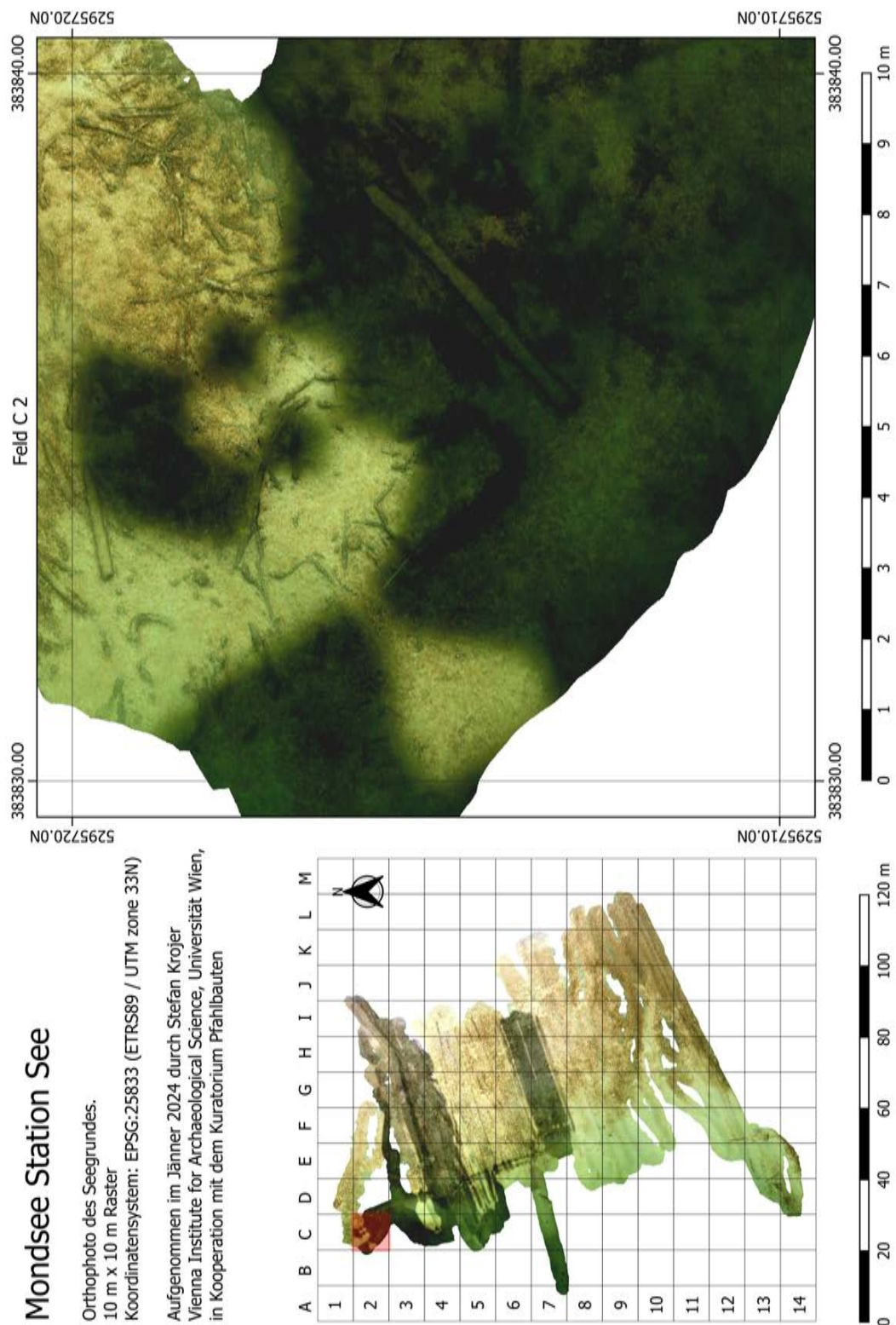


Abb. A.25.: Mondsee Station See: Feld C2

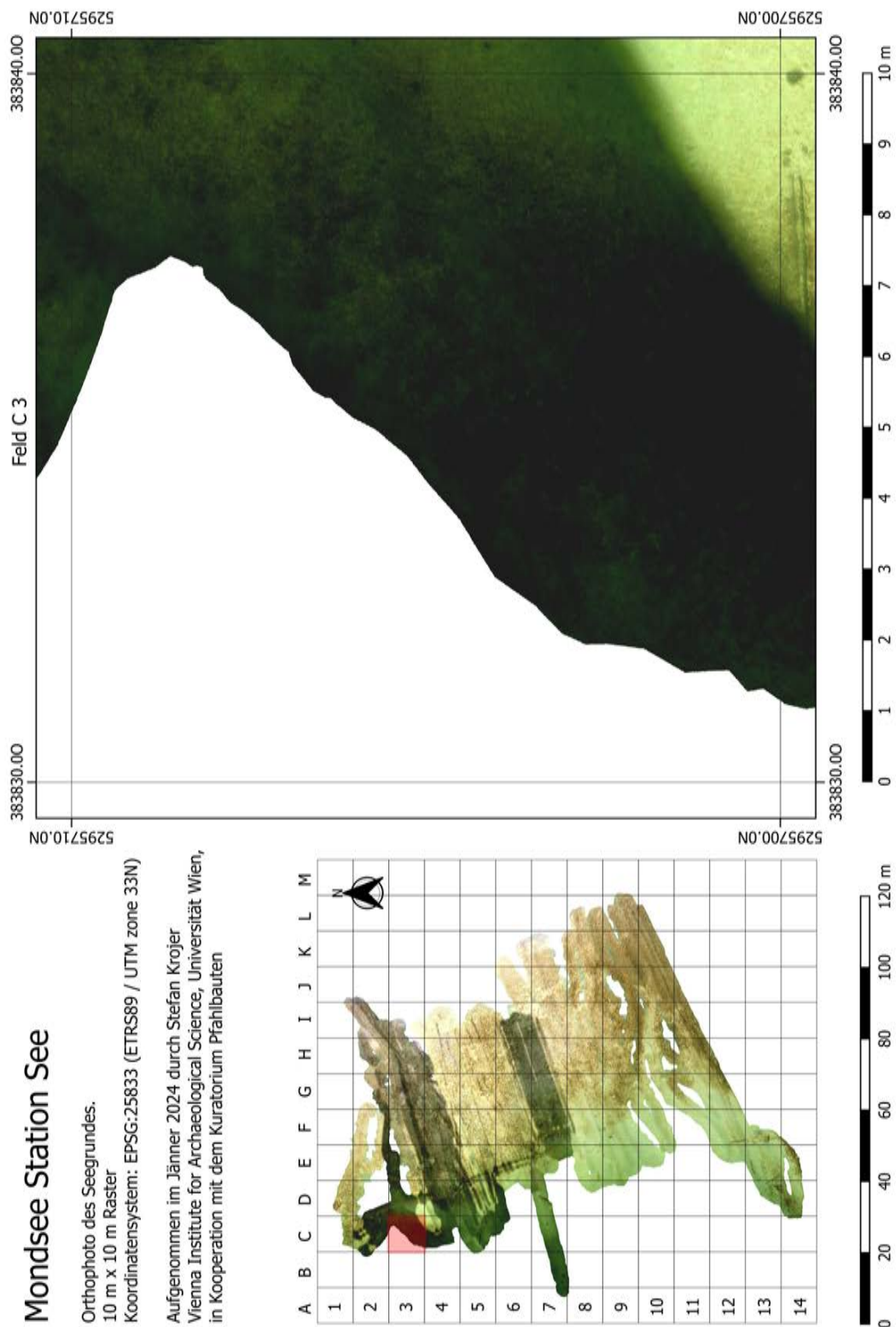


Abb. A.26.: Mondsee Station See: Feld C3

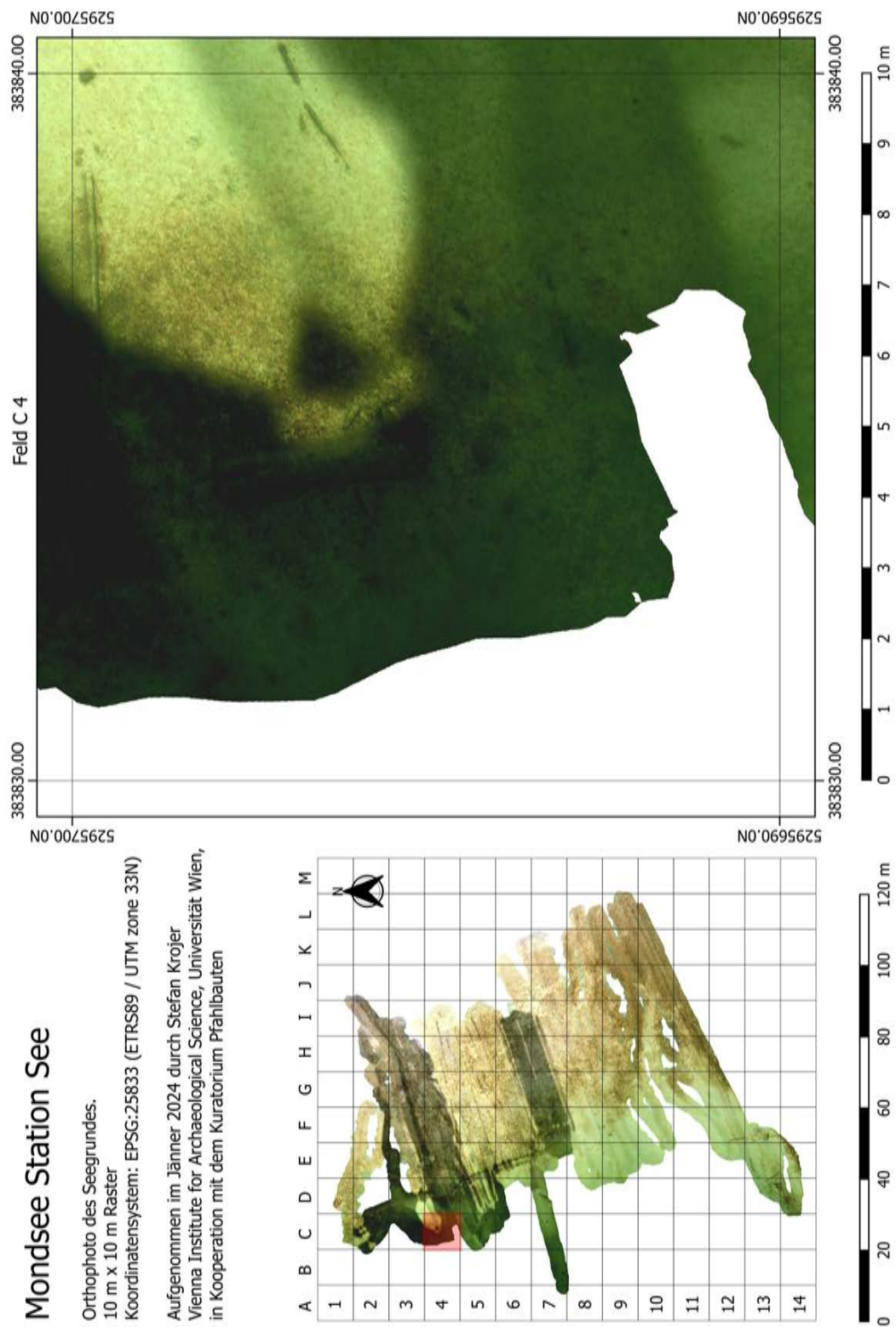


Abb. A.27.: Mondsee Station See: Feld C4

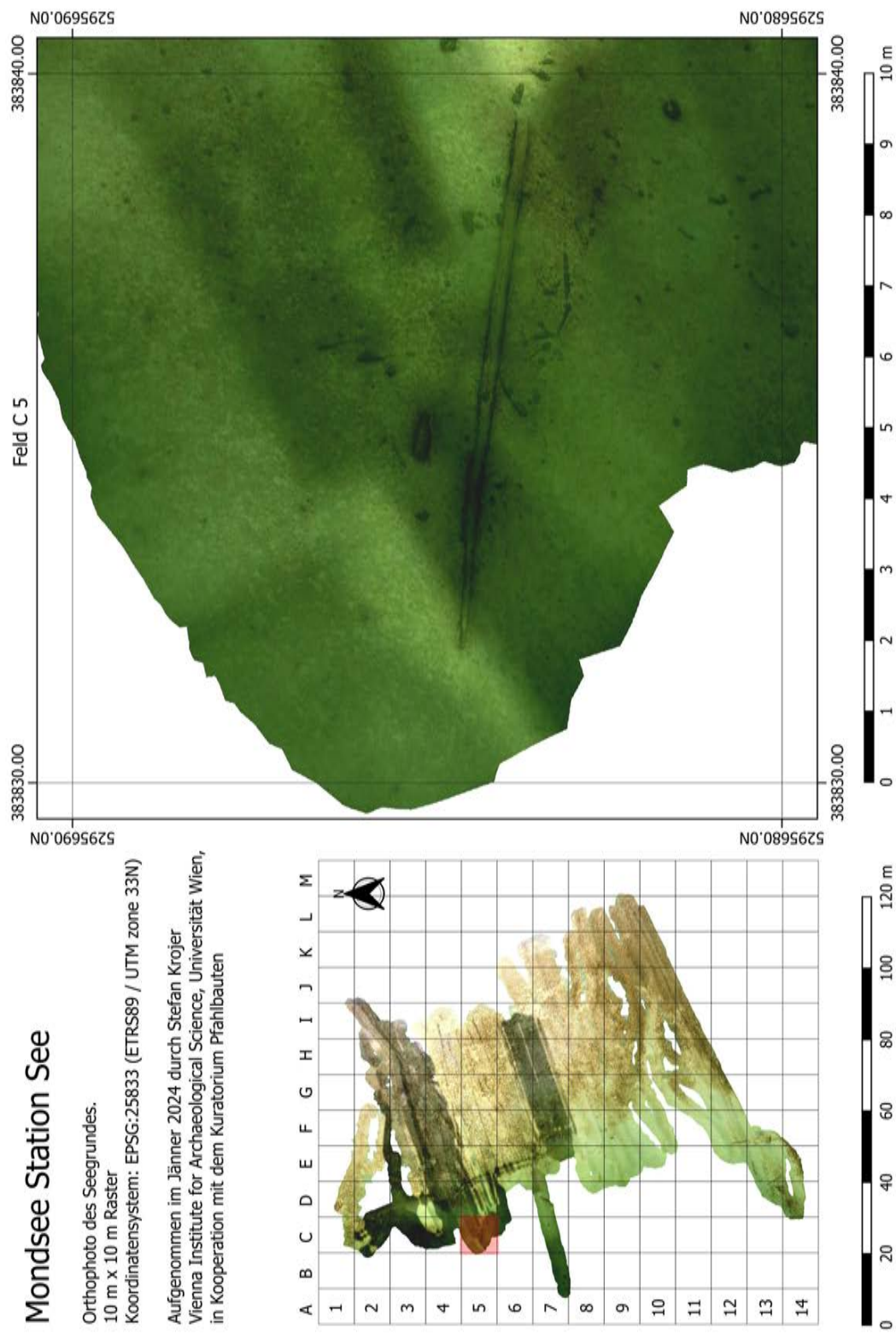


Abb. A.28.: Mondsee Station See: Feld C5

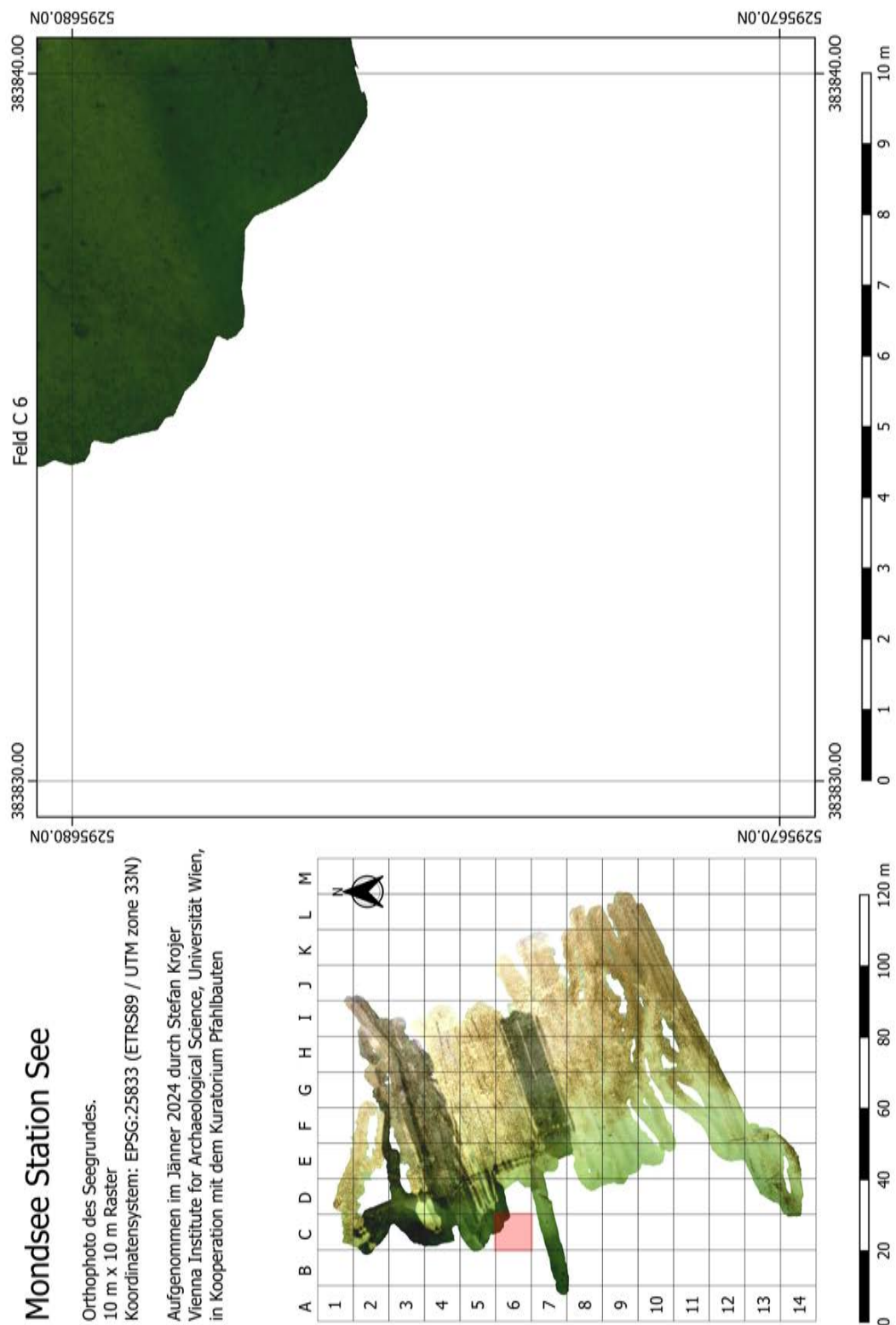


Abb. A.29.: Mondsee Station See: Feld C6

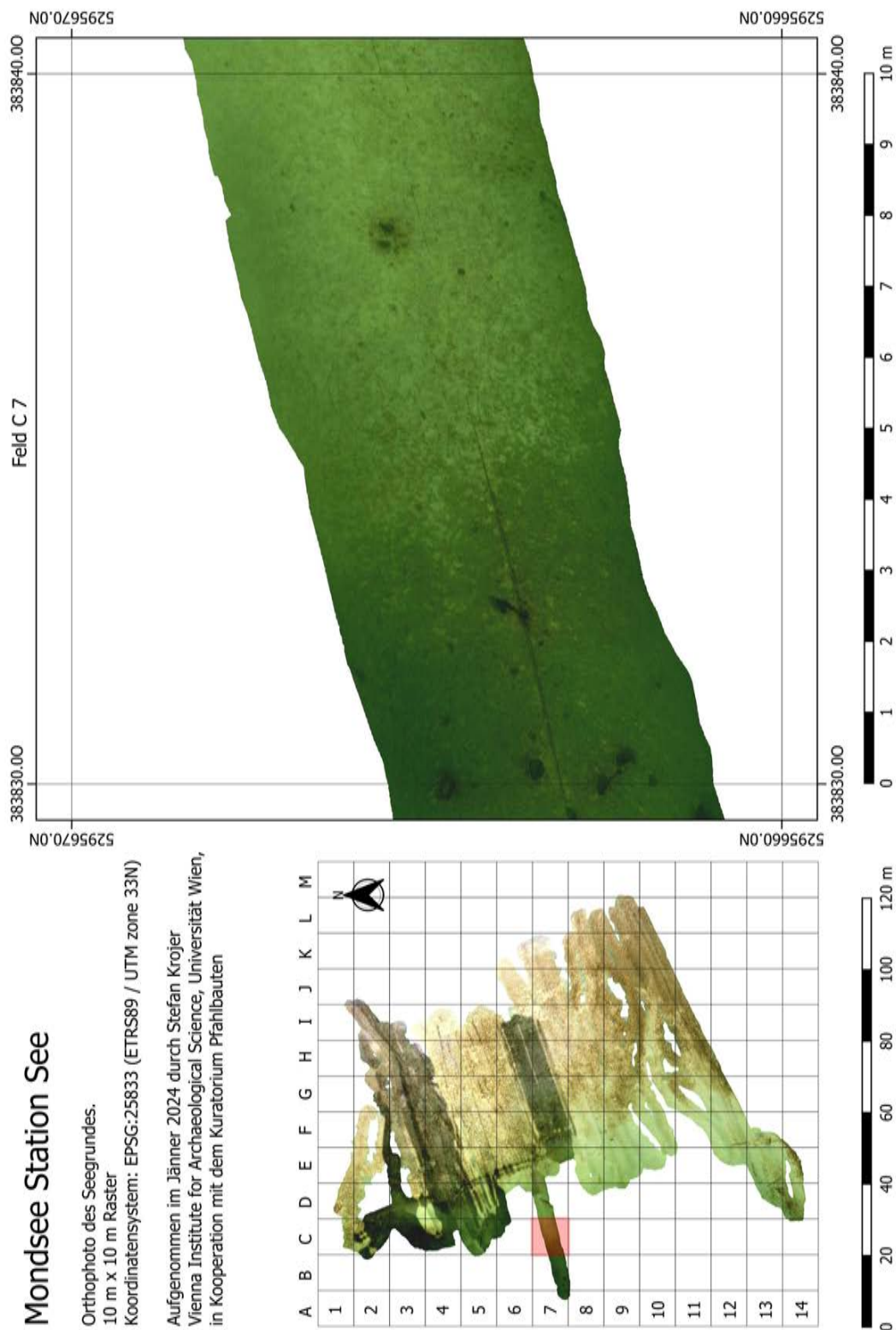


Abb. A.30.: Mondsee Station See: Feld C7

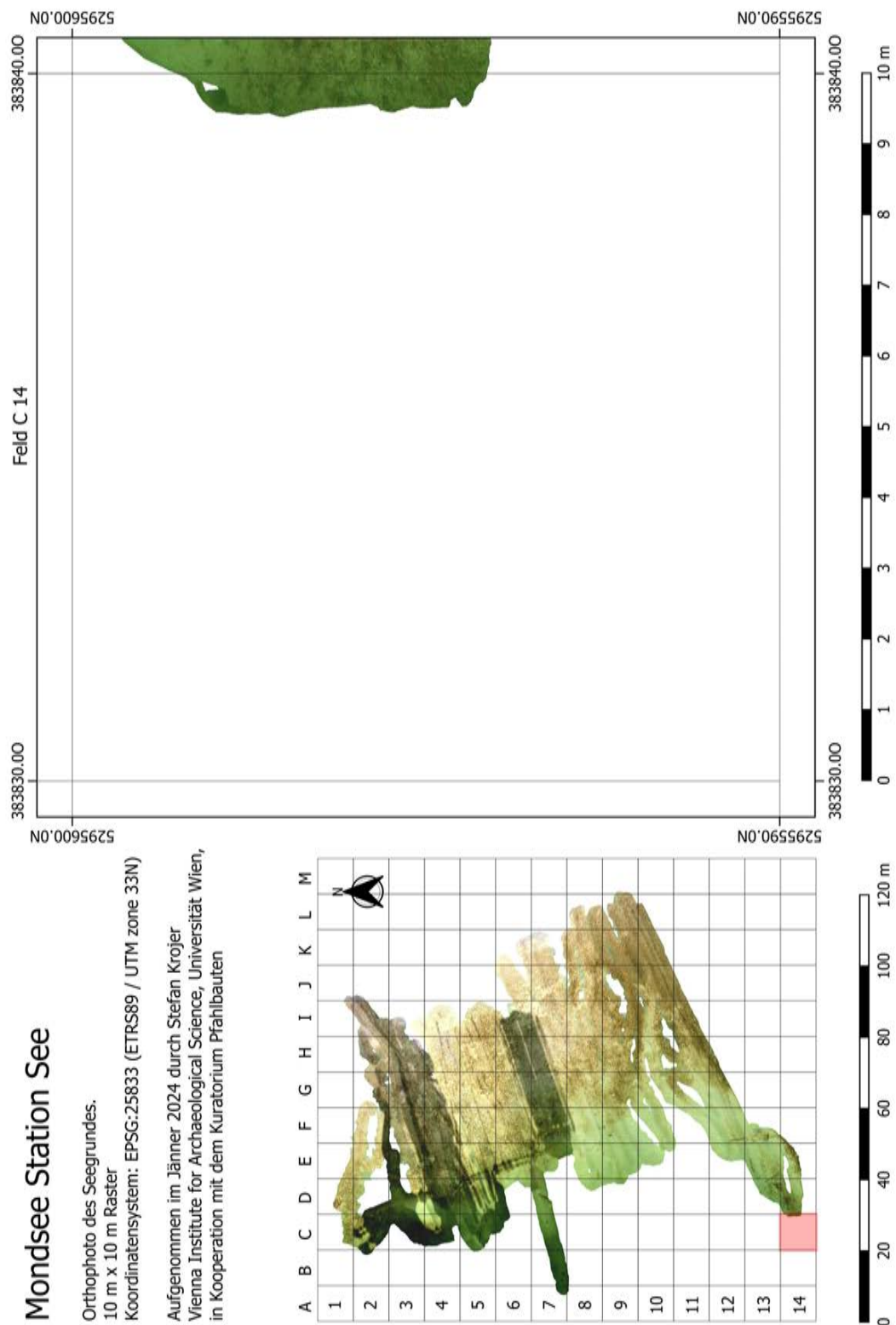


Abb. A.31.: Mondsee Station See: Feld C14

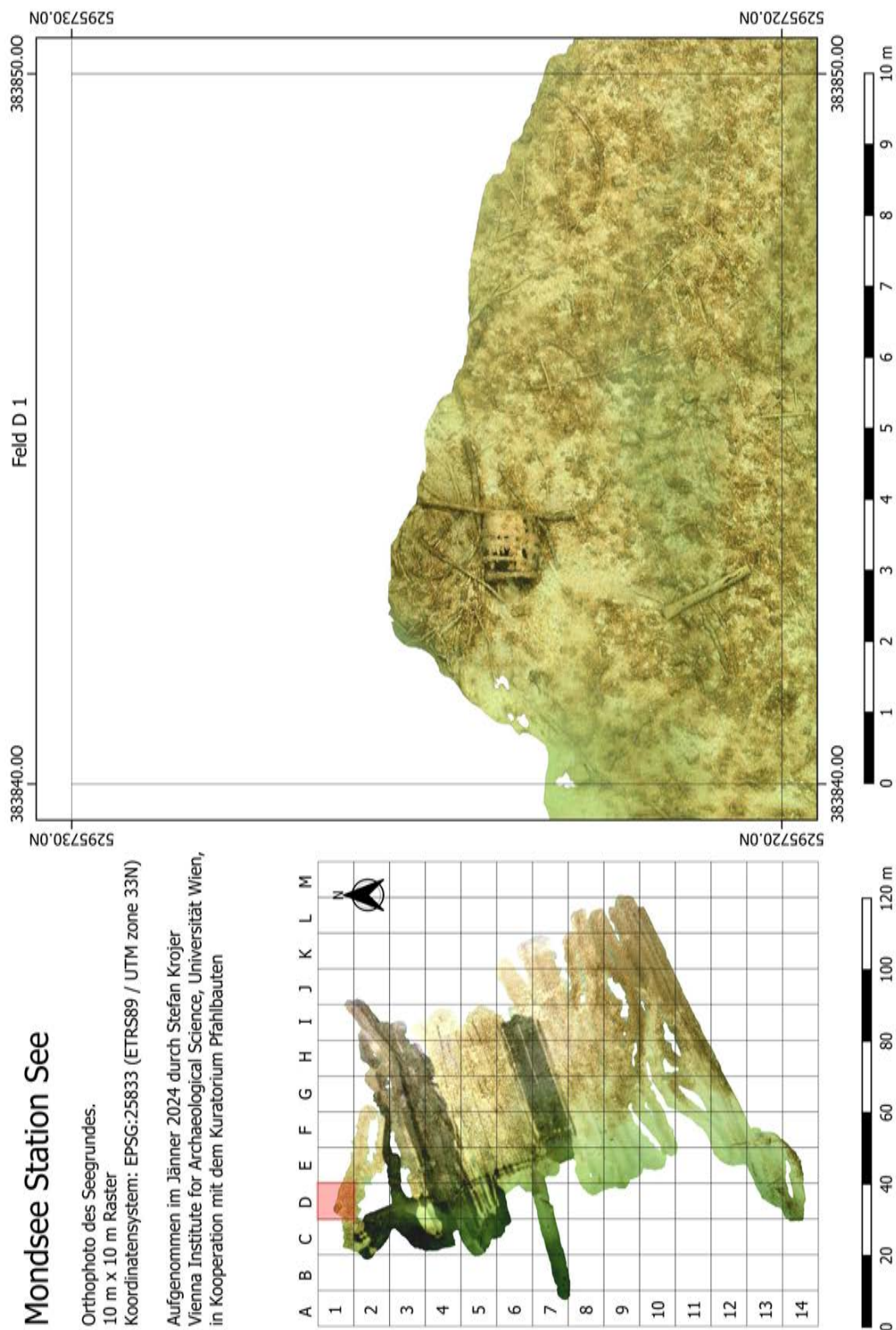


Abb. A.32.: Mondsee Station See: Feld D1

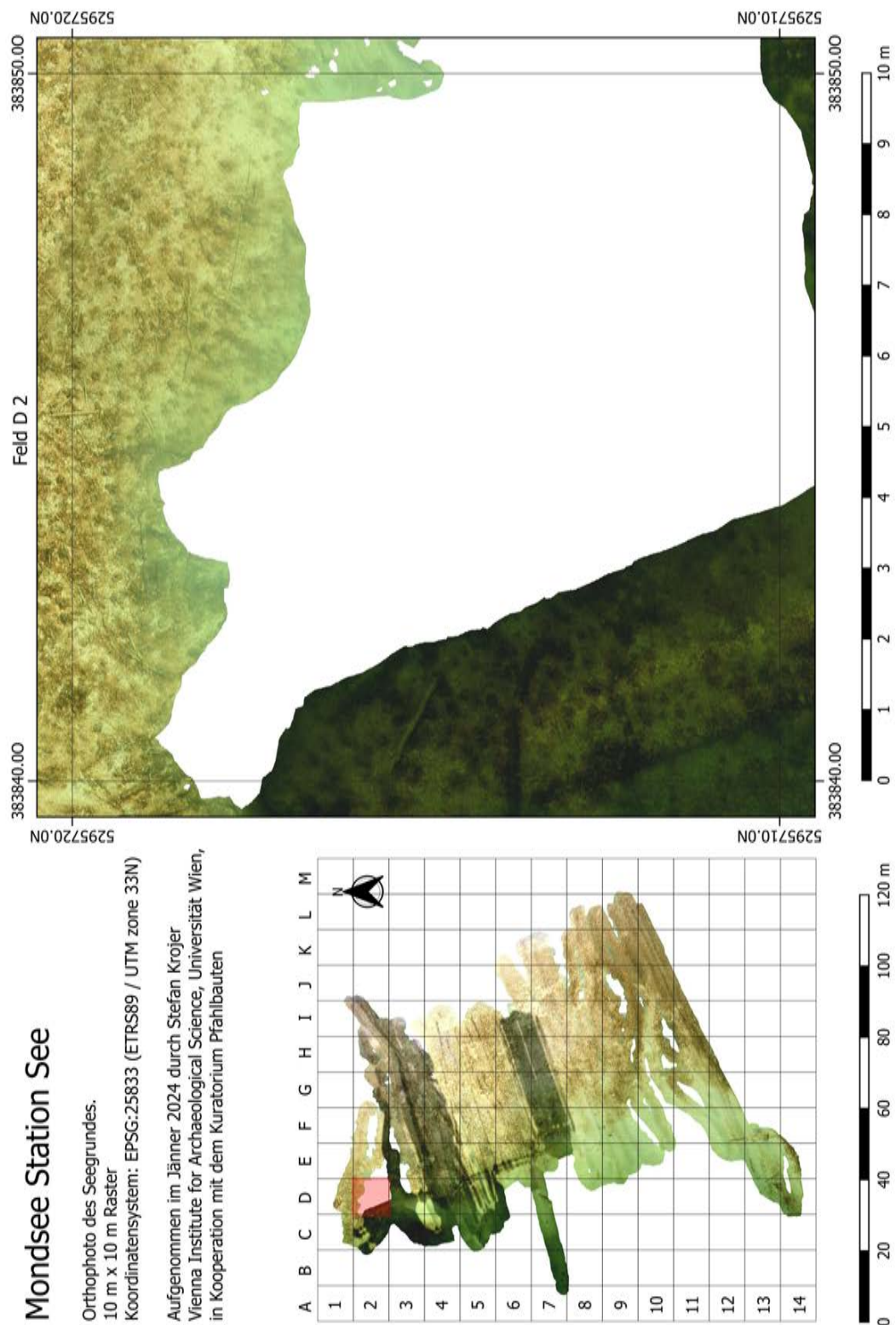


Abb. A.33.: Mondsee Station See: Feld D2

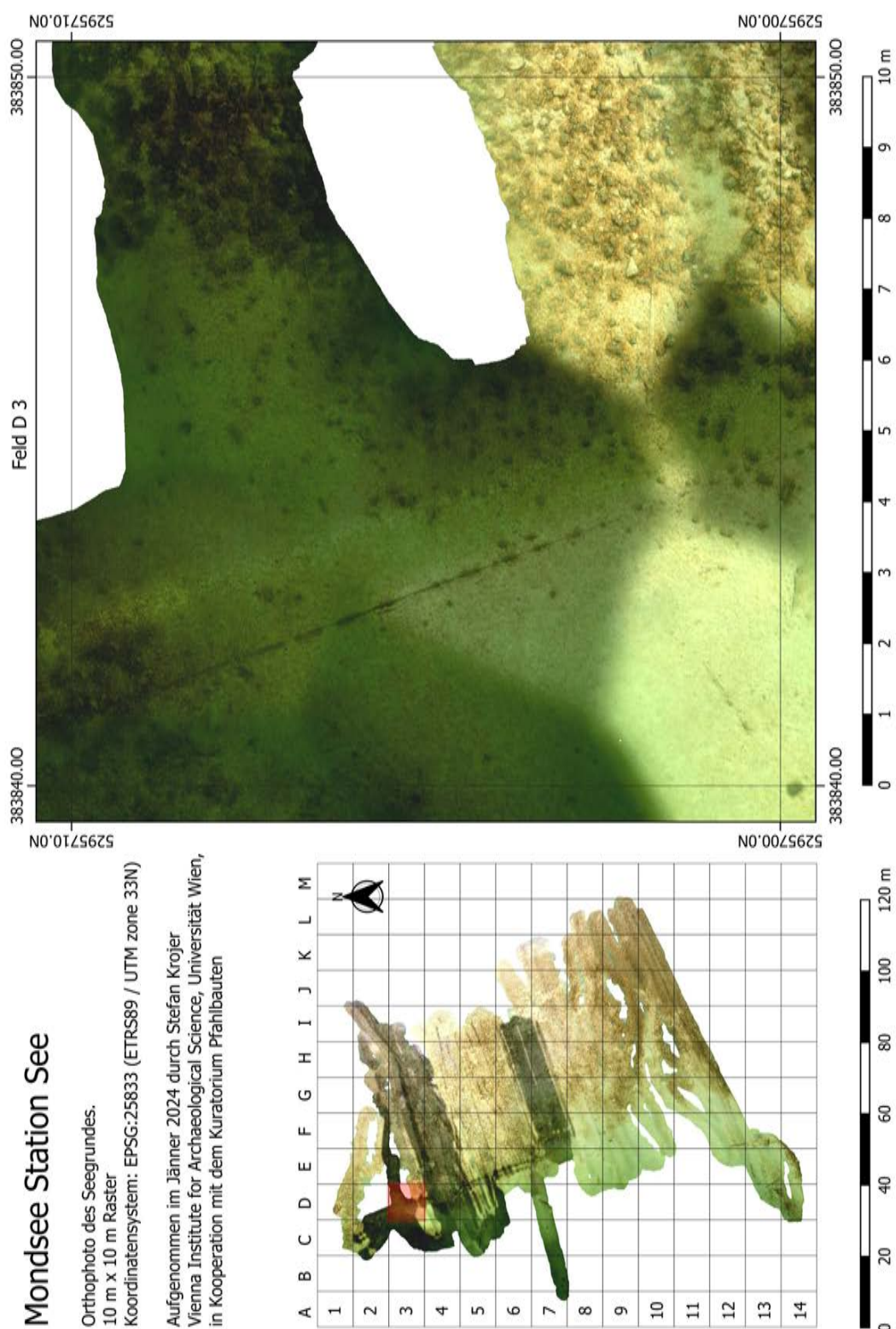


Abb. A.34.: Mondsee Station See: Feld D3

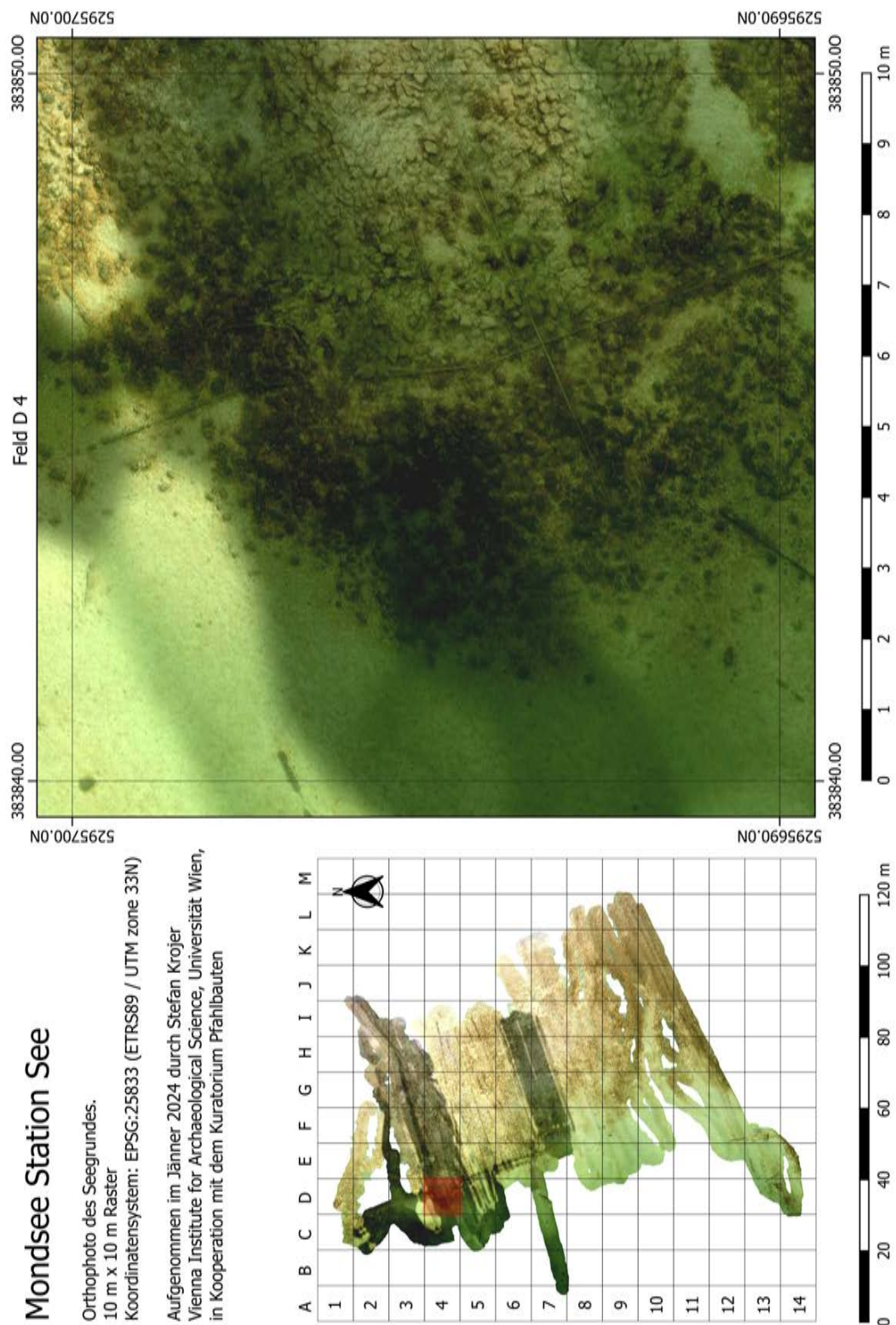


Abb. A.35.: Mondsee Station See: Feld D4

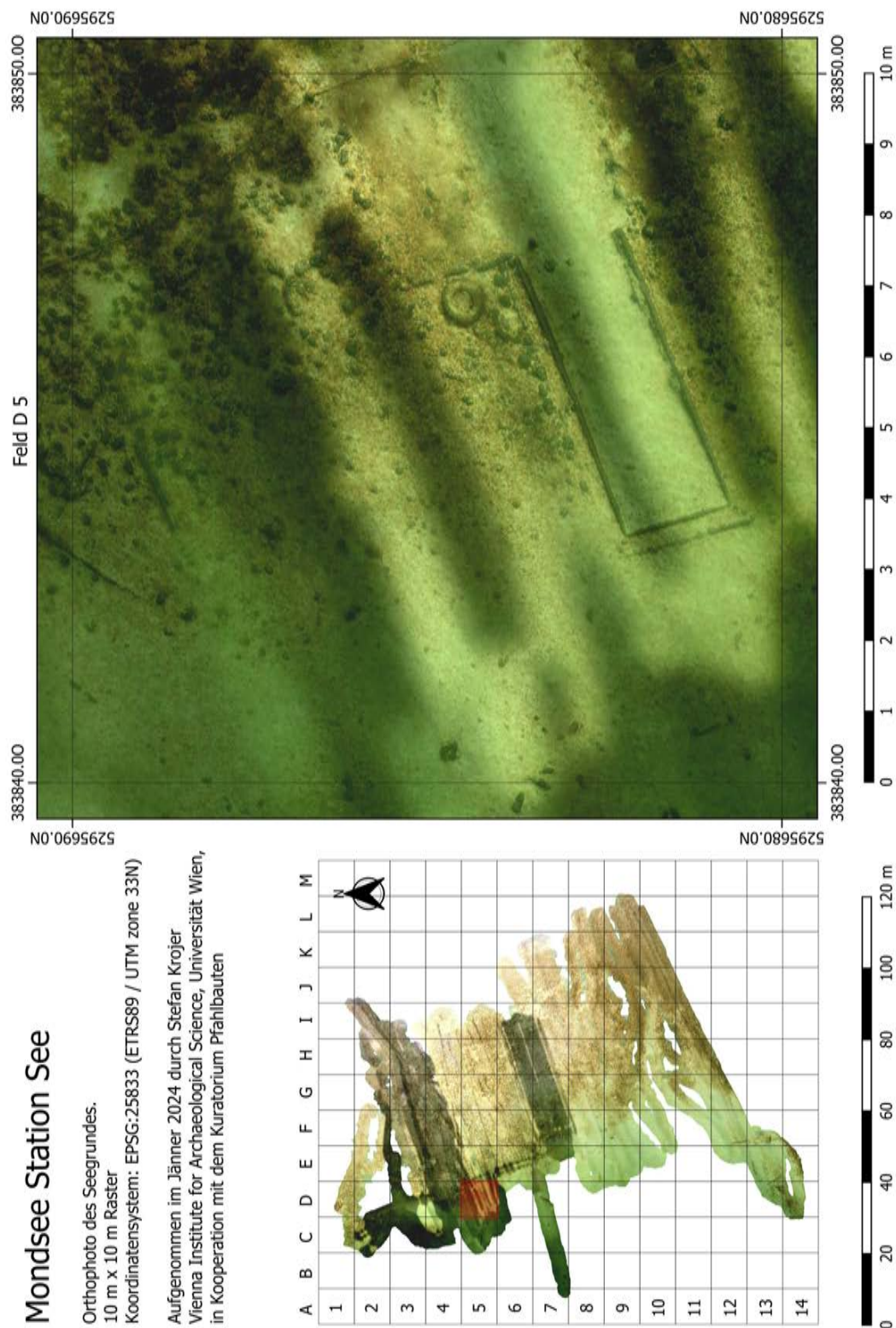


Abb. A.36.: Mondsee Station See: Feld D5

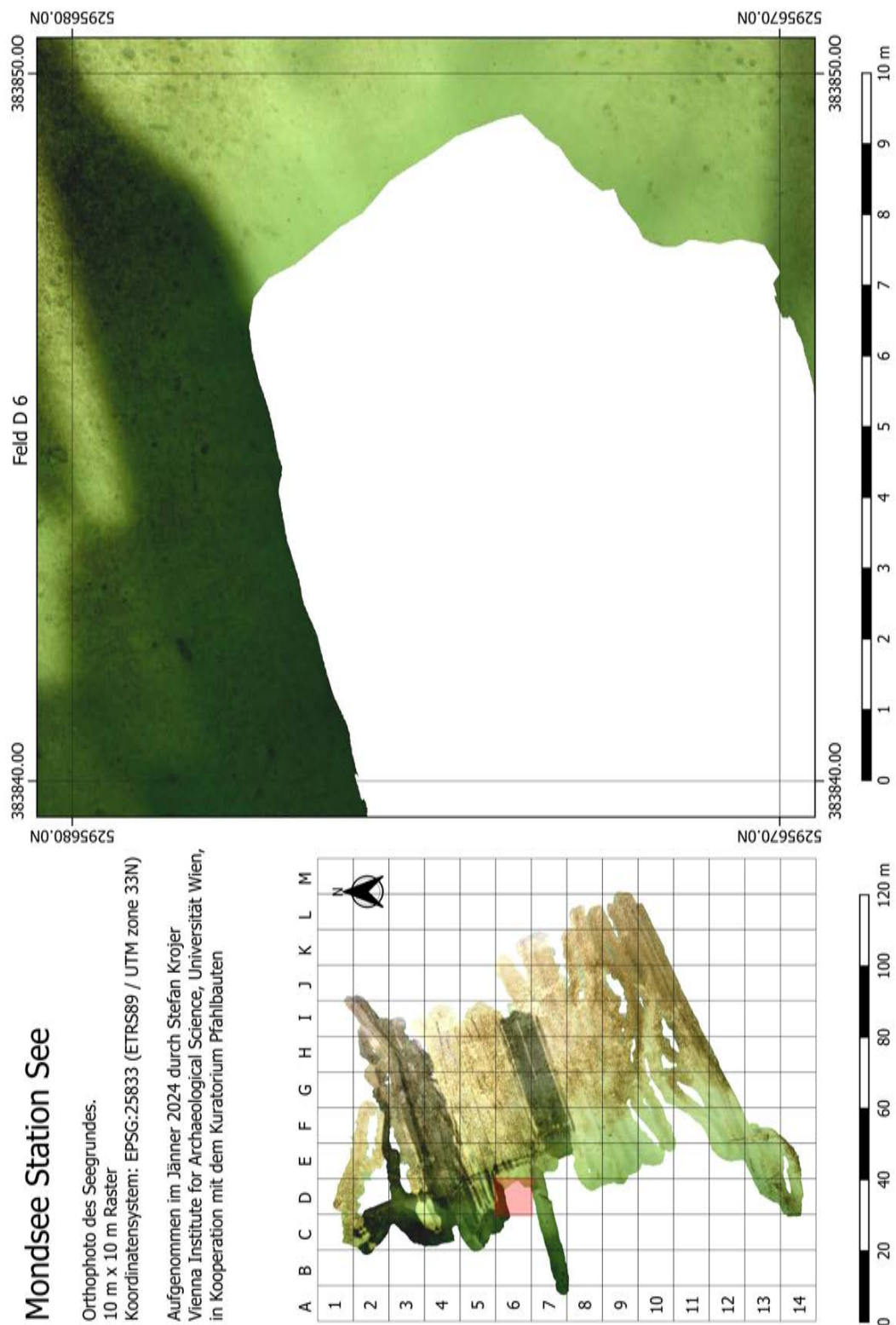


Abb. A.37.: Mondsee Station See: Feld D6

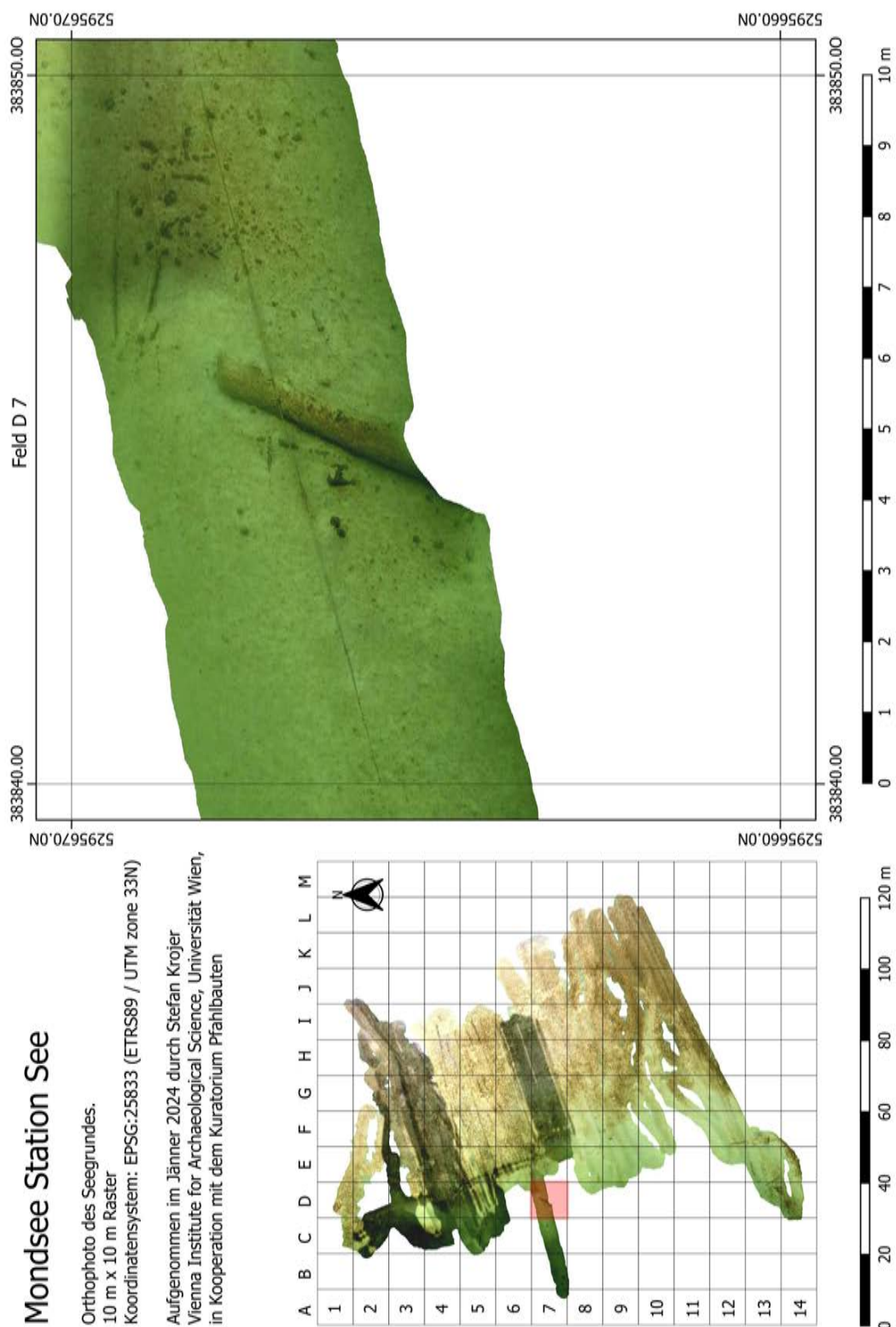


Abb. A.38.: Mondsee Station See: Feld D7

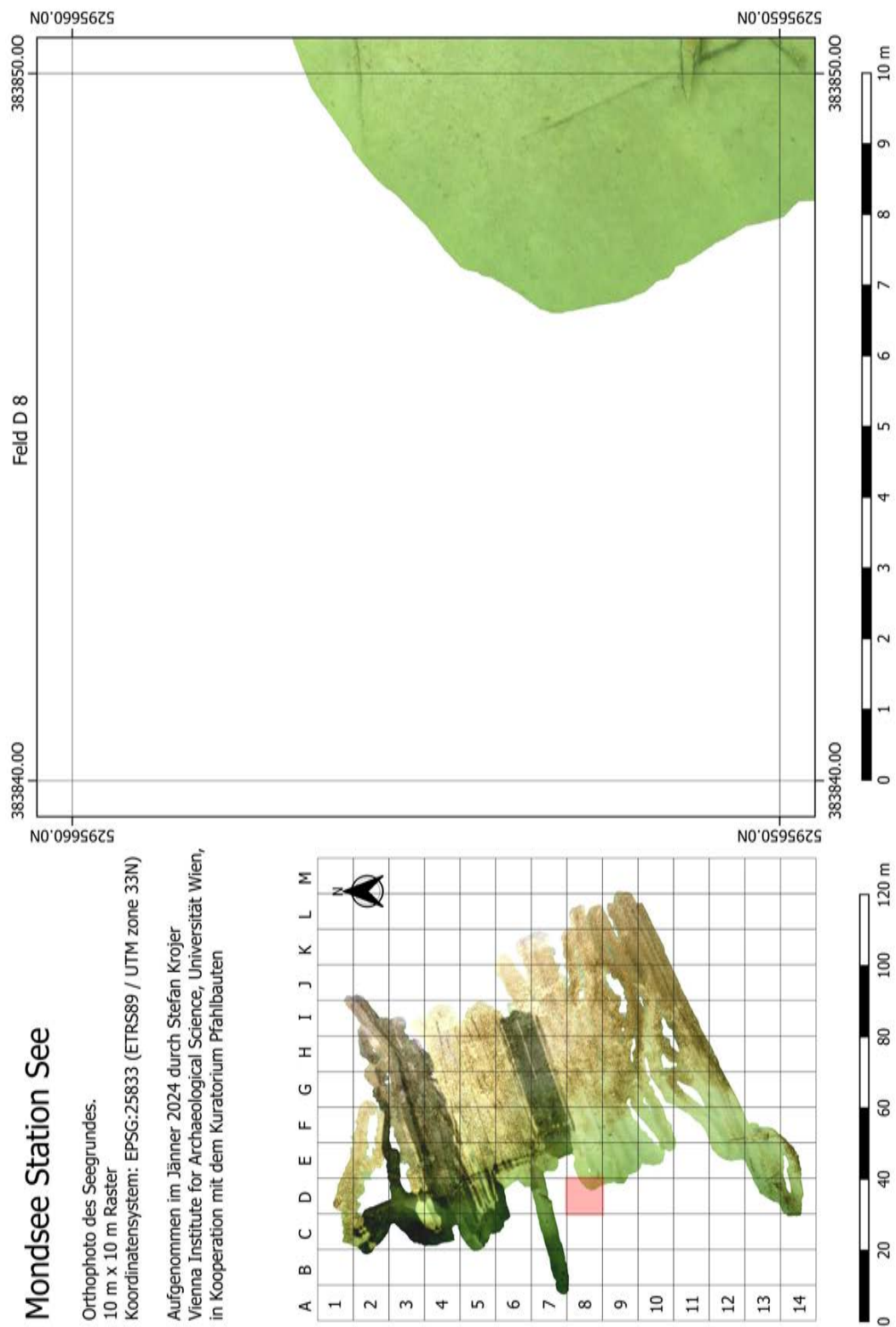


Abb. A.39.: Mondsee Station See: Feld D8

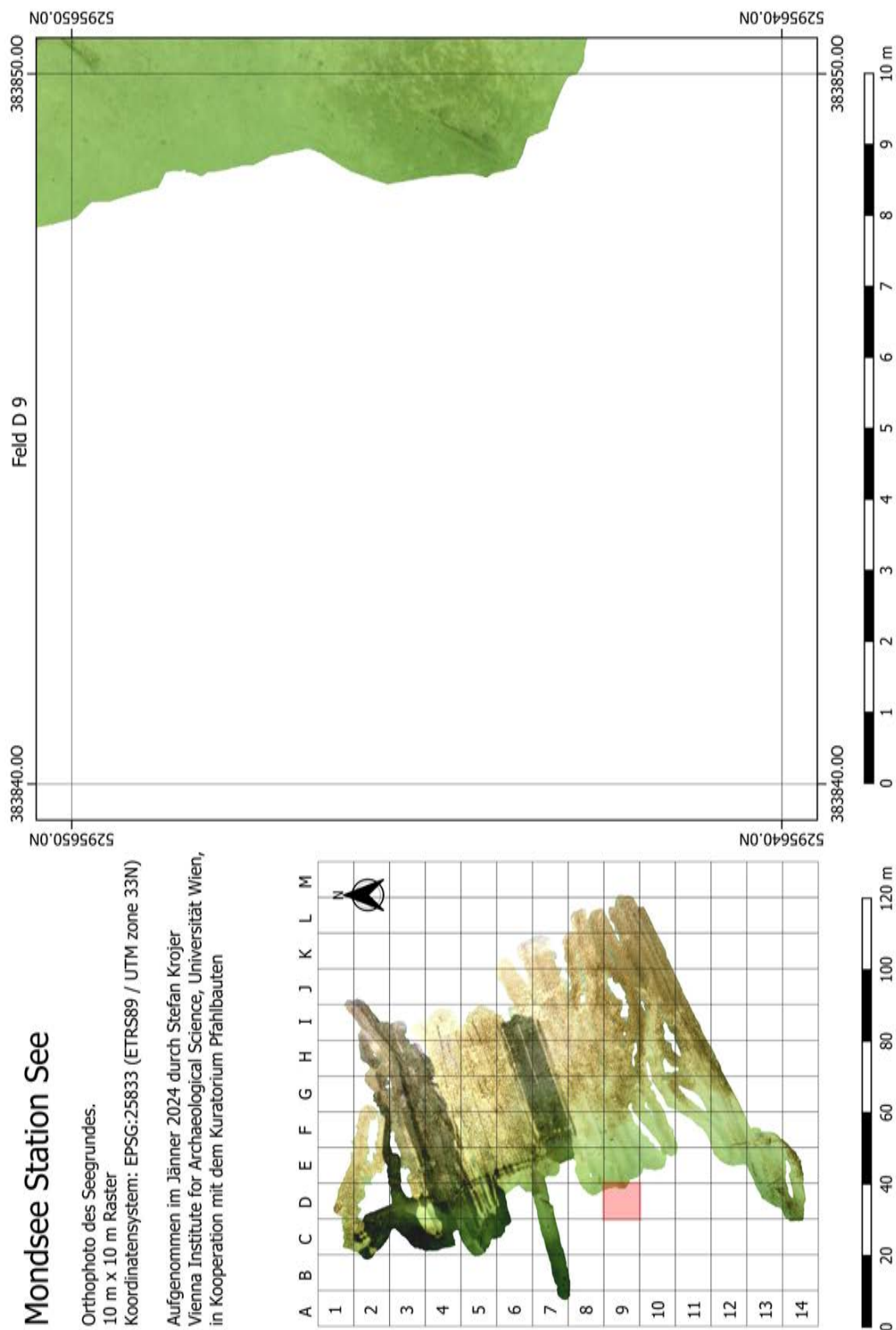


Abb. A.40.: Mondsee Station See: Feld D9

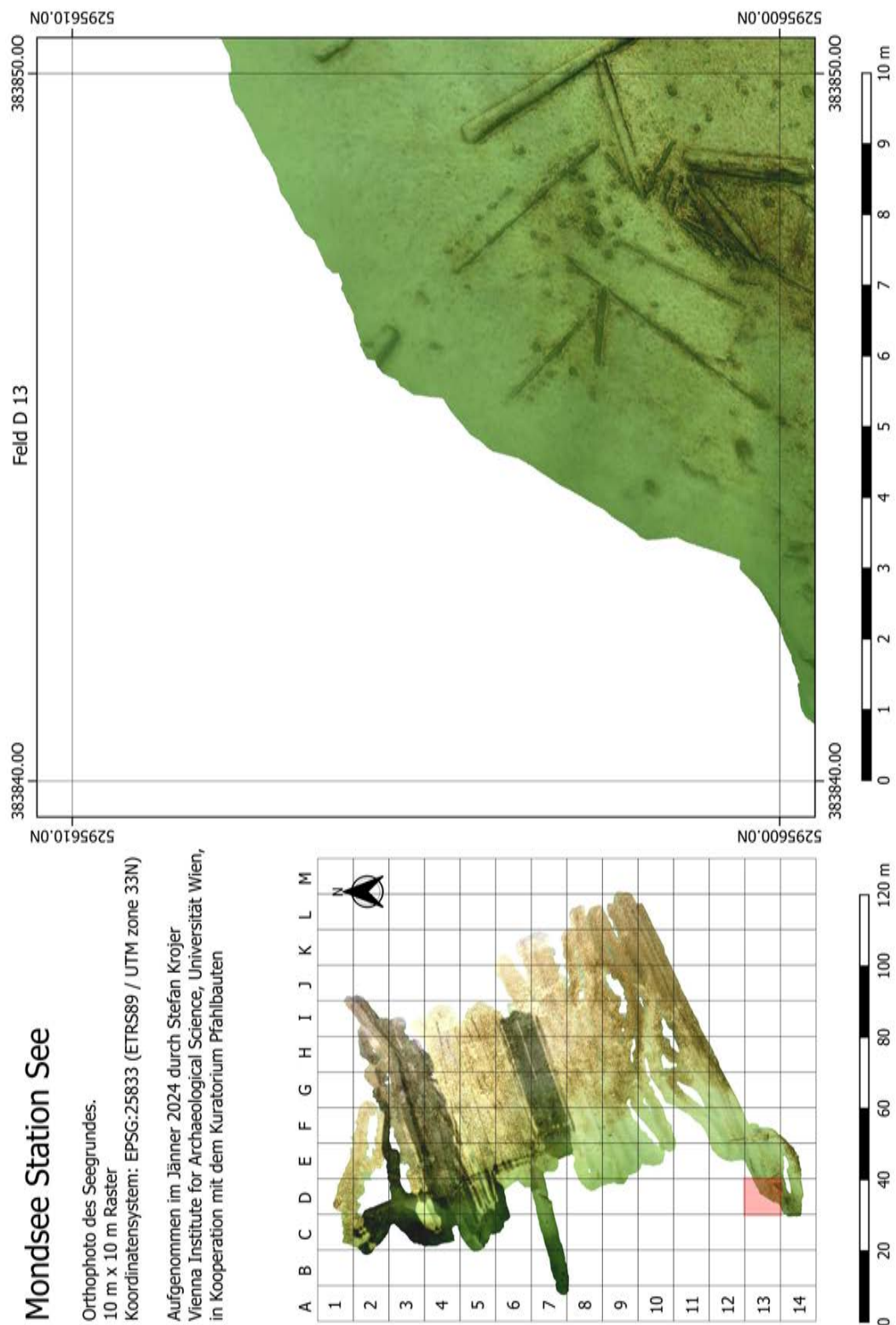


Abb. A.41.: Mondsee Station See: Feld D13

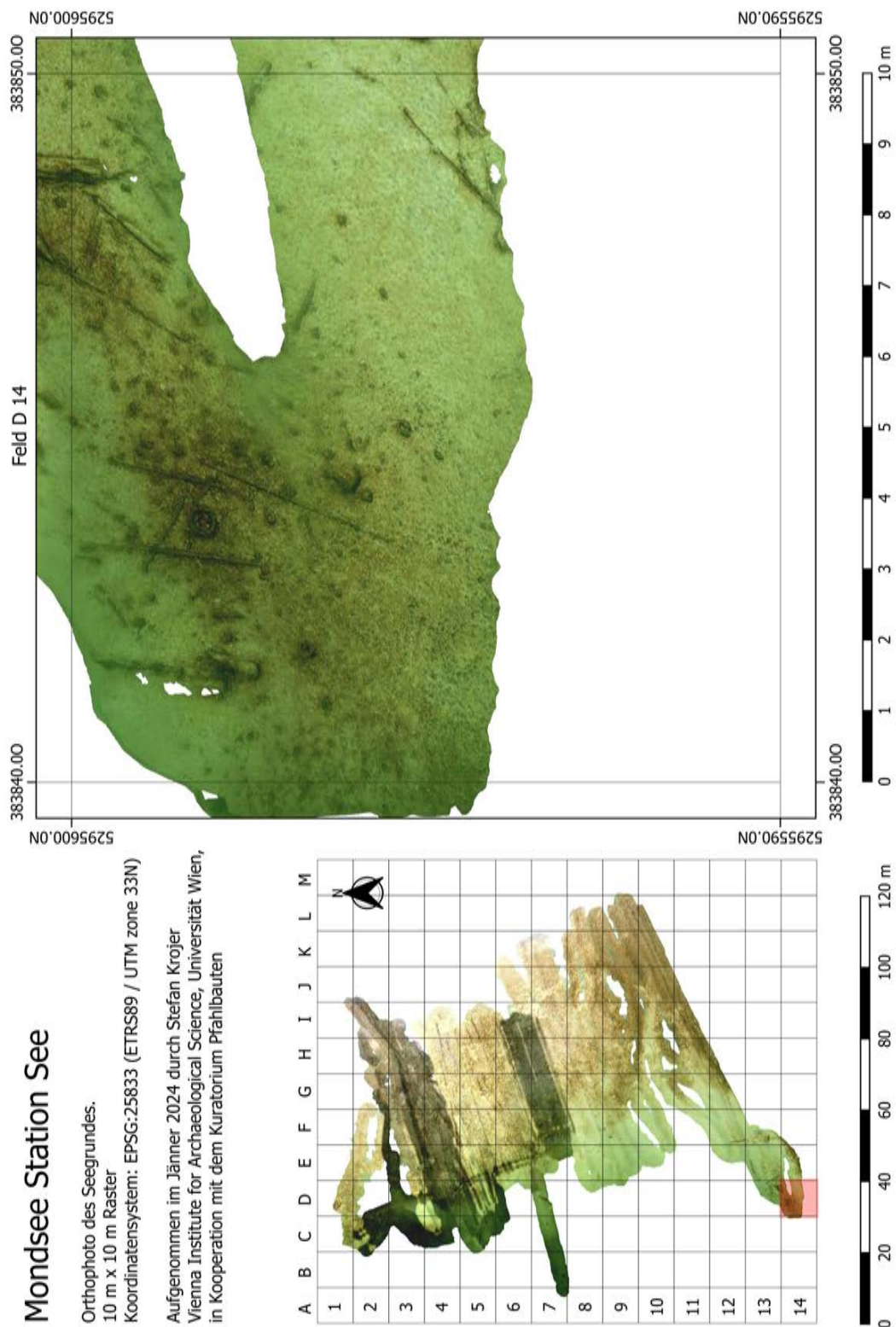
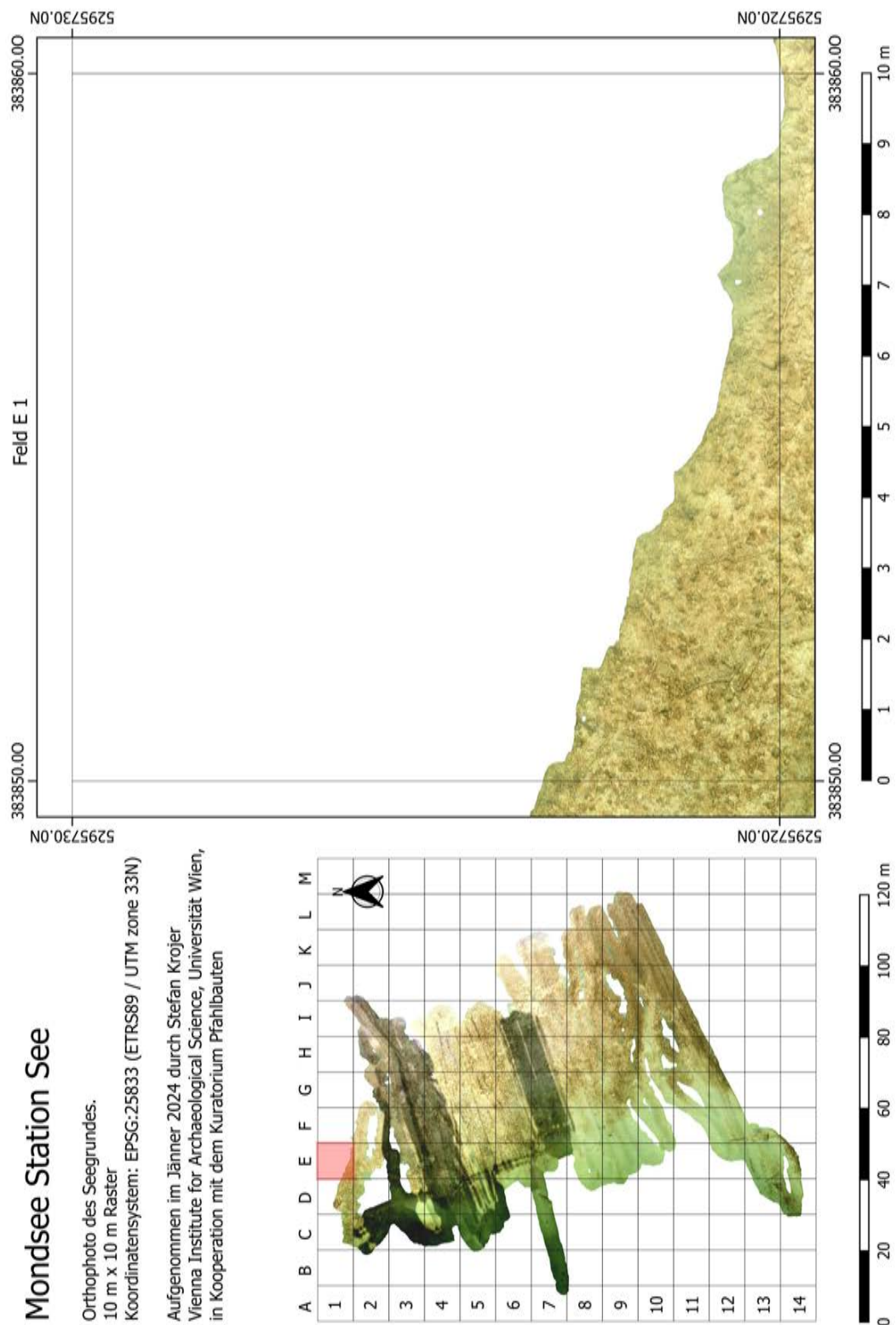


Abb. A.42.: Mondsee Station See: Feld D14



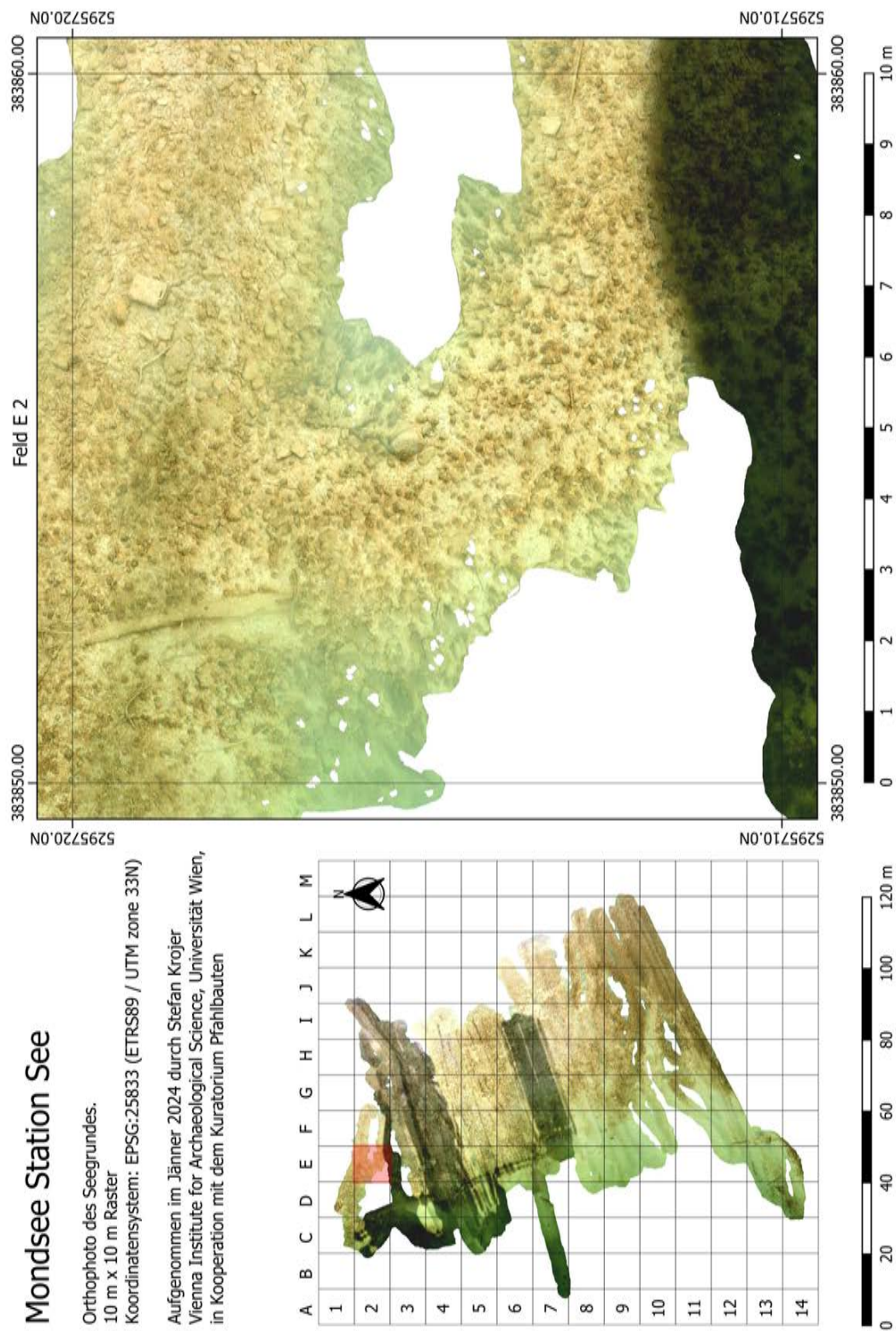


Abb. A.44.: Mondsee Station See: Feld E2

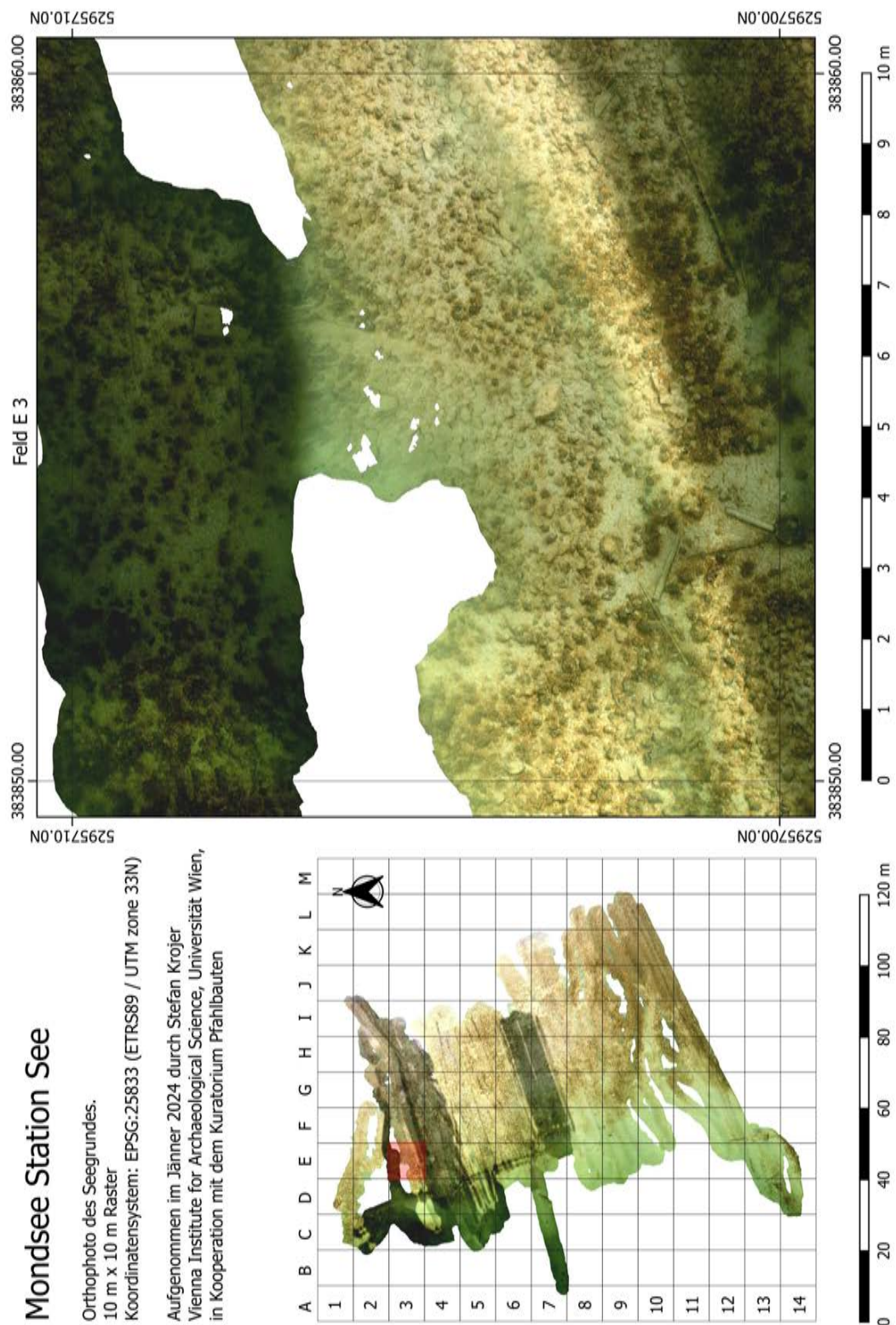
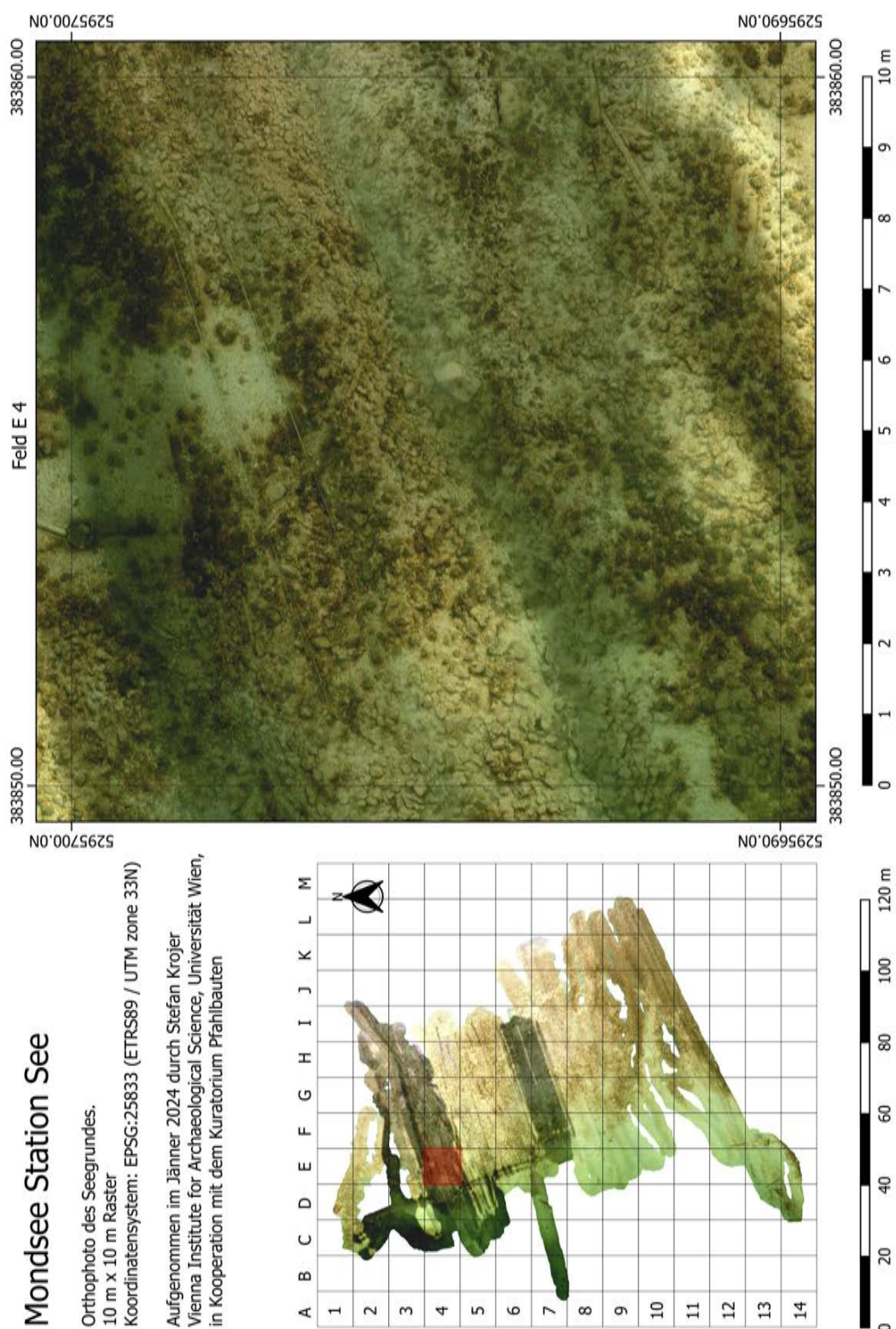


Abb. A.45.: Mondsee Station See: Feld E3



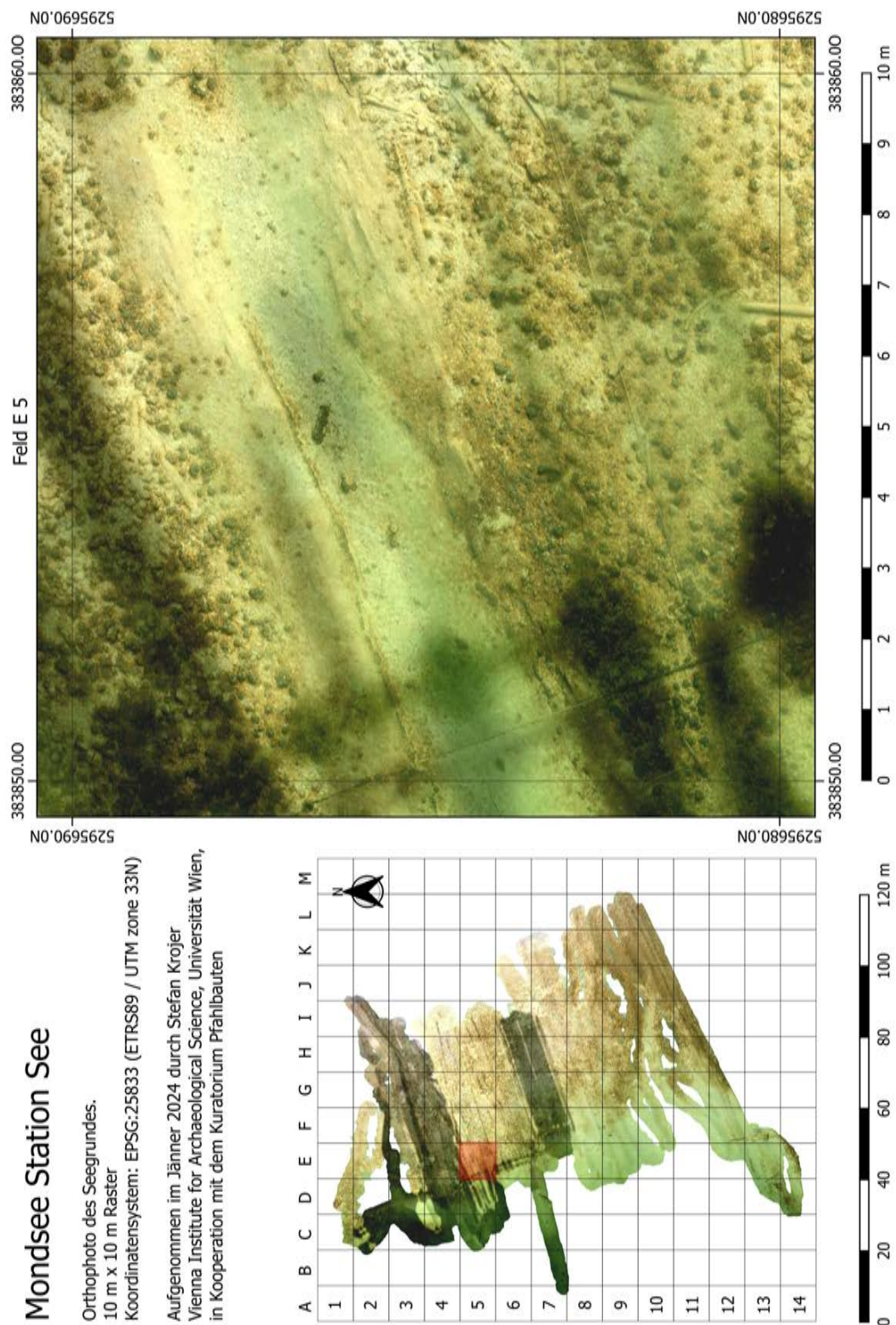


Abb. A.47.: Mondsee Station See: Feld E5

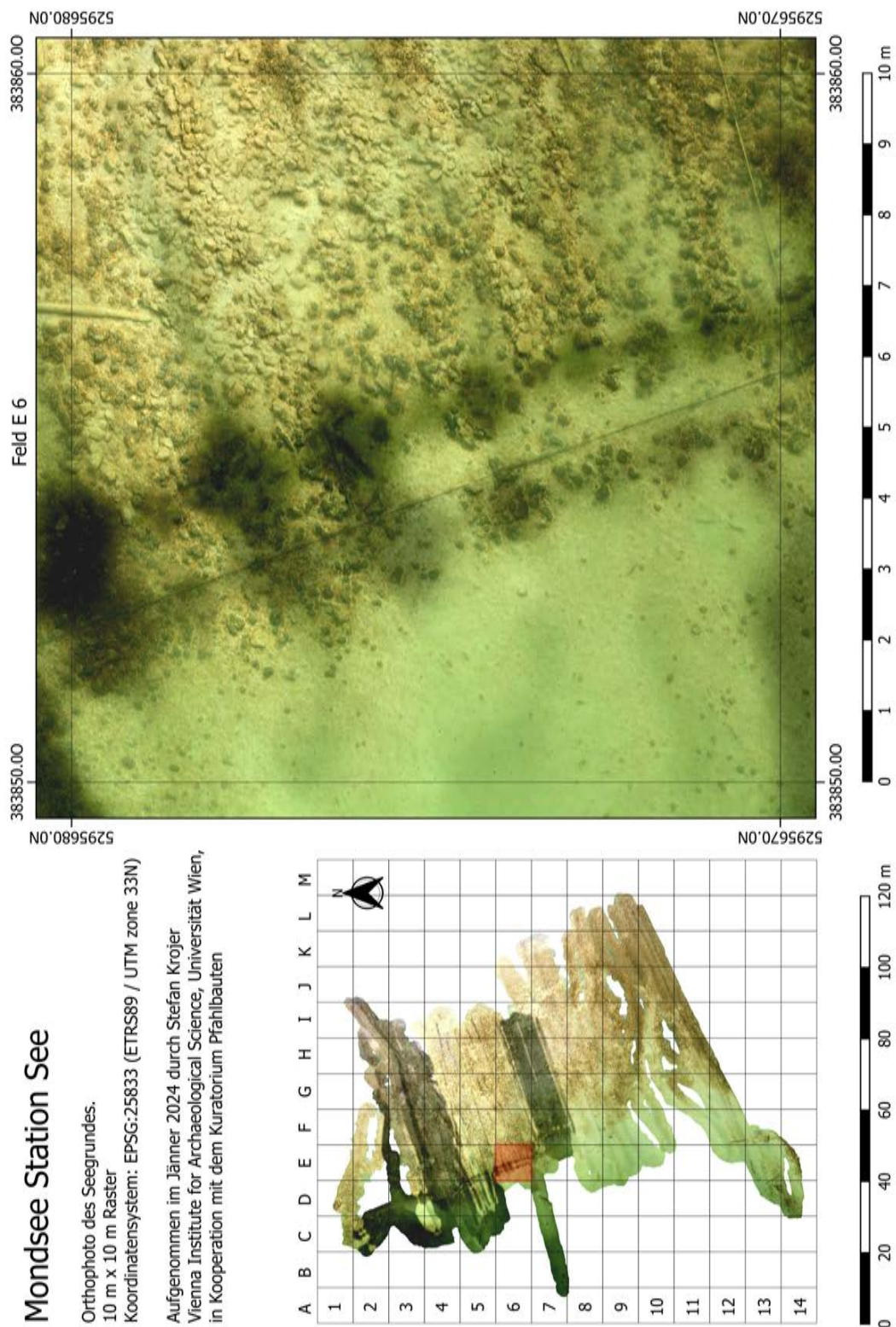


Abb. A.48.: Mondsee Station See: Feld E6

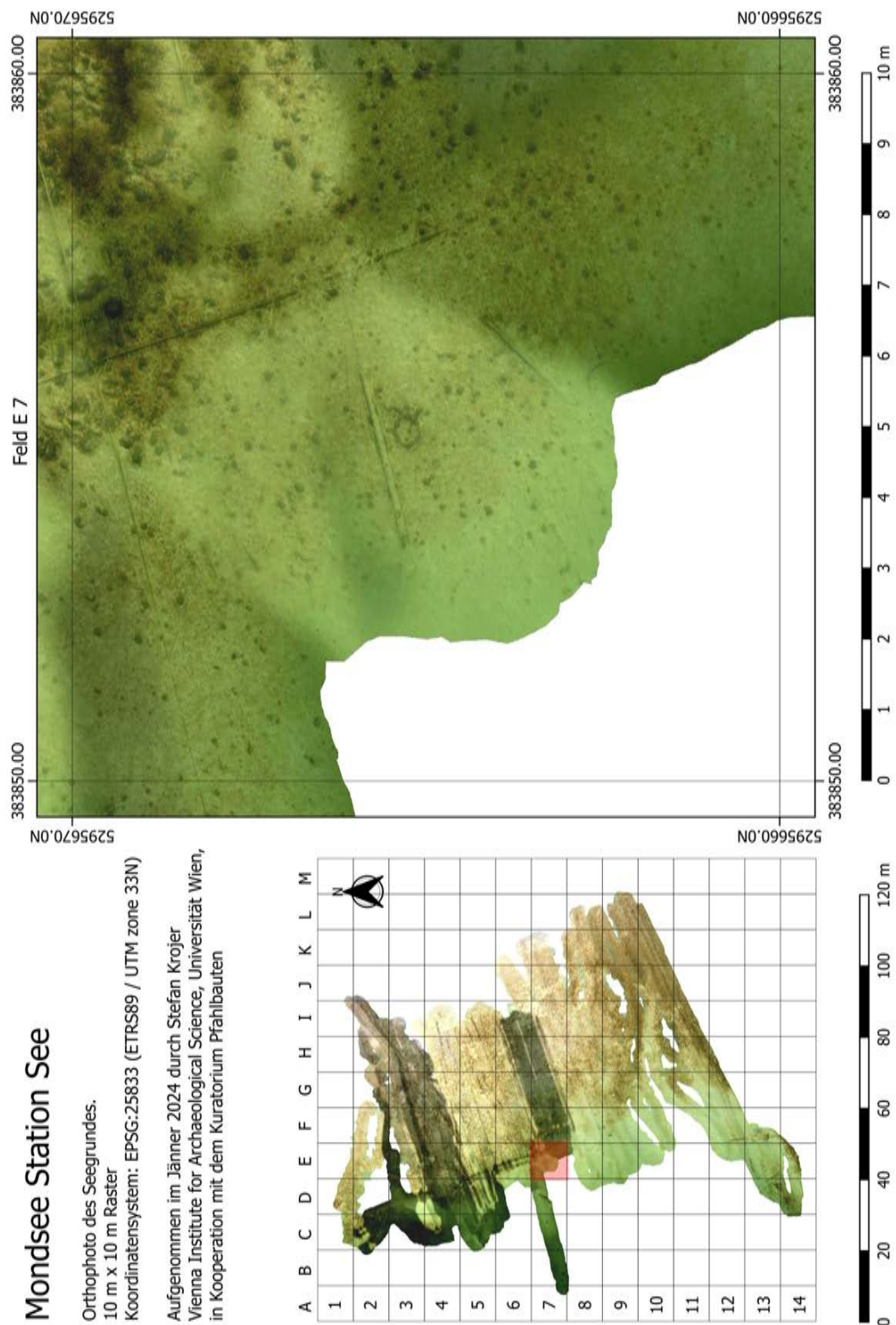


Abb. A.49.: Mondsee Station See: Feld E7

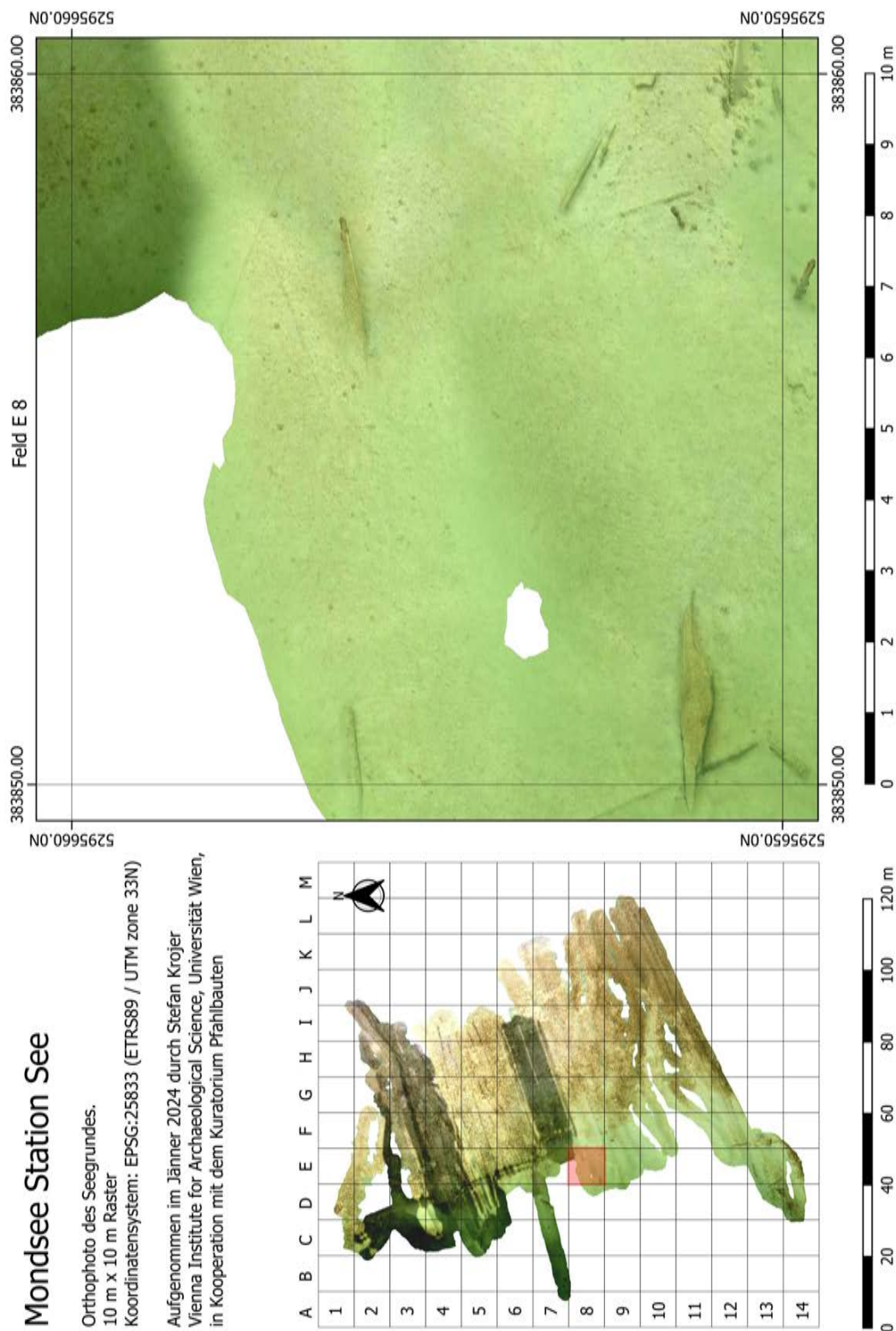


Abb. A.50.: Mondsee Station See: Feld E8

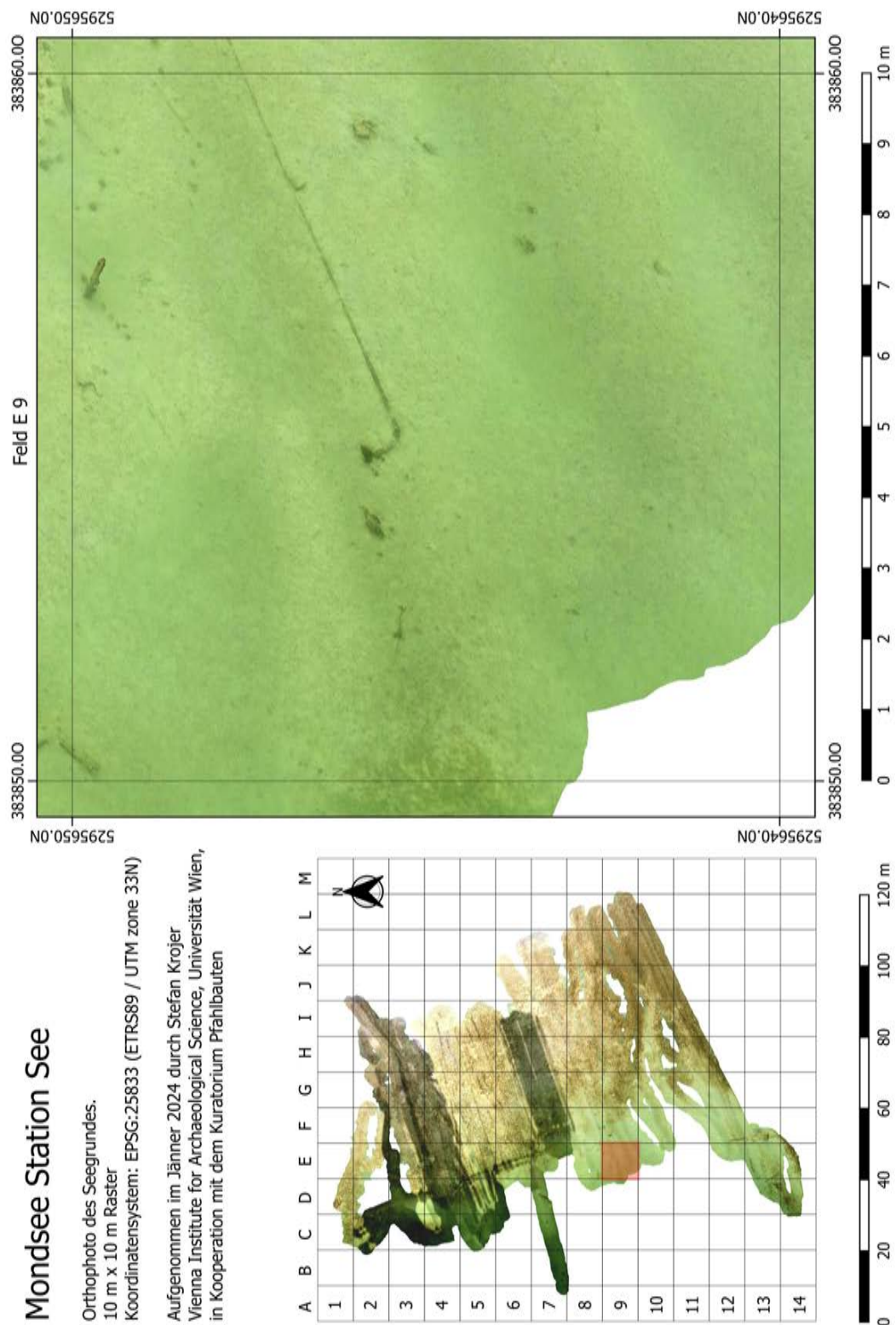


Abb. A.51.: Mondsee Station See: Feld E9

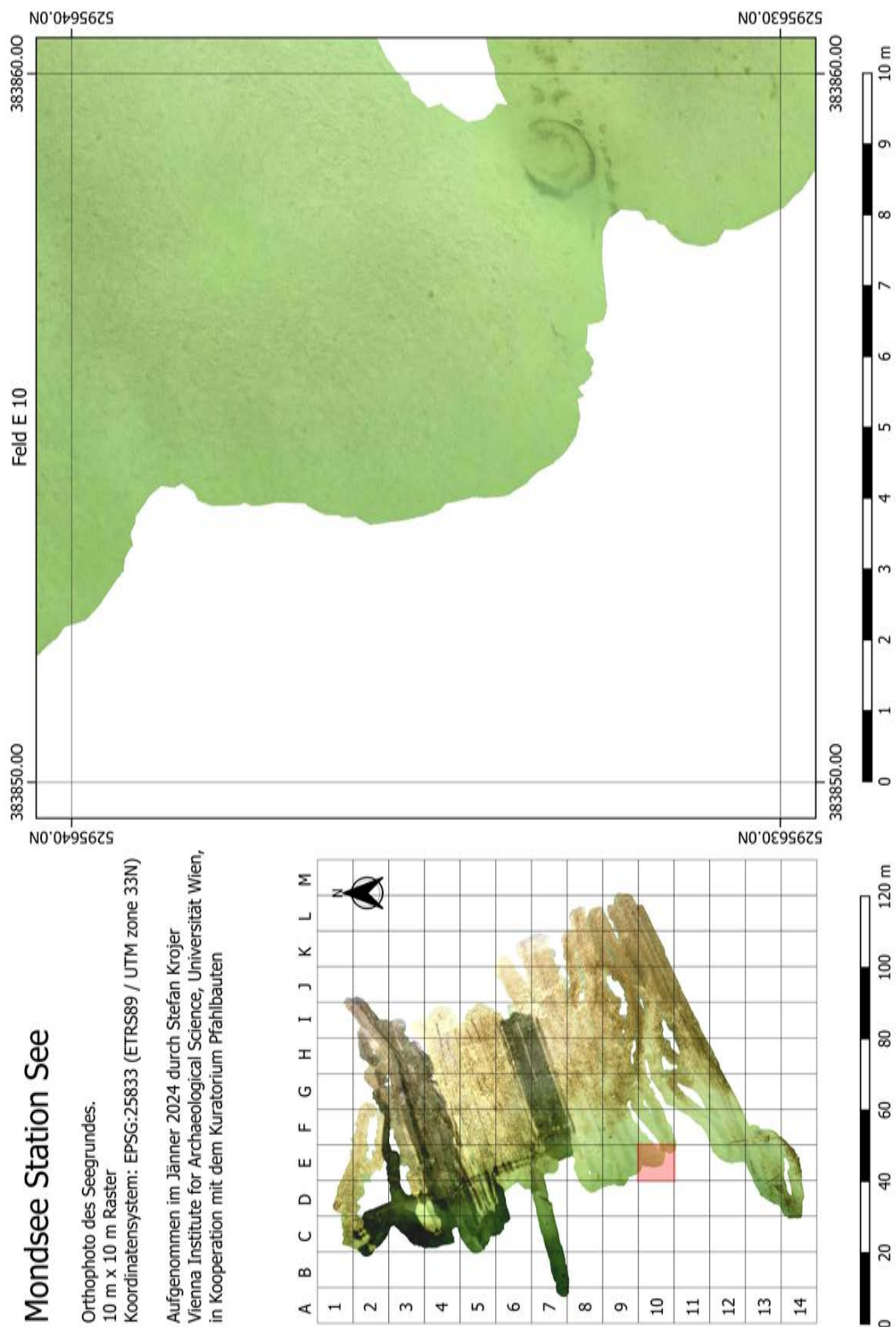


Abb. A.52.: Mondsee Station See: Feld E10

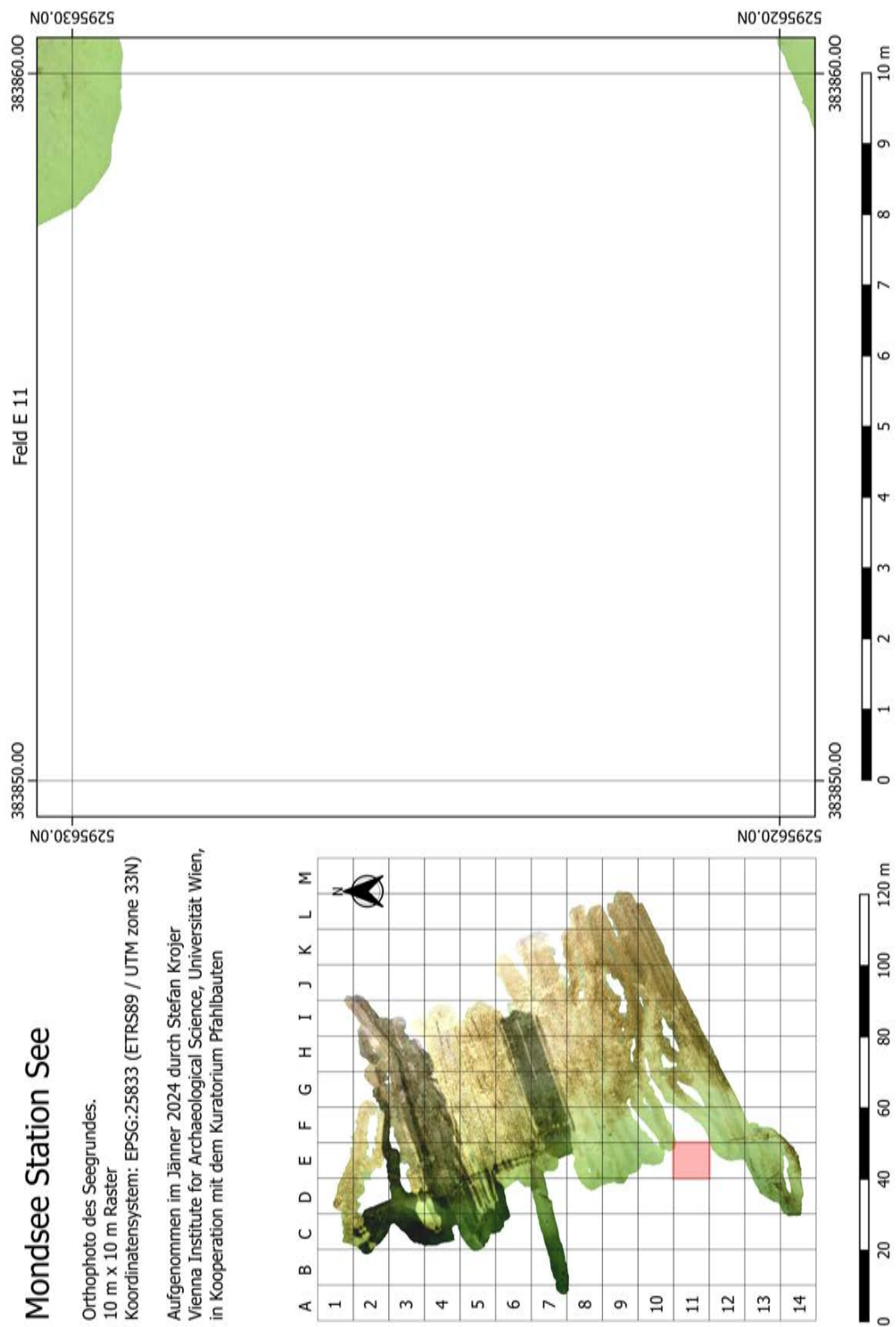


Abb. A.53.: Mondsee Station See: Feld E11

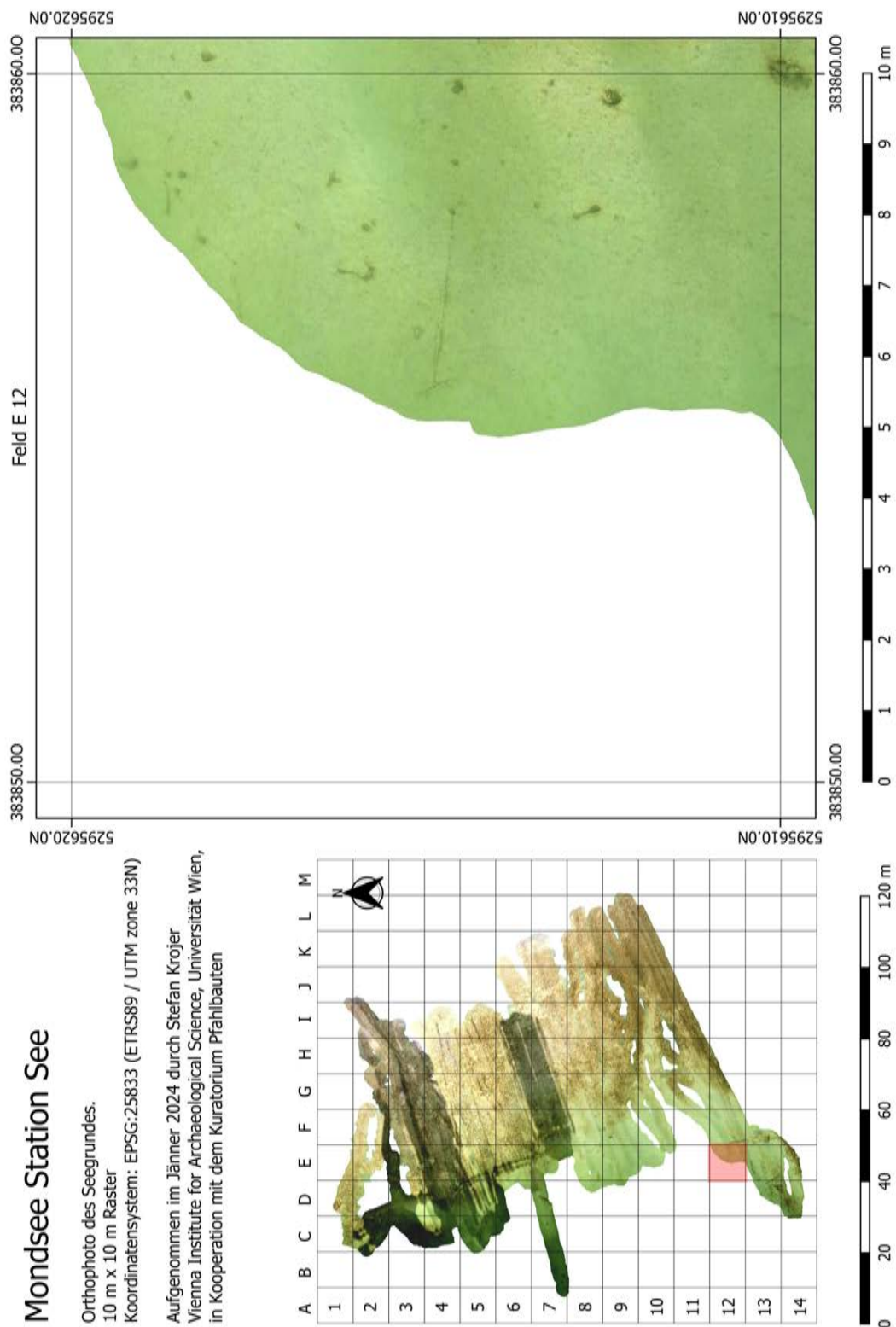


Abb. A.54.: Mondsee Station See: Feld E12

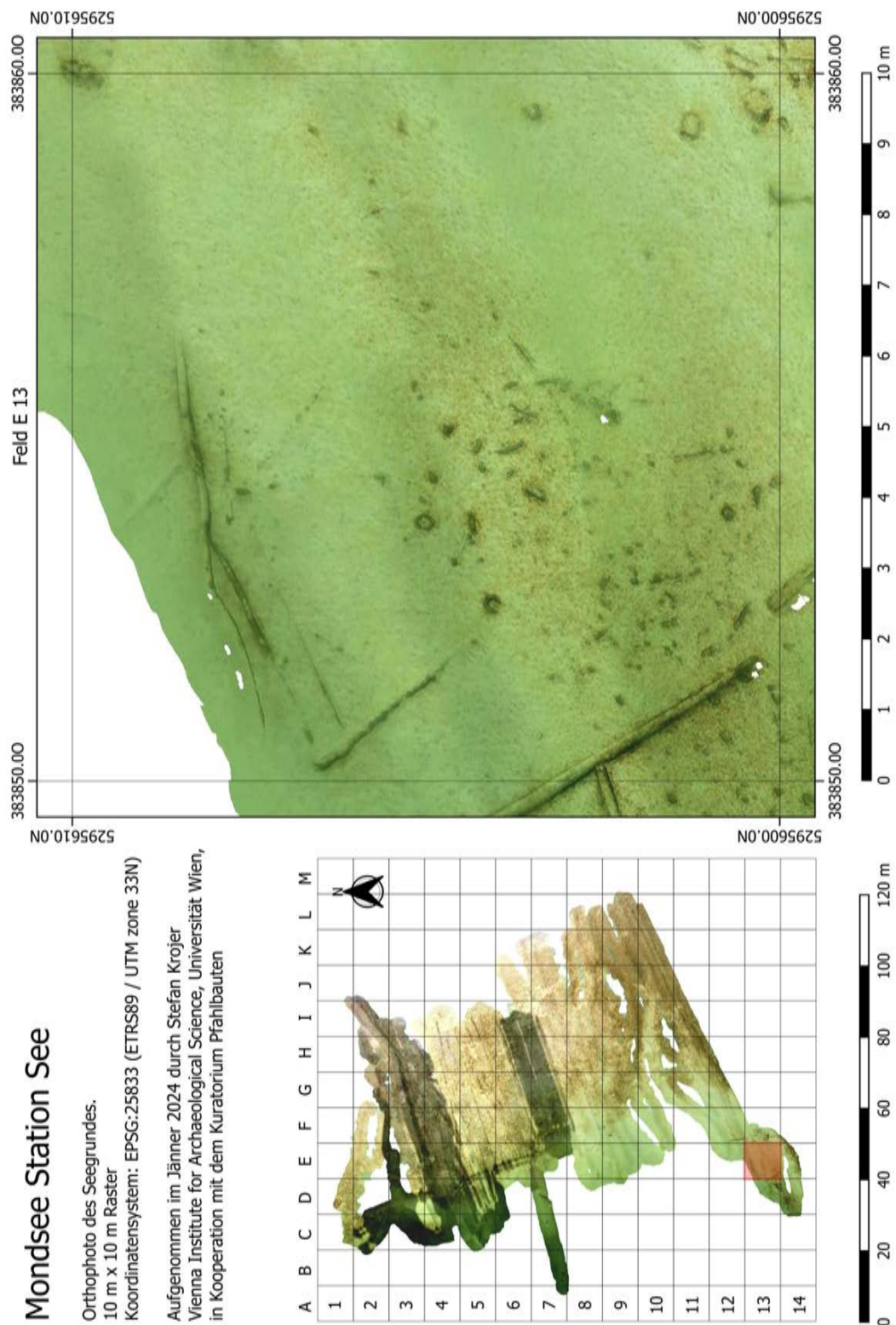


Abb. A.55.: Mondsee Station See: Feld E13

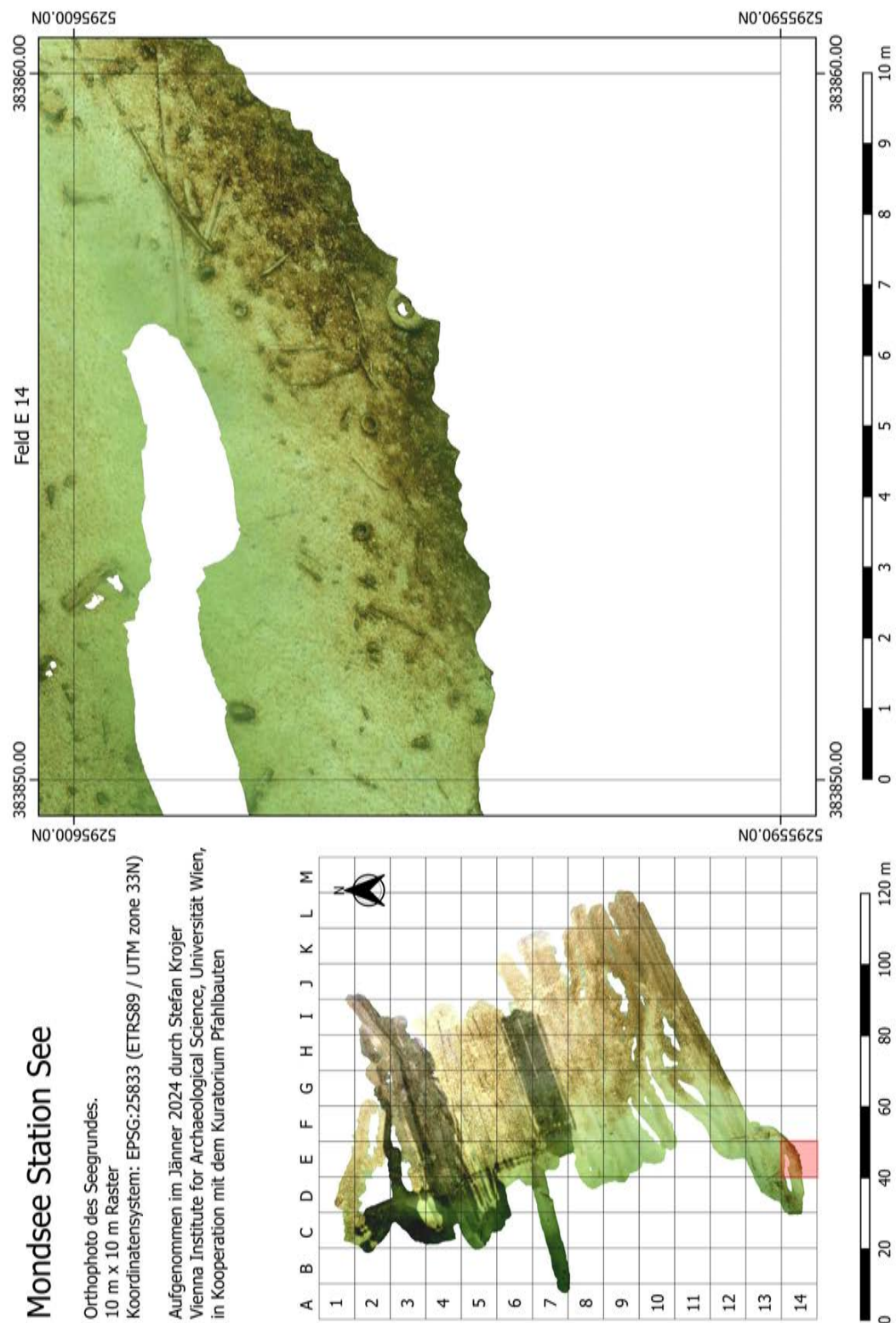


Abb. A.56.: Mondsee Station See: Feld E14

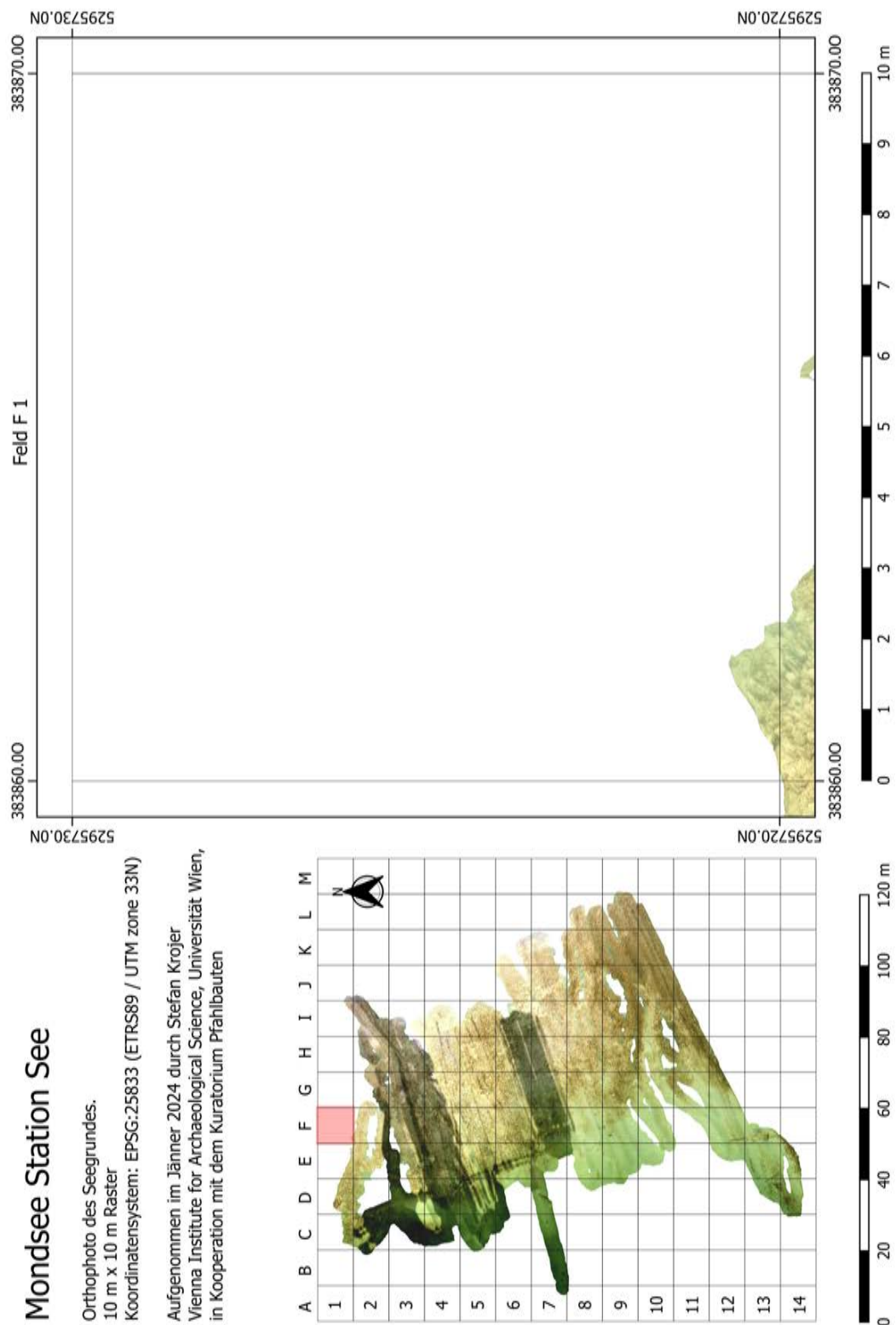


Abb. A.57.: Mondsee Station See: Feld F1

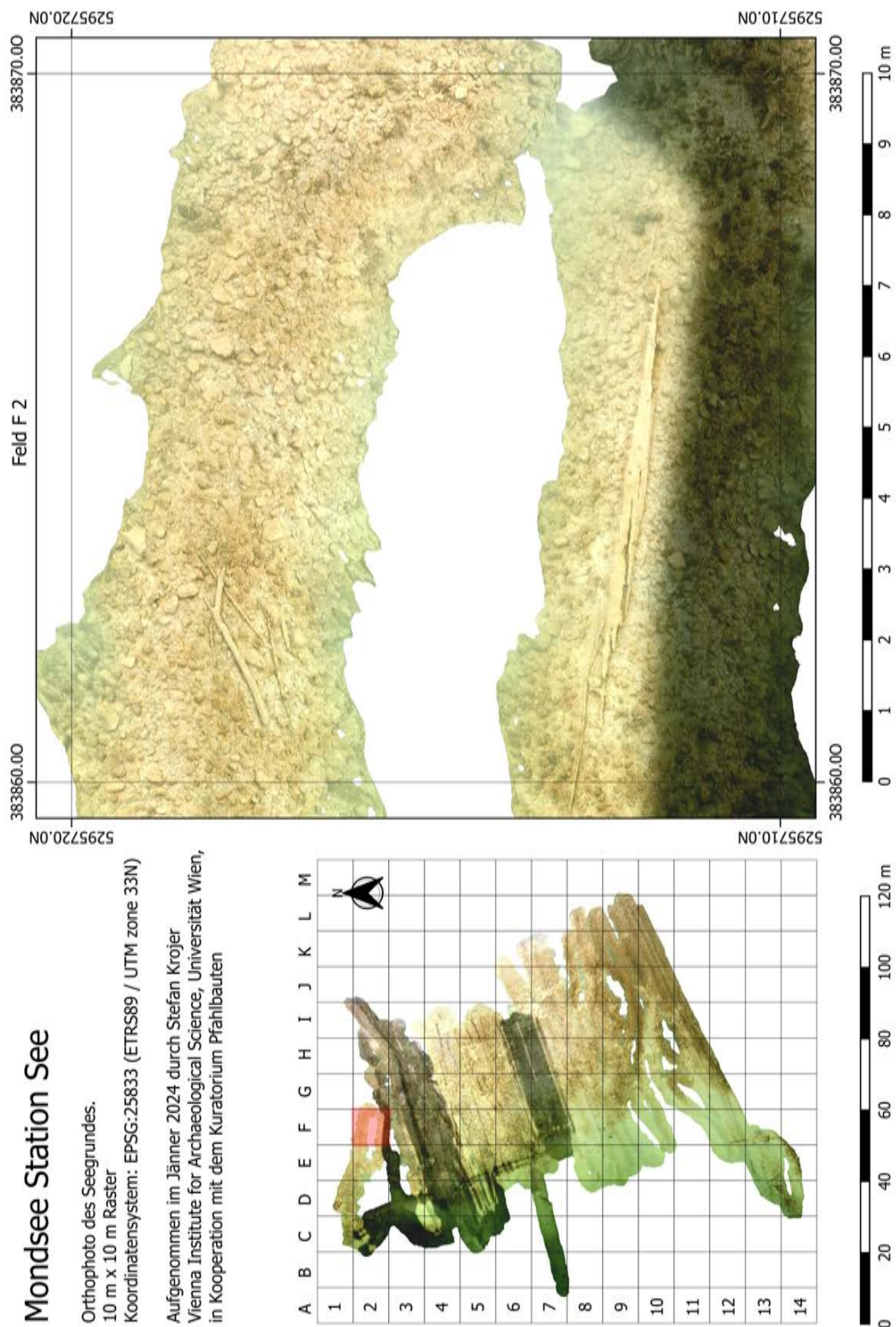


Abb. A.58.: Mondsee Station See: Feld F2

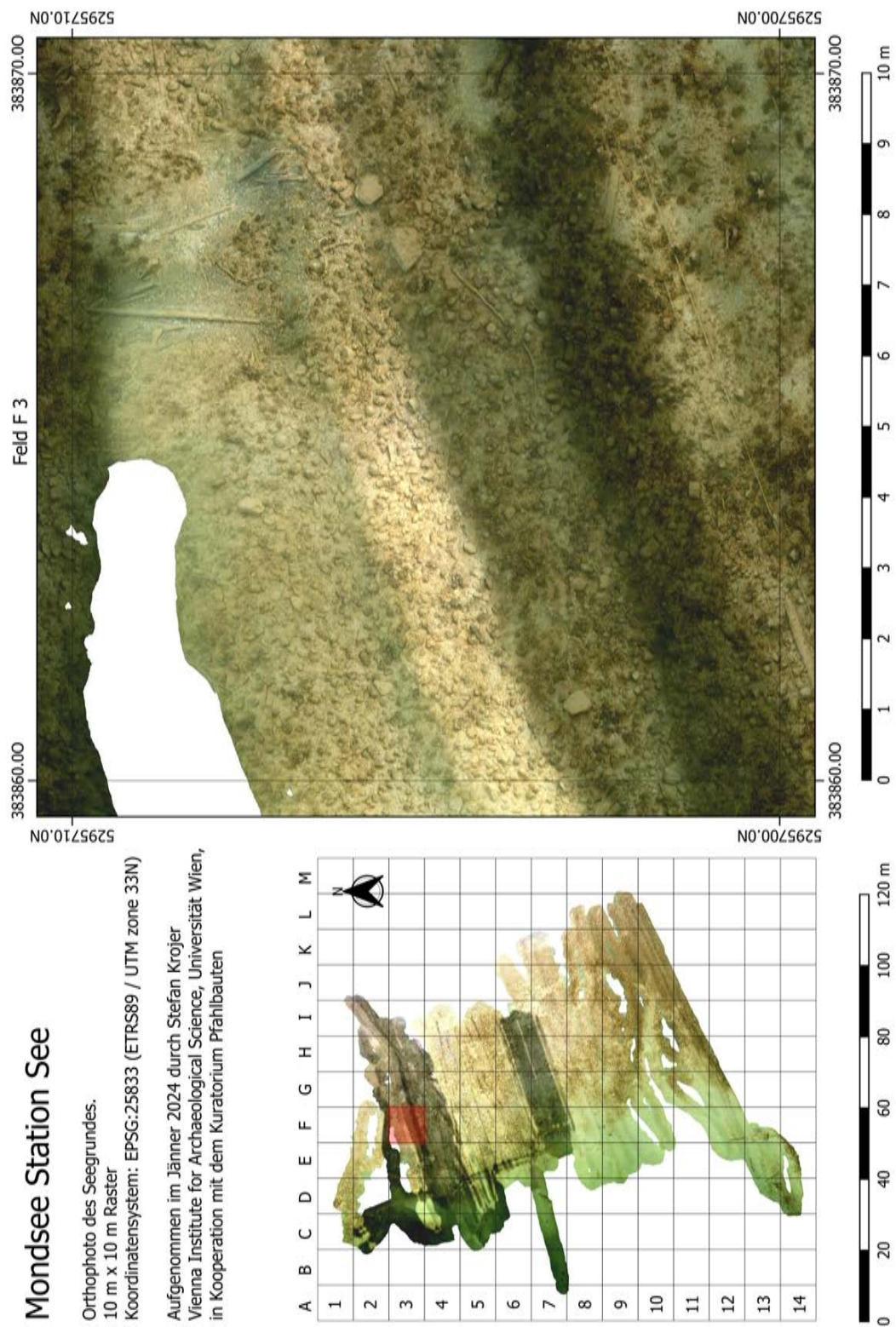


Abb. A.59.: Mondsee Station See: Feld F3

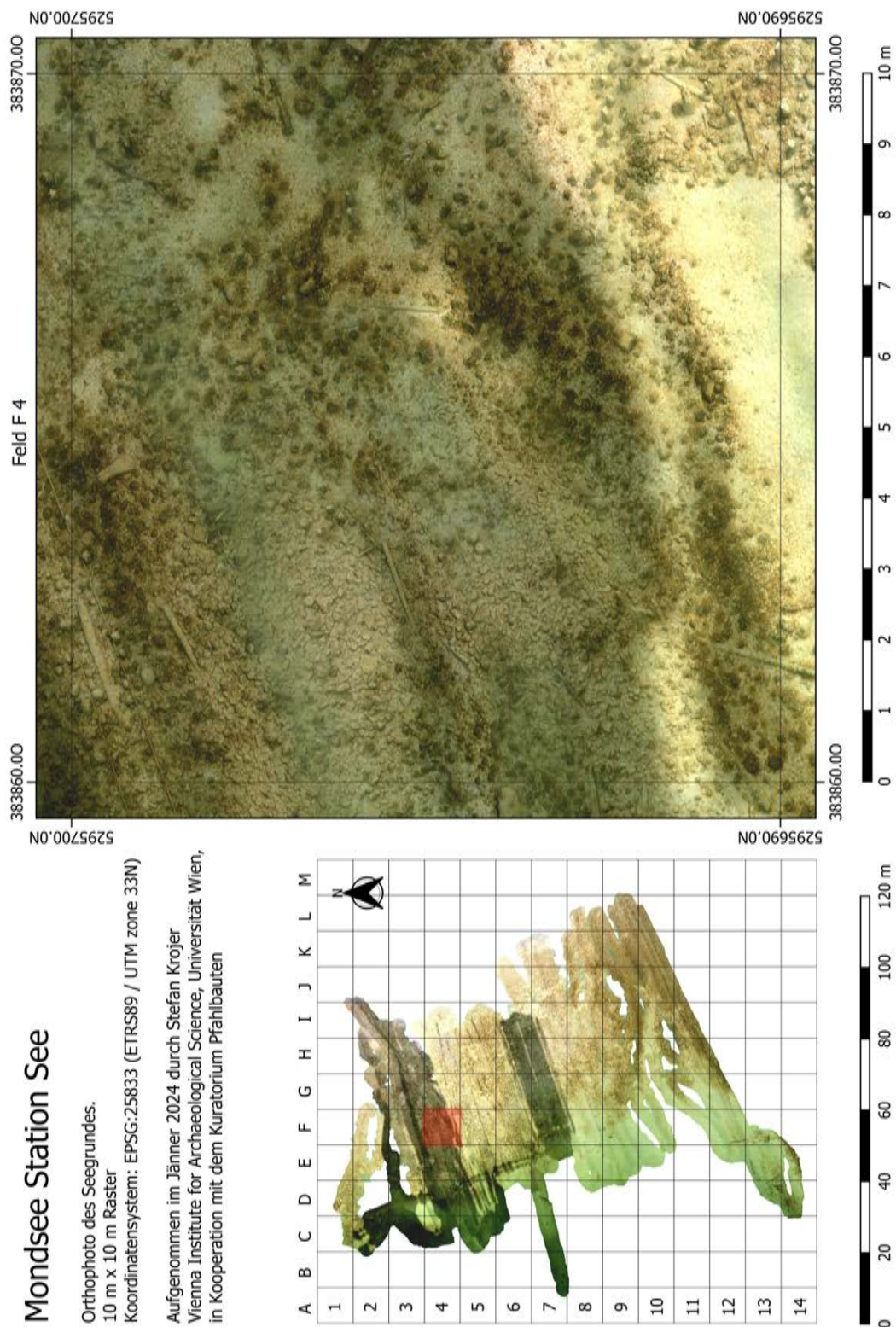


Abb. A.60.: Mondsee Station See: Feld F4

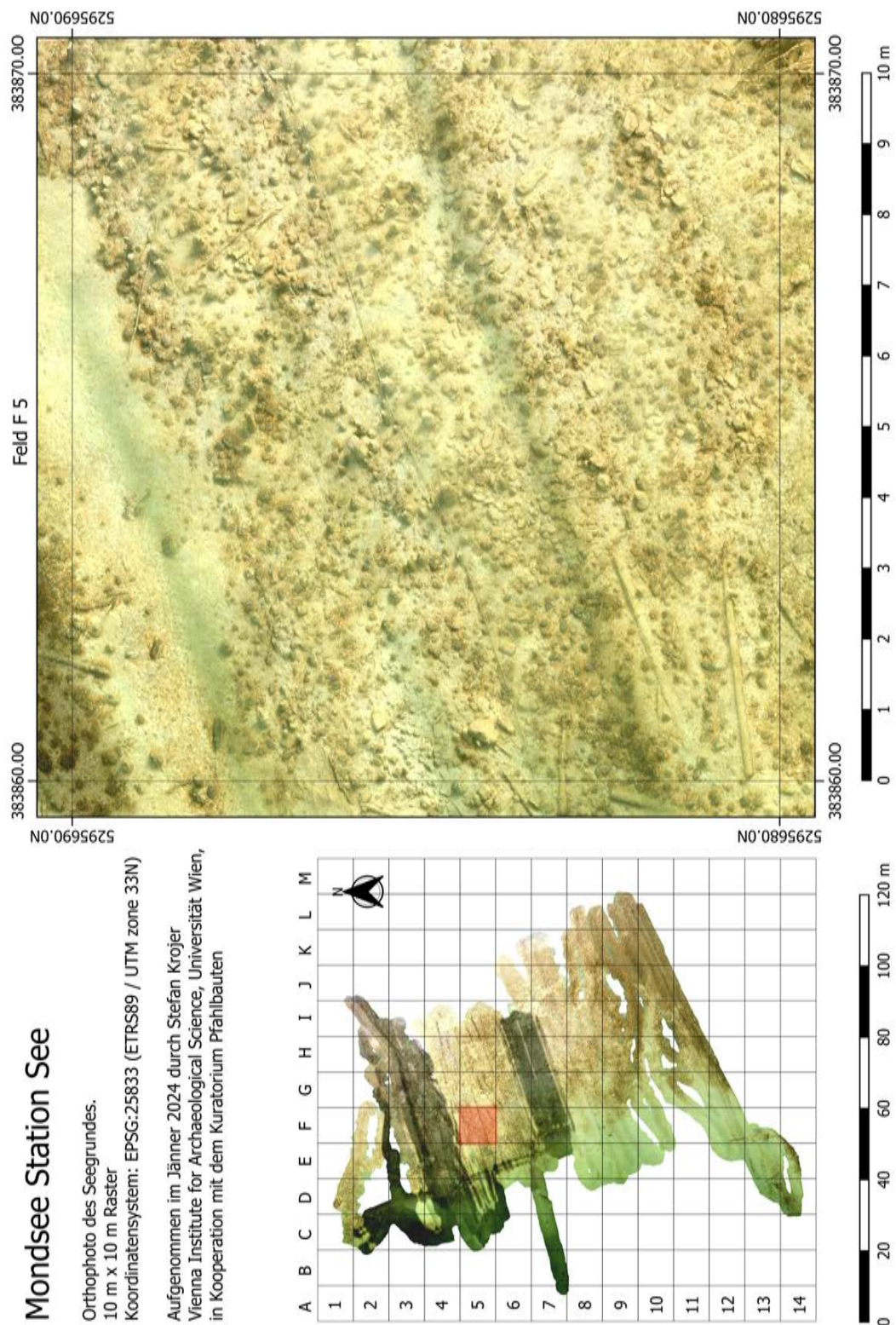


Abb. A.61.: Mondsee Station See: Feld F5

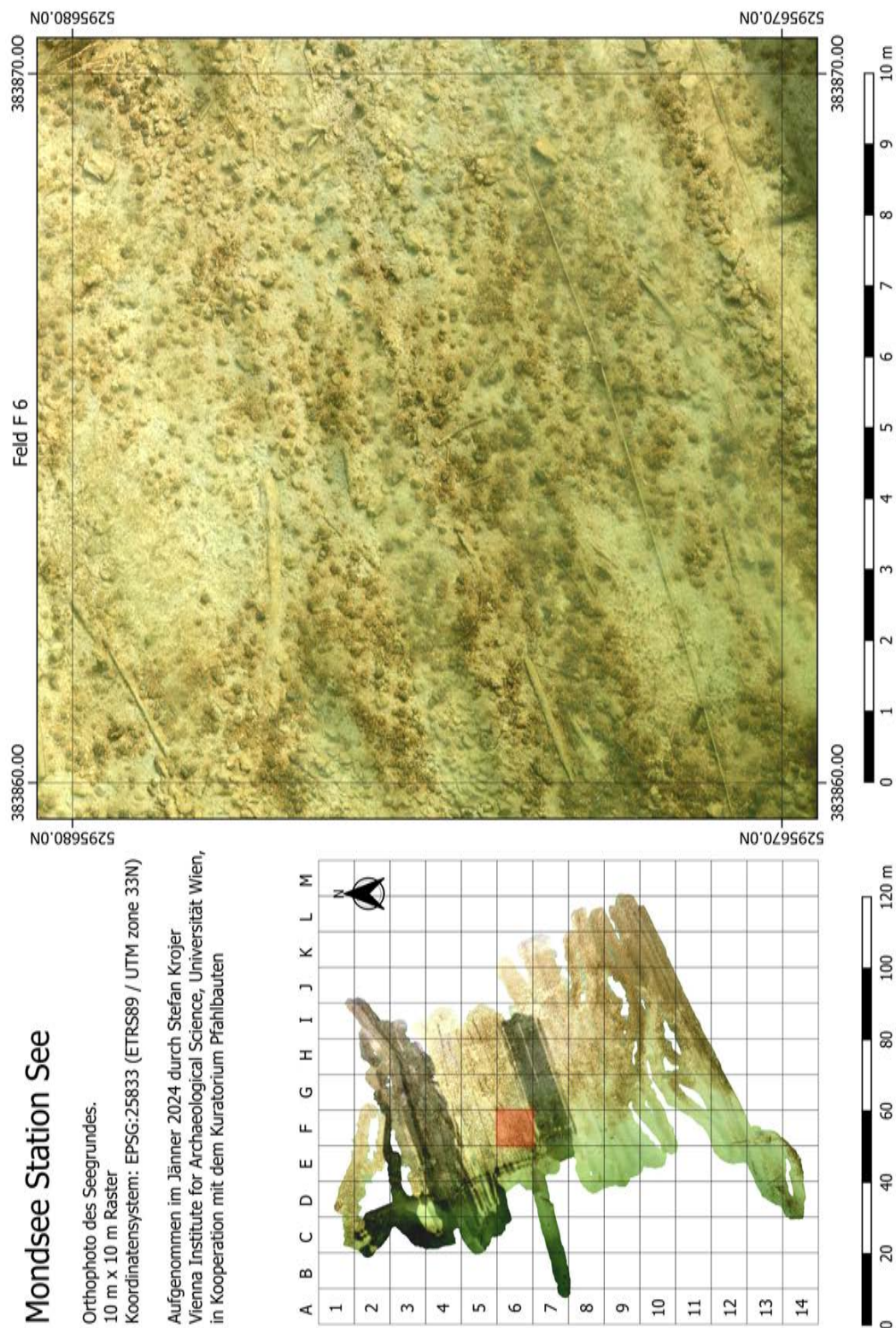


Abb. A.62.: Mondsee Station See: Feld F6

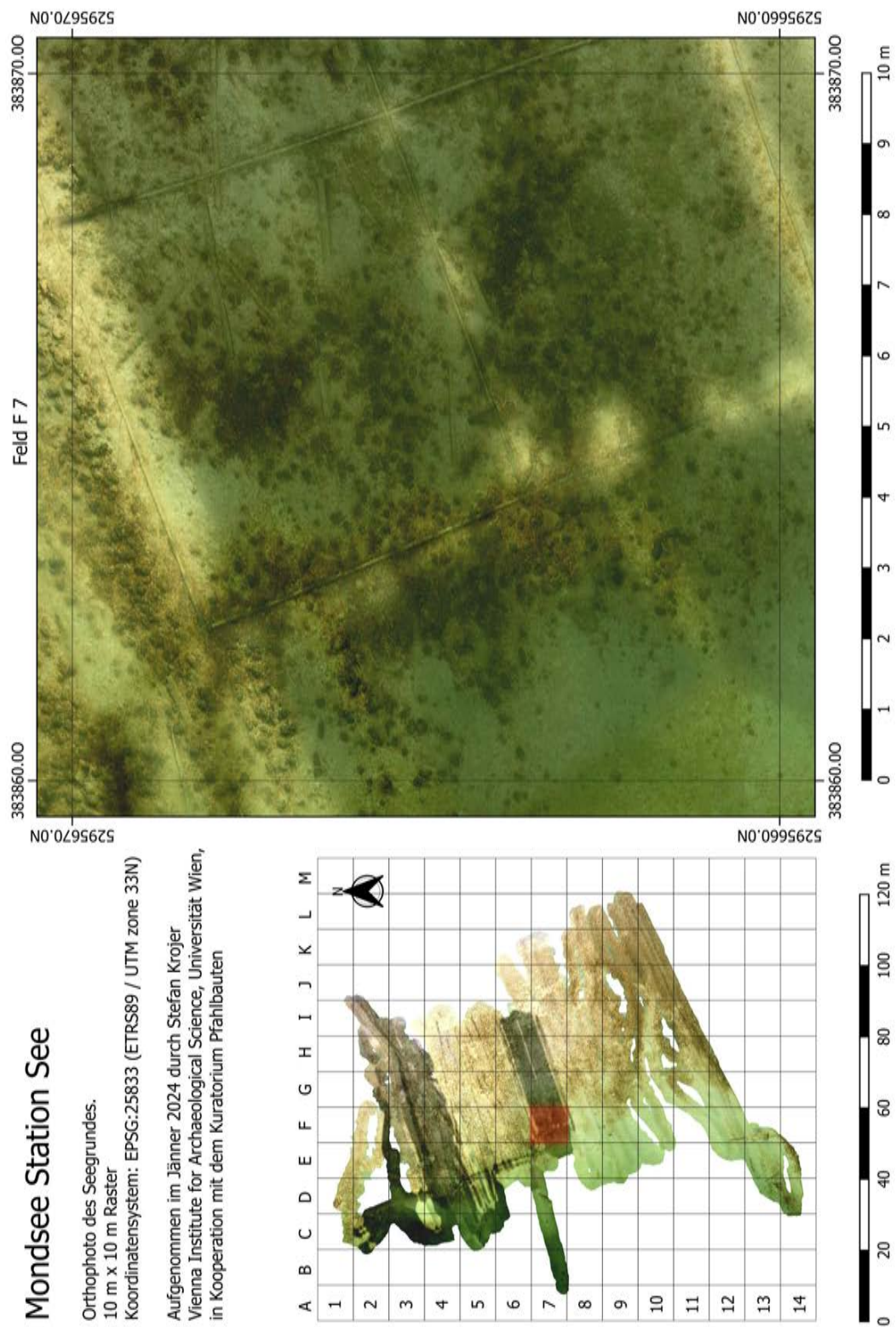


Abb. A.63.: Mondsee Station See: Feld F7

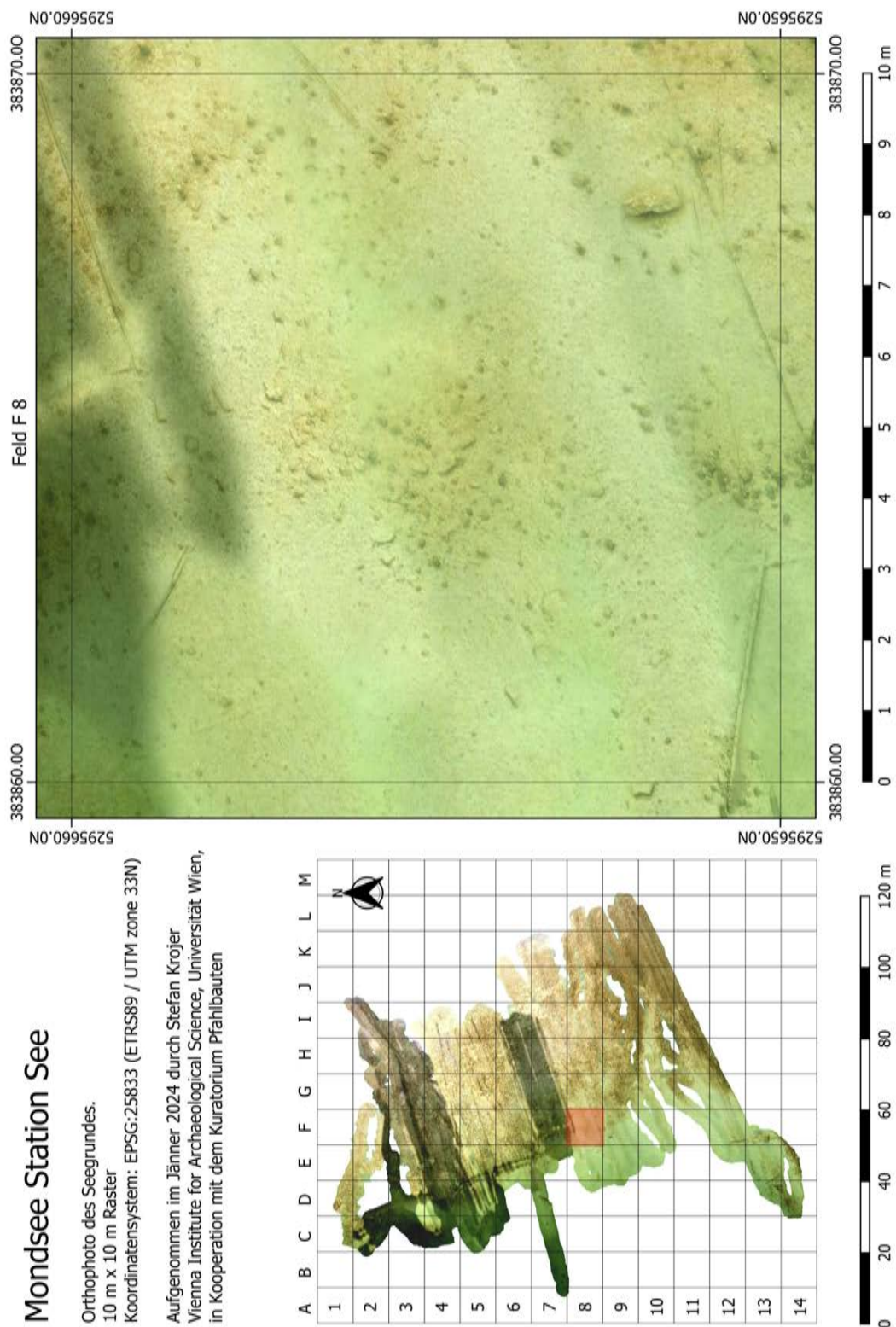


Abb. A.64.: Mondsee Station See: Feld F8

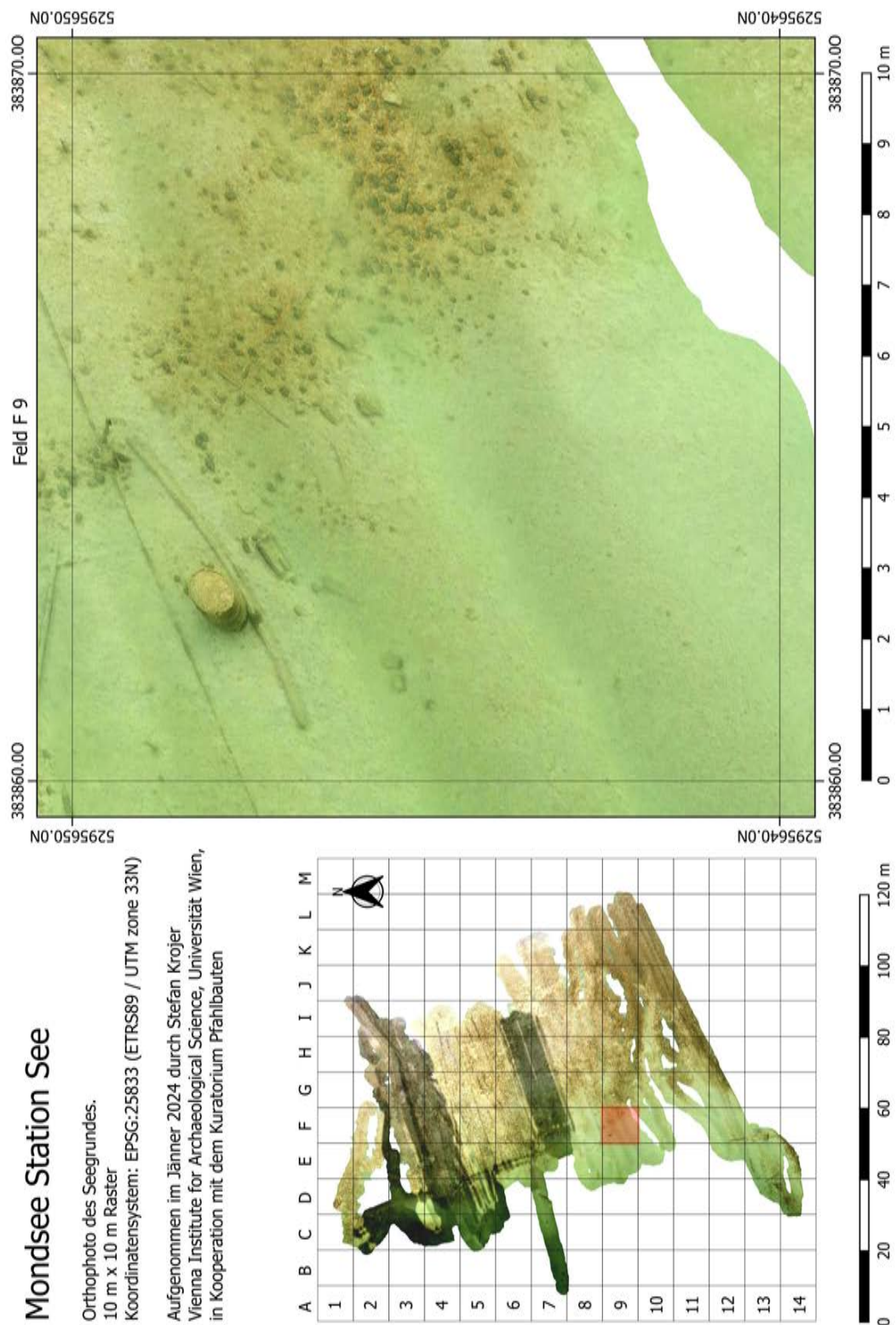


Abb. A.65.: Mondsee Station See: Feld F9

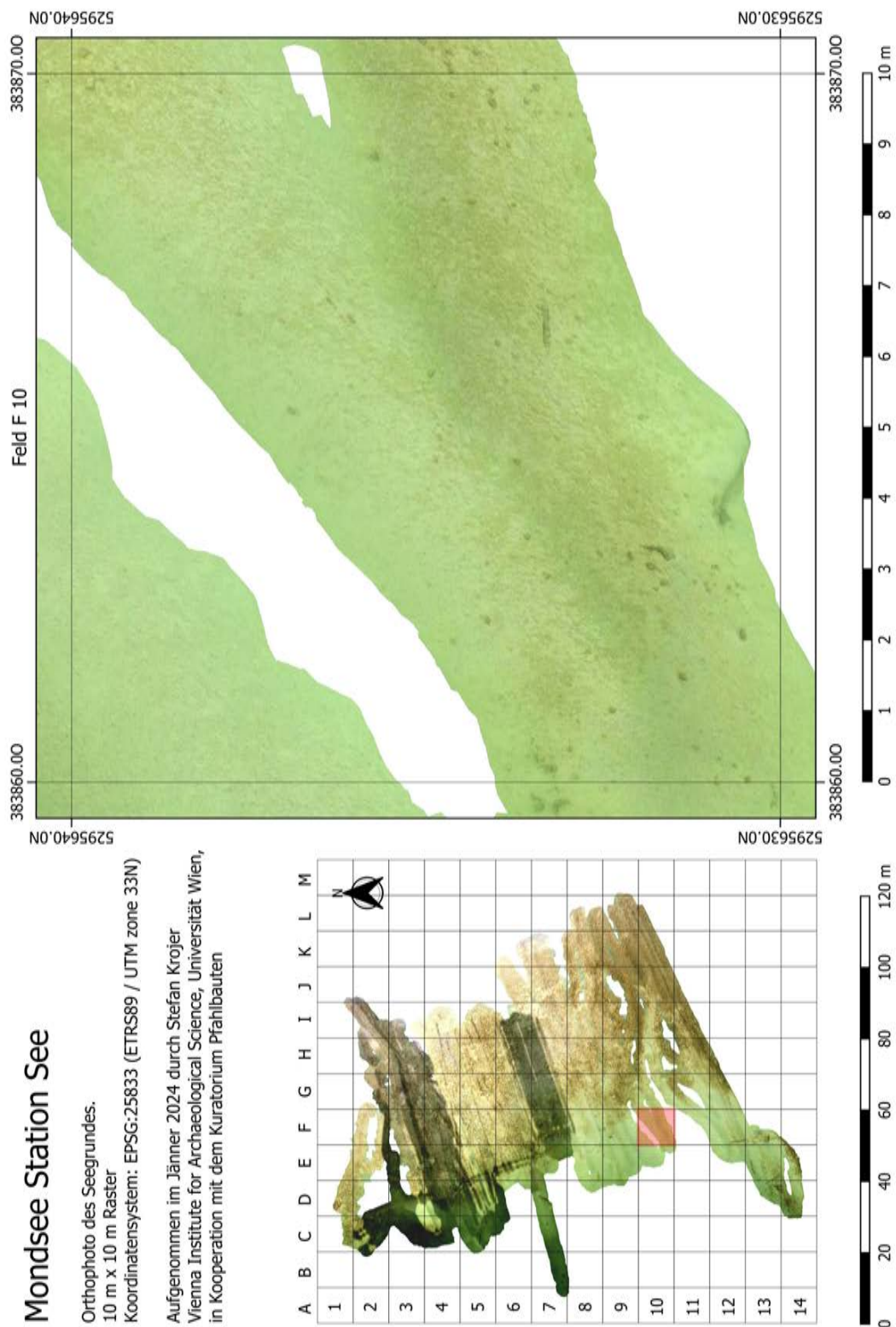


Abb. A.66.: Mondsee Station See: Feld F10

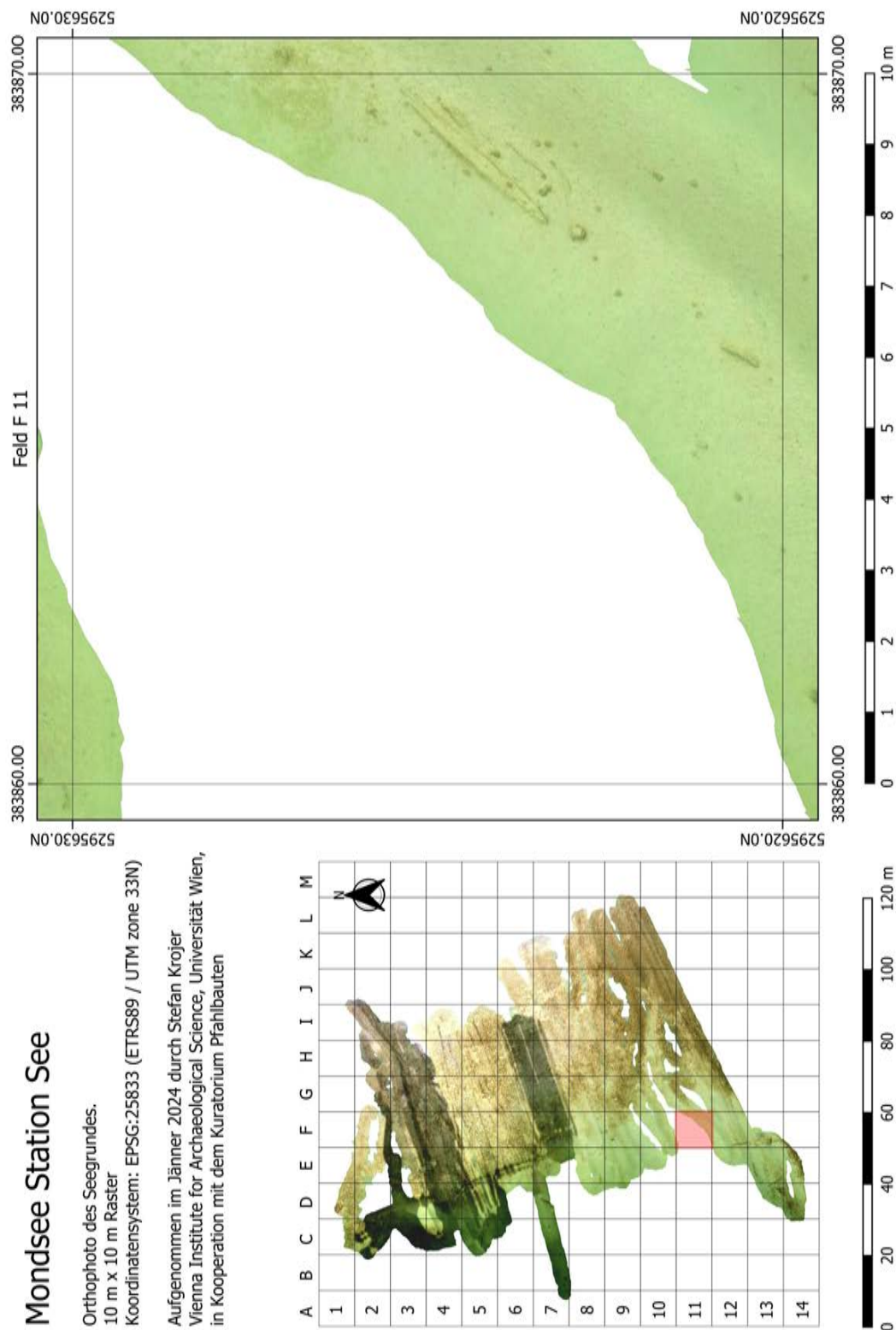


Abb. A.67.: Mondsee Station See: Feld F11

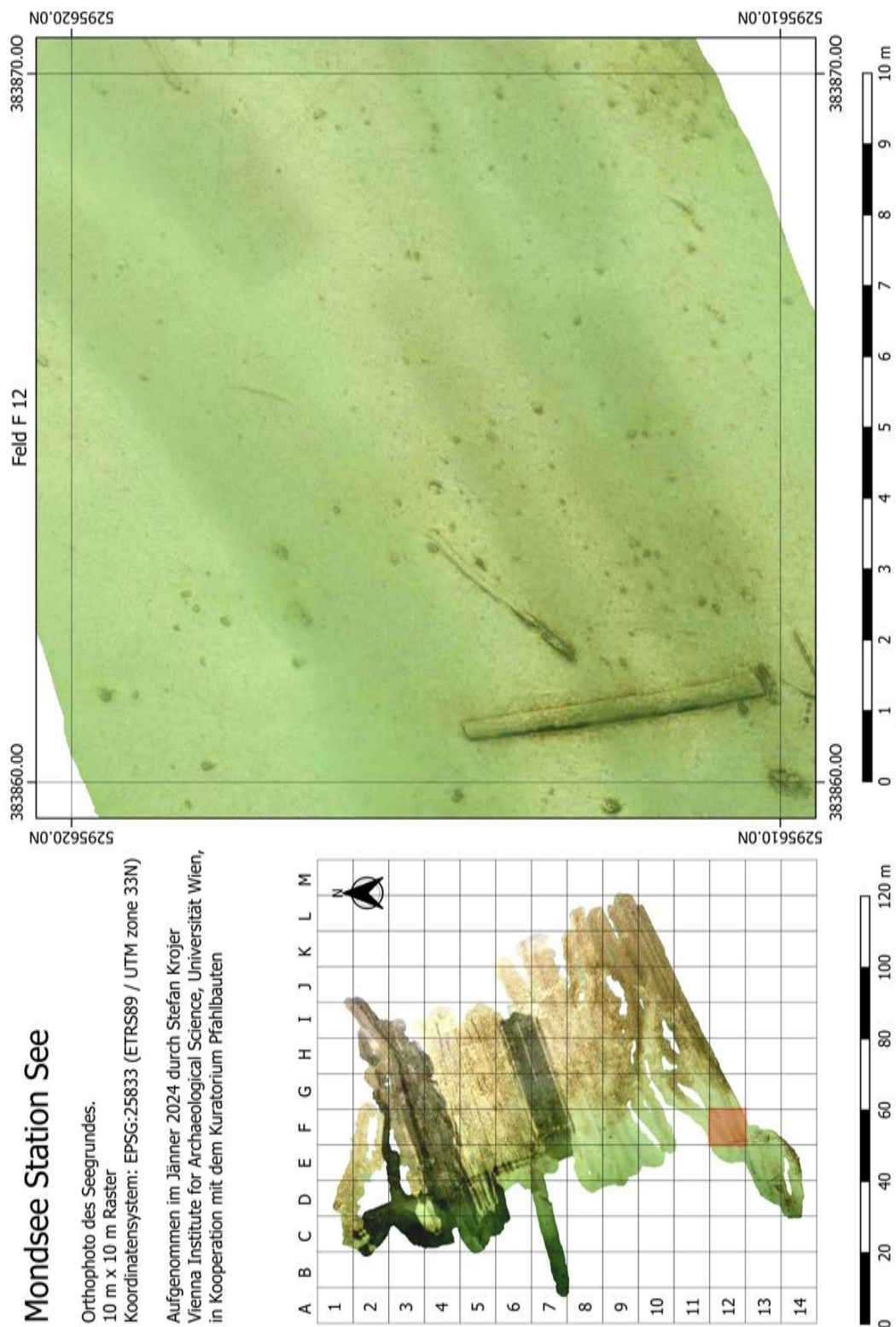


Abb. A.68.: Mondsee Station See: Feld F12

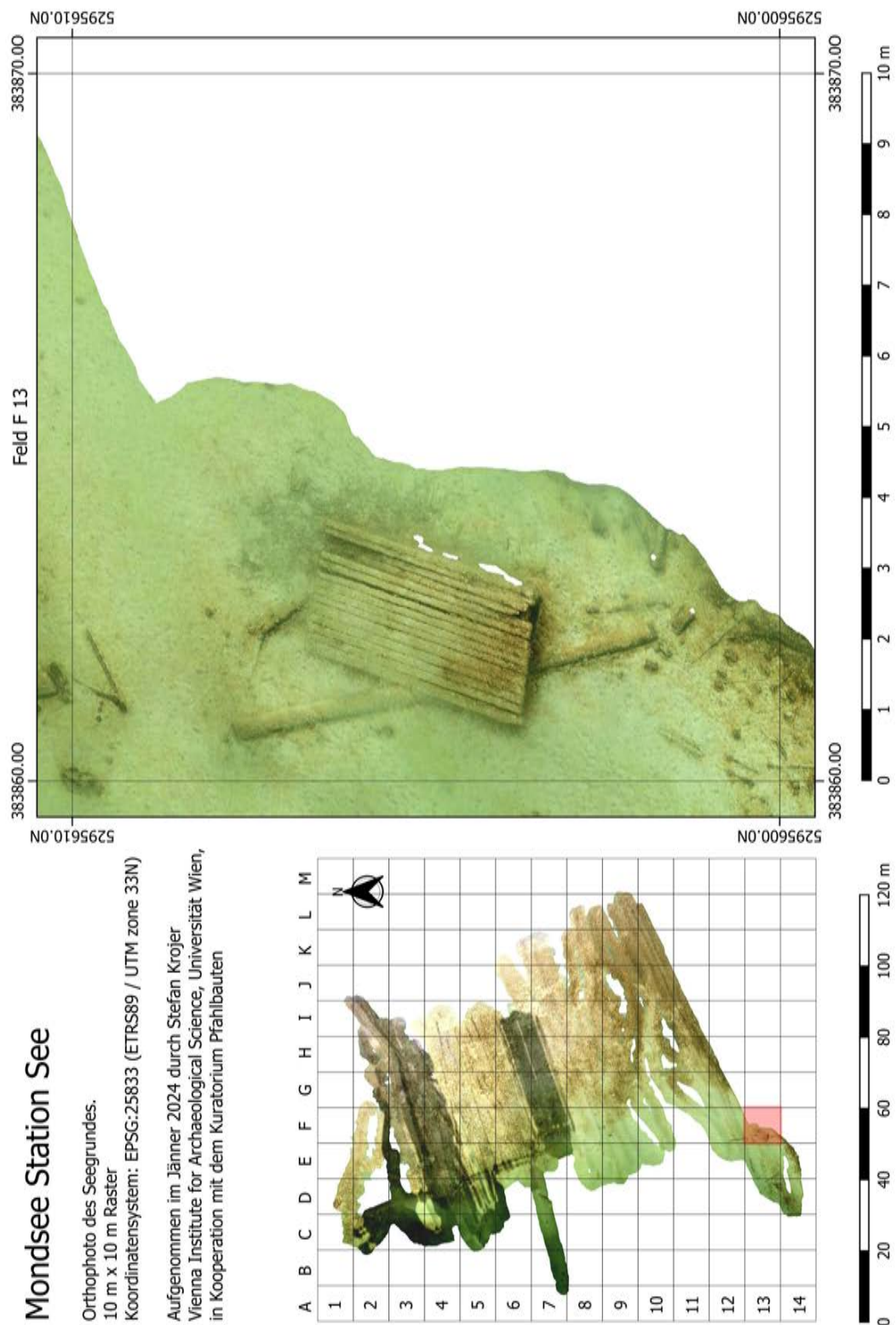


Abb. A.69.: Mondsee Station See: Feld F13

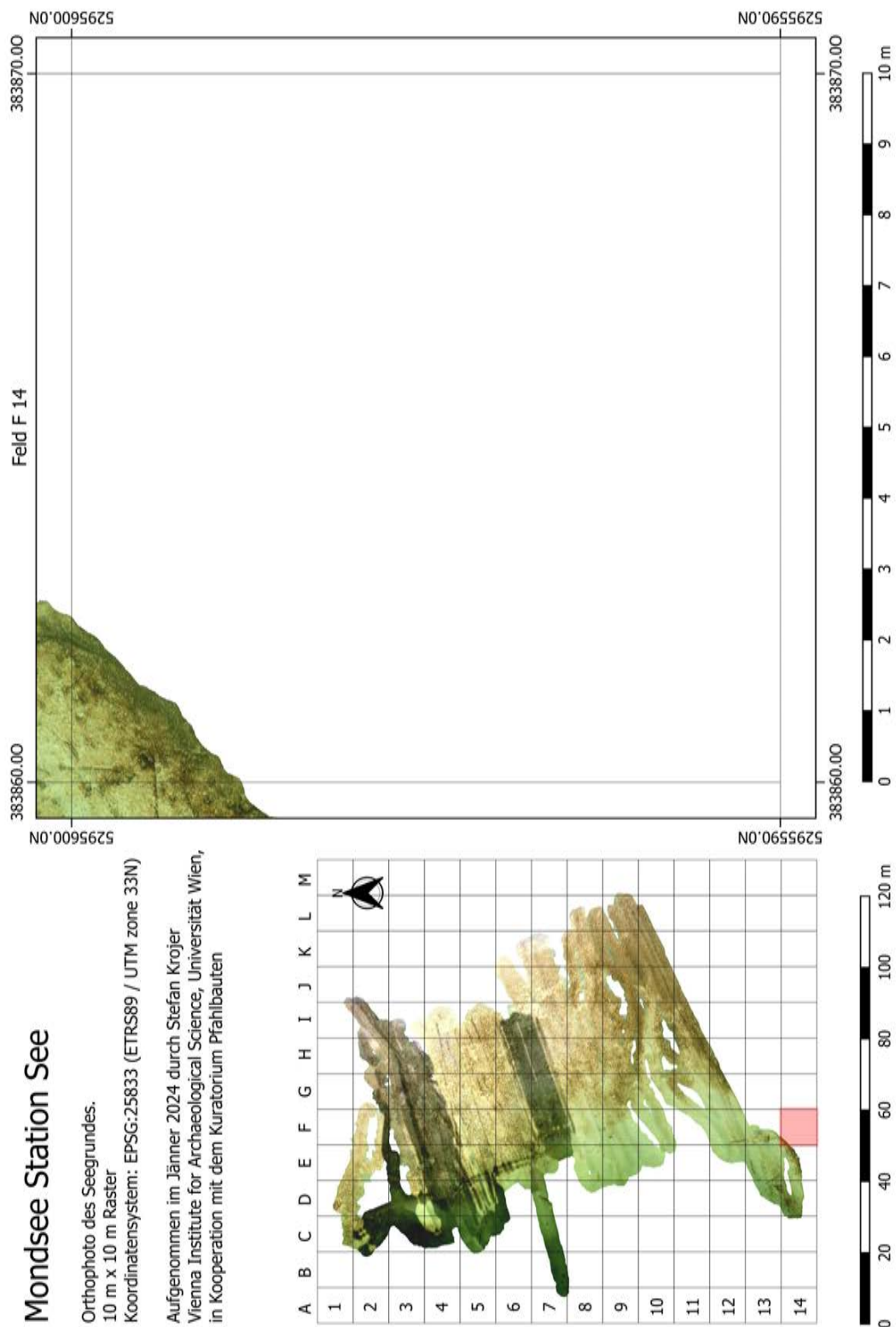


Abb. A.70.: Mondsee Station See: Feld F14

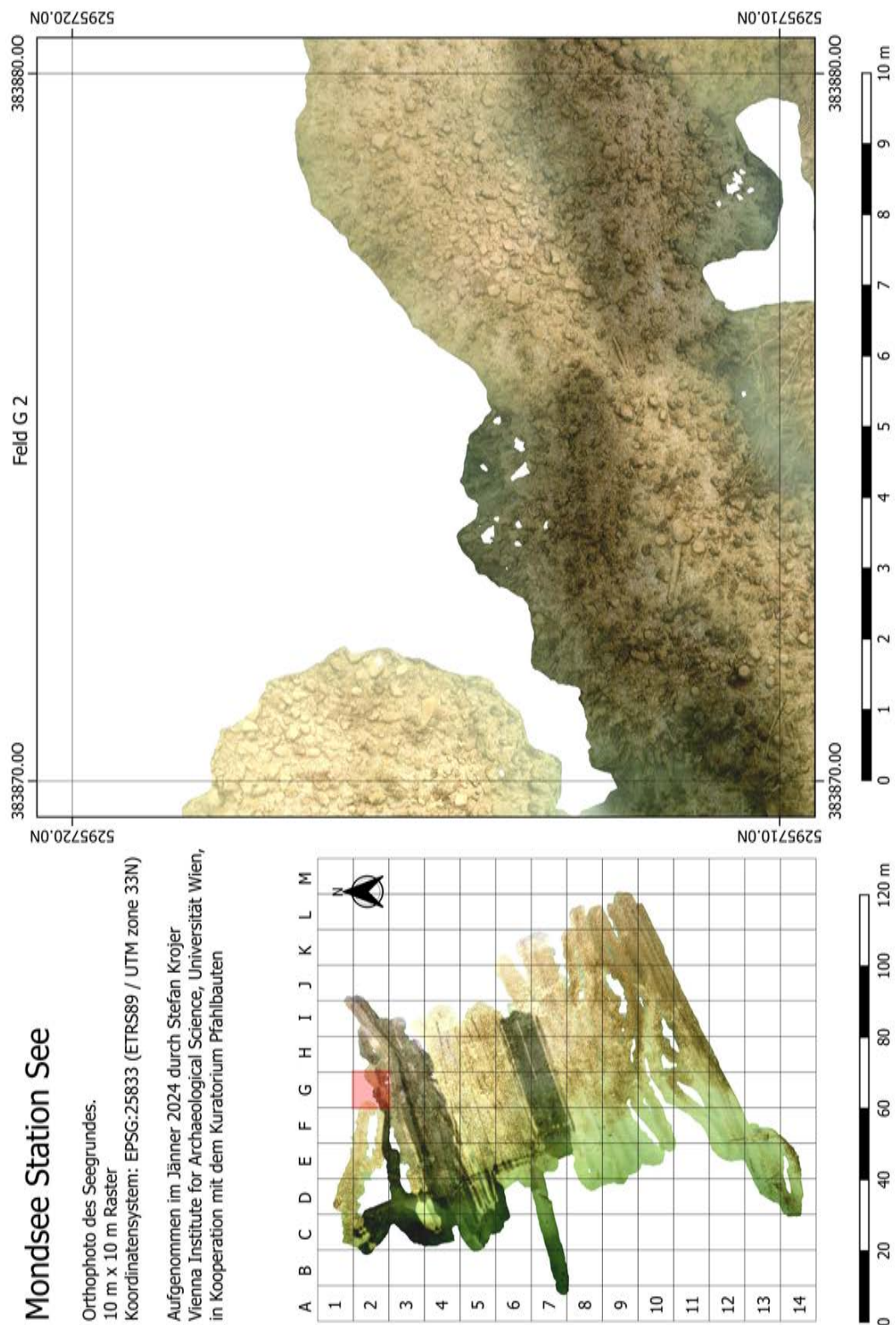


Abb. A.71.: Mondsee Station See: Feld G2

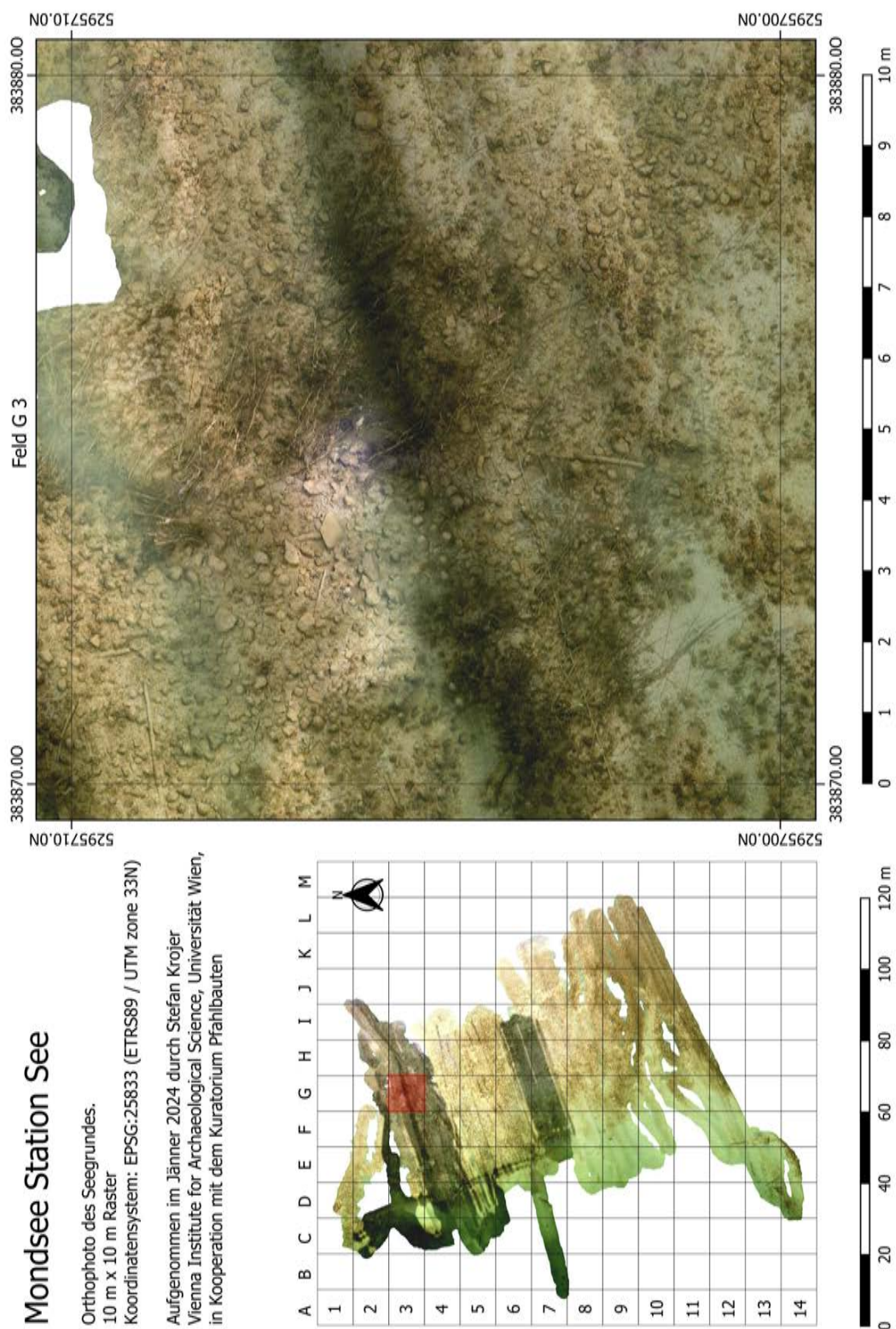


Abb. A.72.: Mondsee Station See: Feld G3

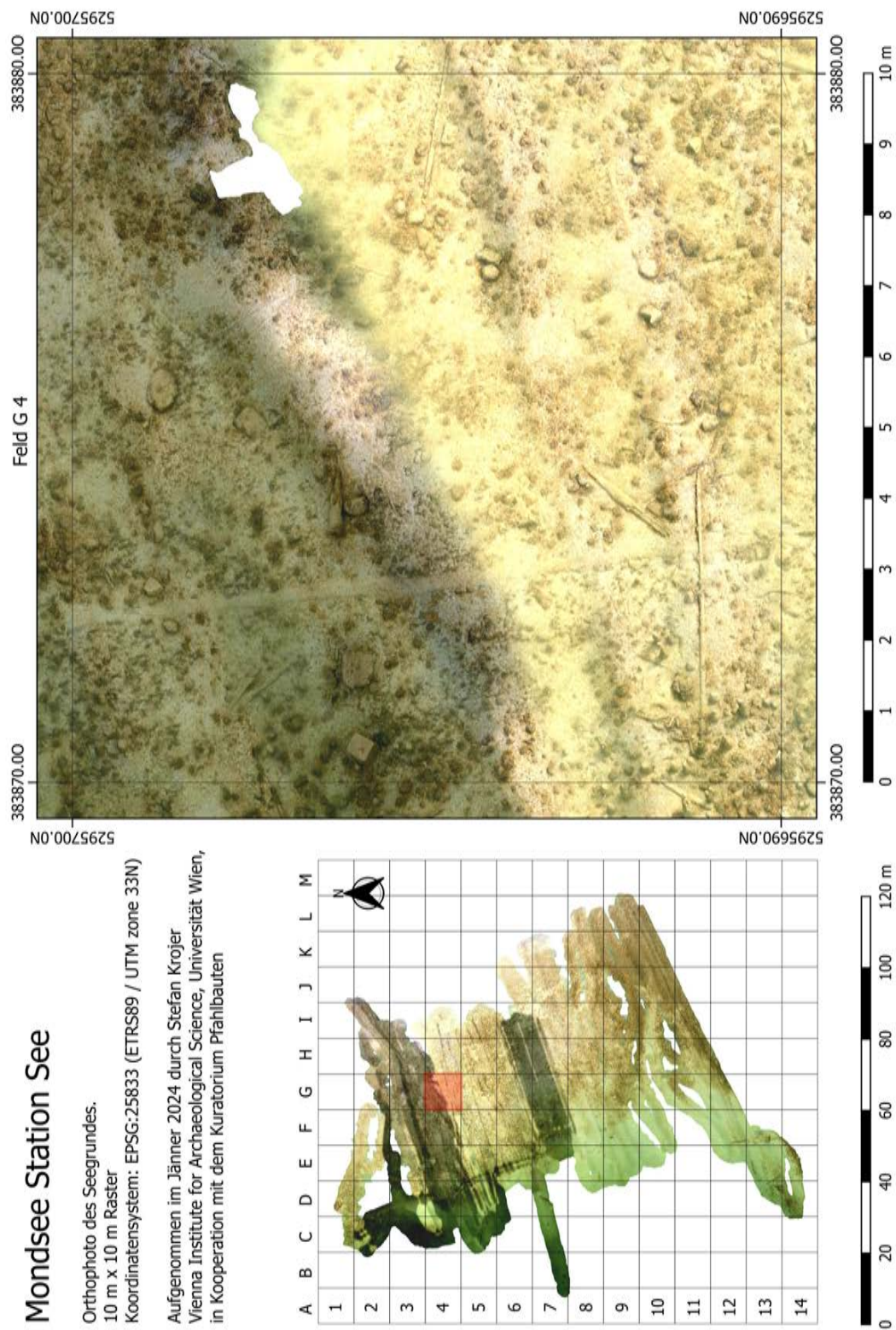


Abb. A.73.: Mondsee Station See: Feld G4

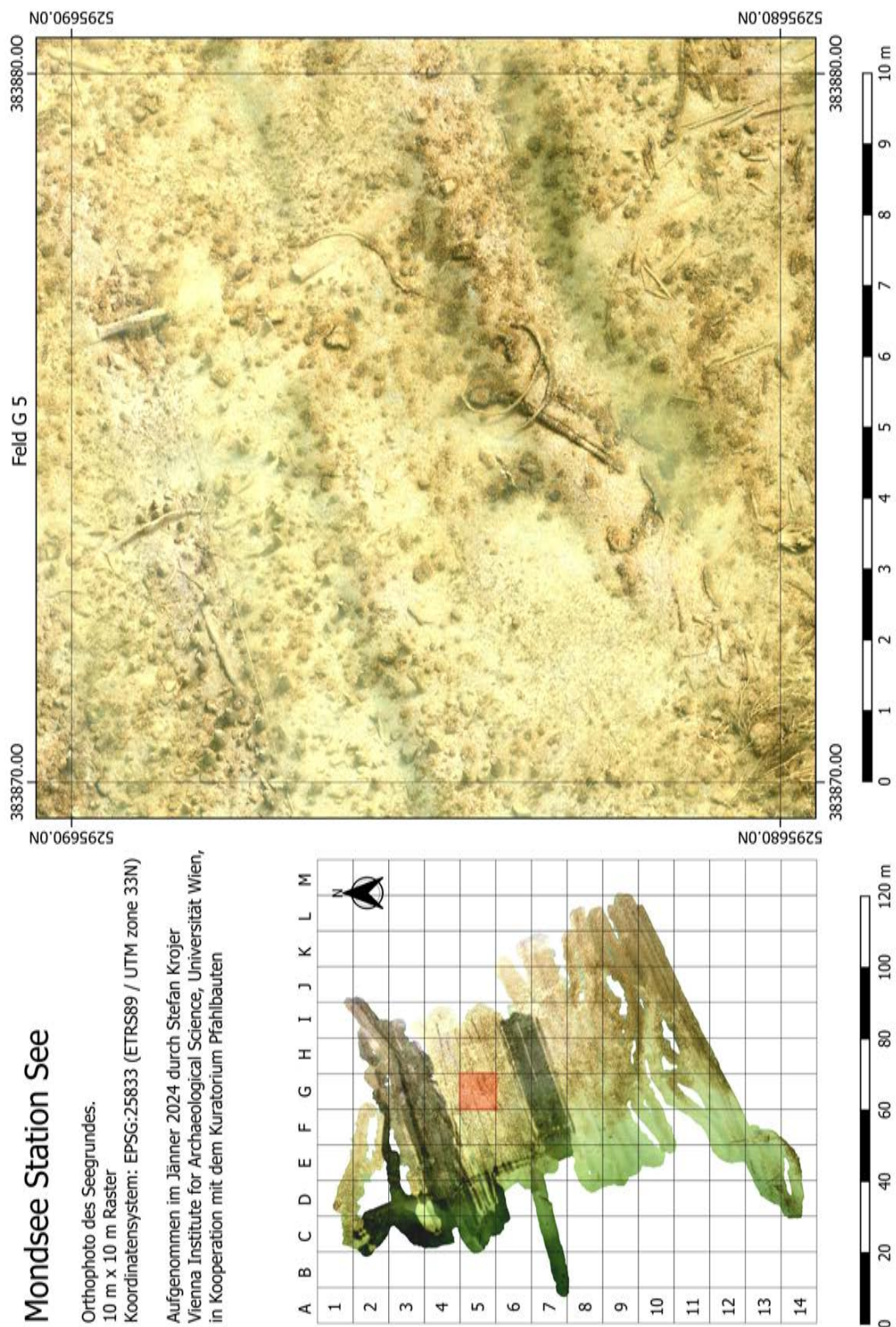


Abb. A.74.: Mondsee Station See: Feld G5

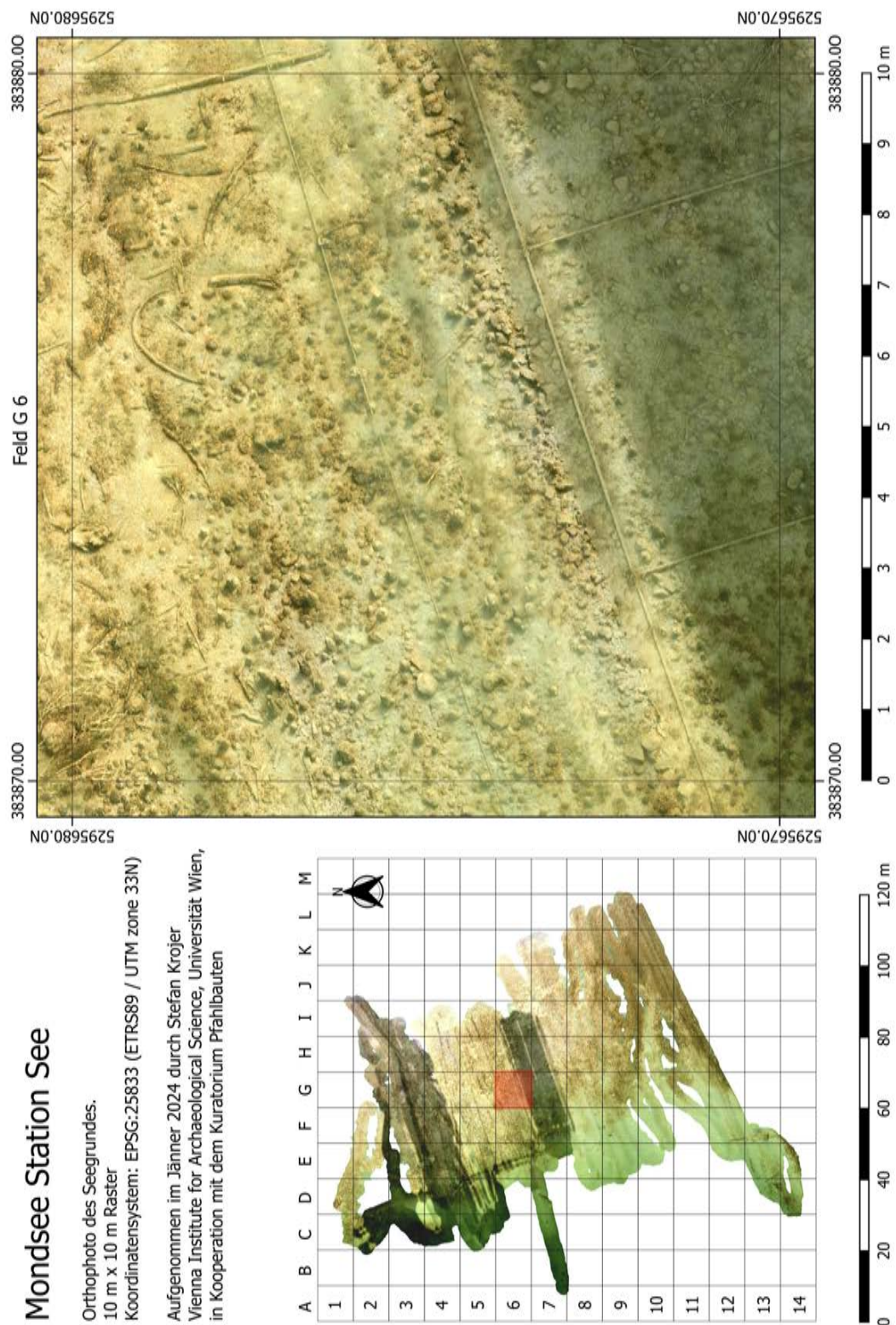


Abb. A.75.: Mondsee Station See: Feld G6

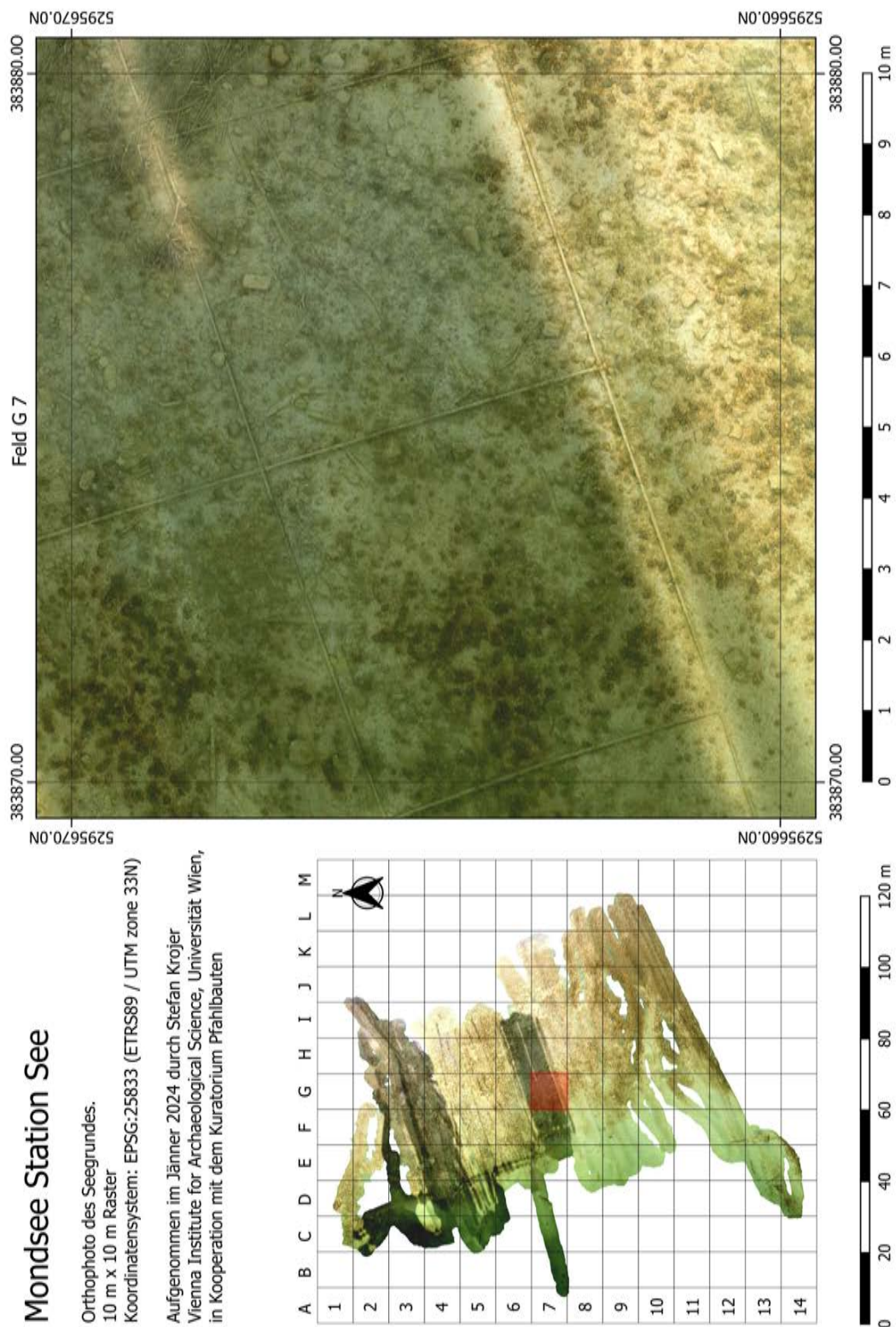


Abb. A.76.: Mondsee Station See: Feld G7

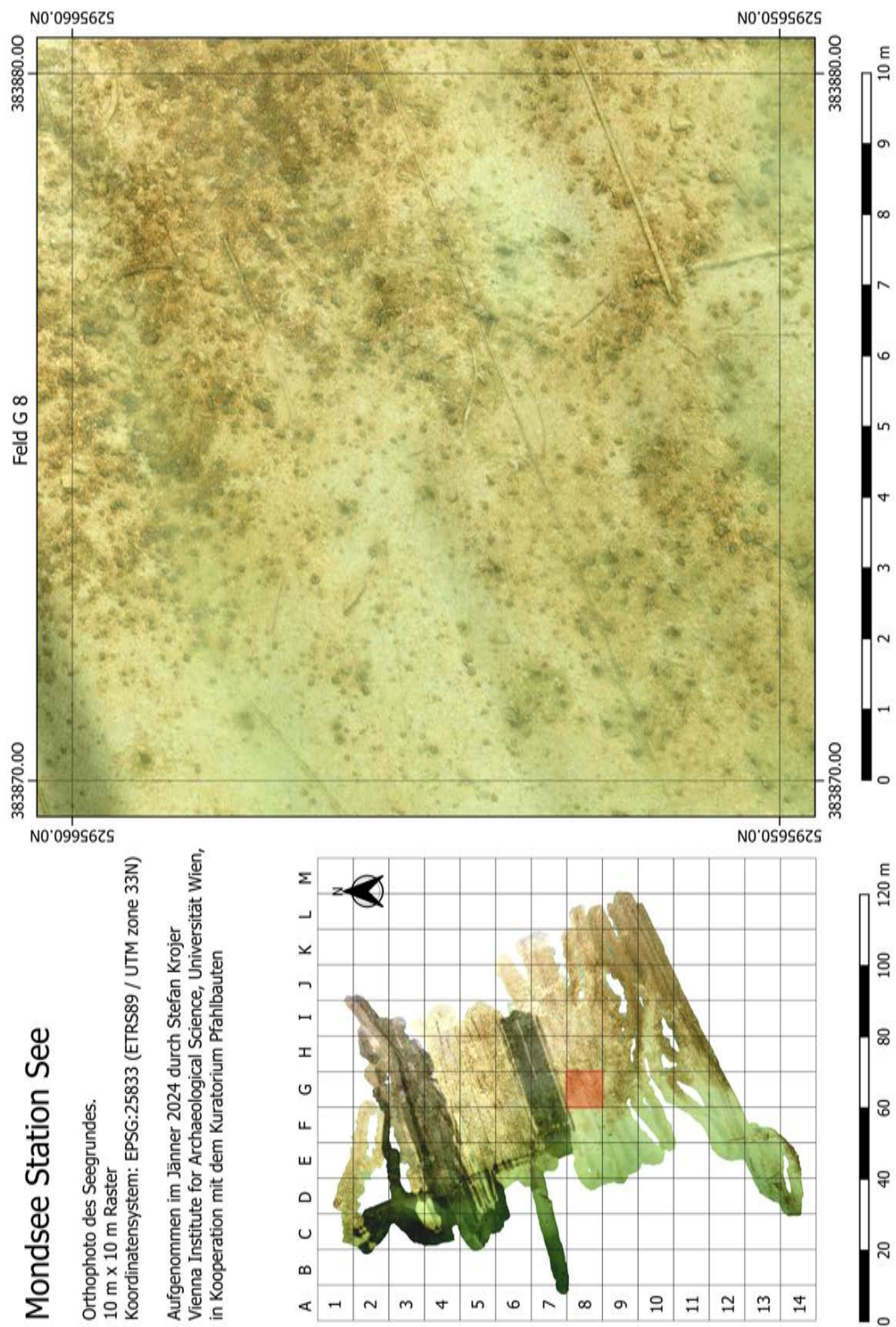


Abb. A.77.: Mondsee Station See: Feld G8

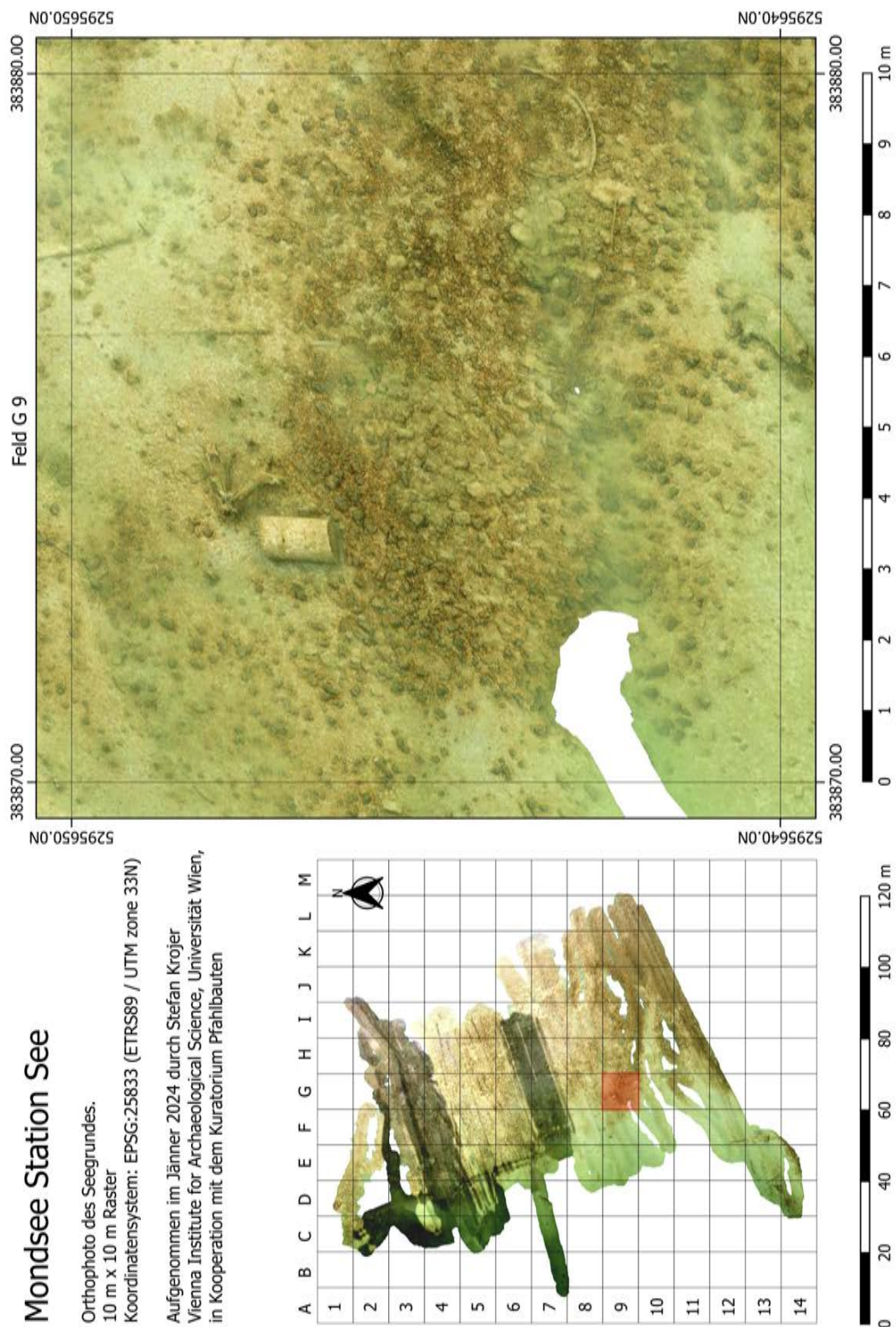
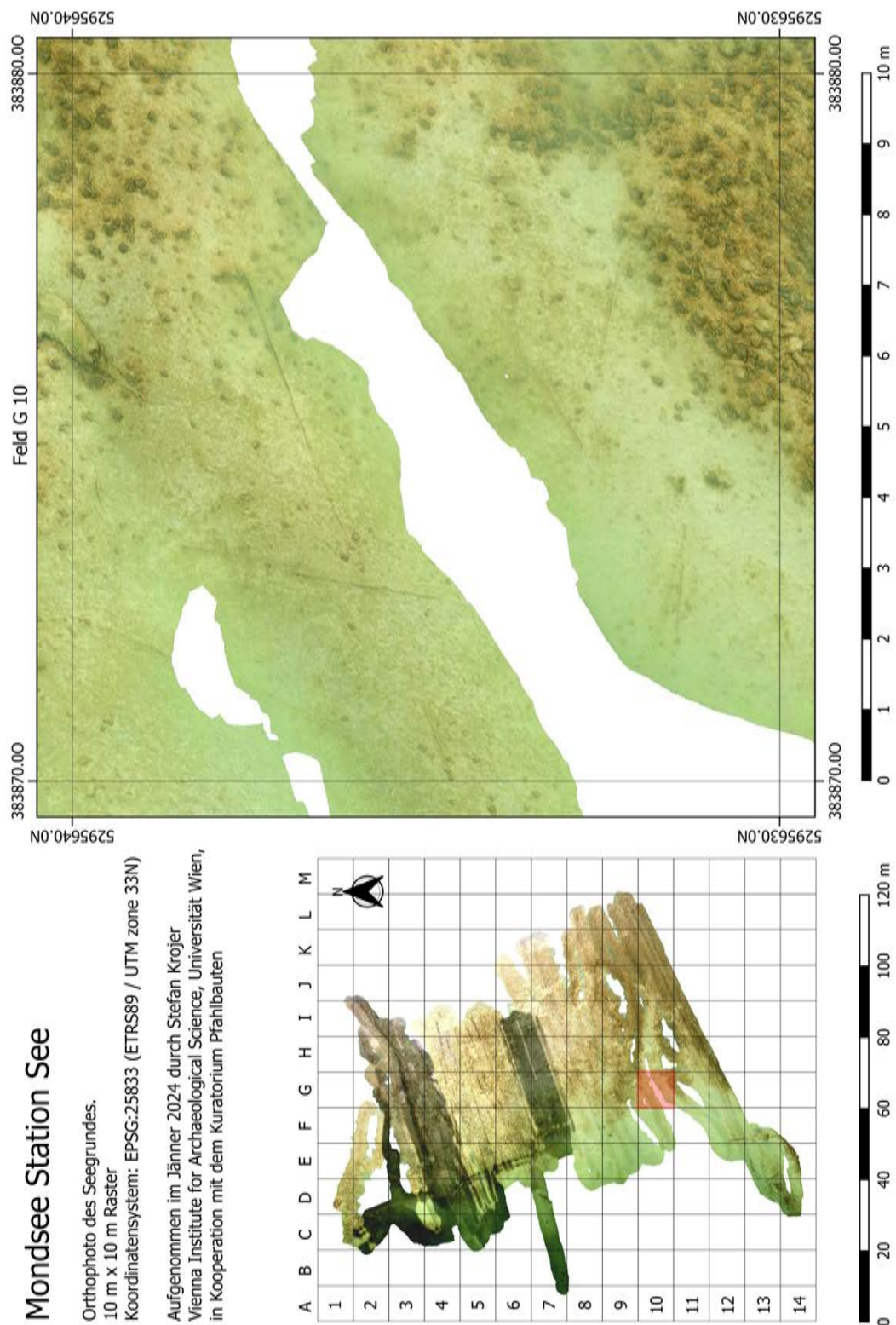


Abb. A.78.: Mondsee Station See: Feld G9



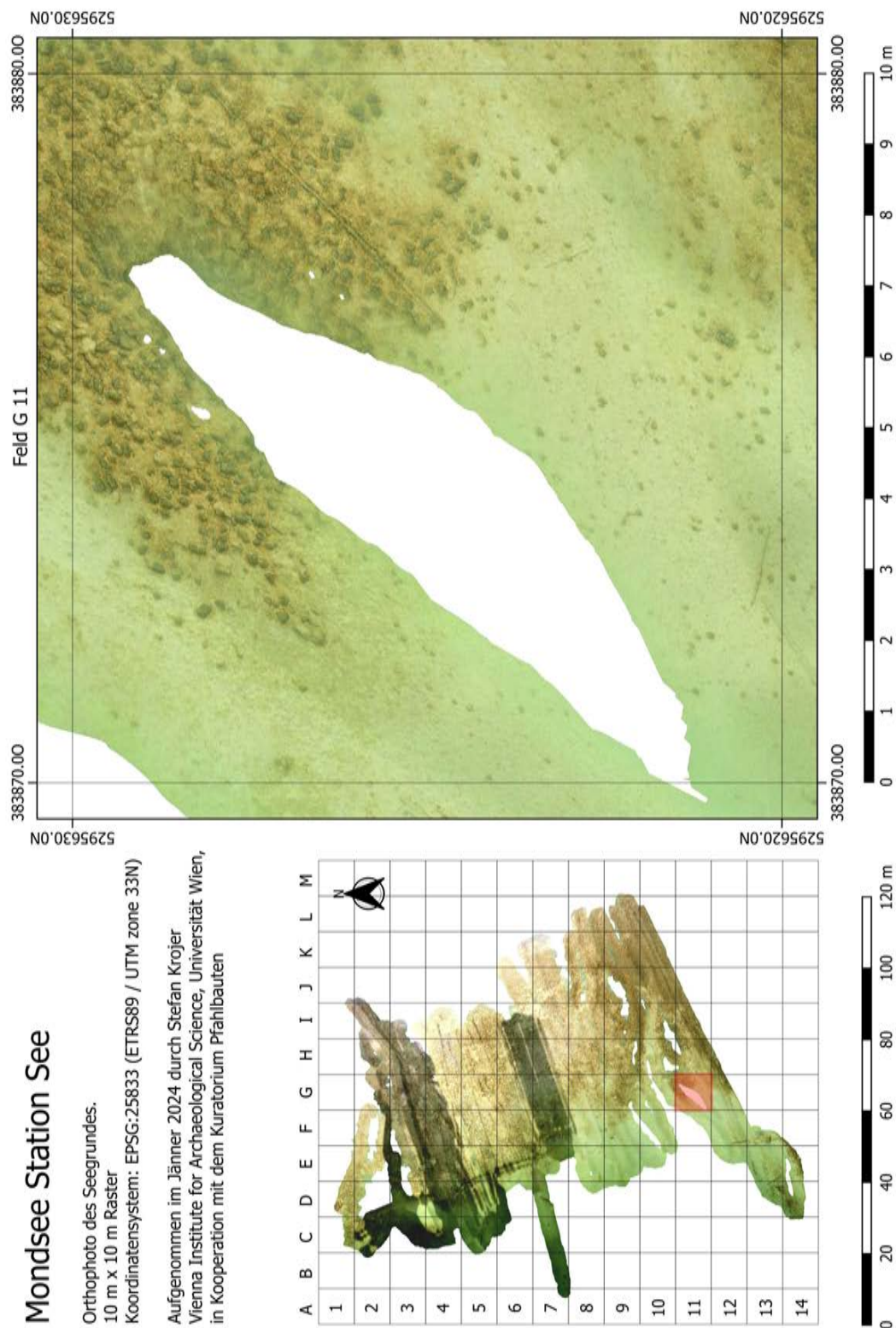


Abb. A.80.: Mondsee Station See: Feld G11

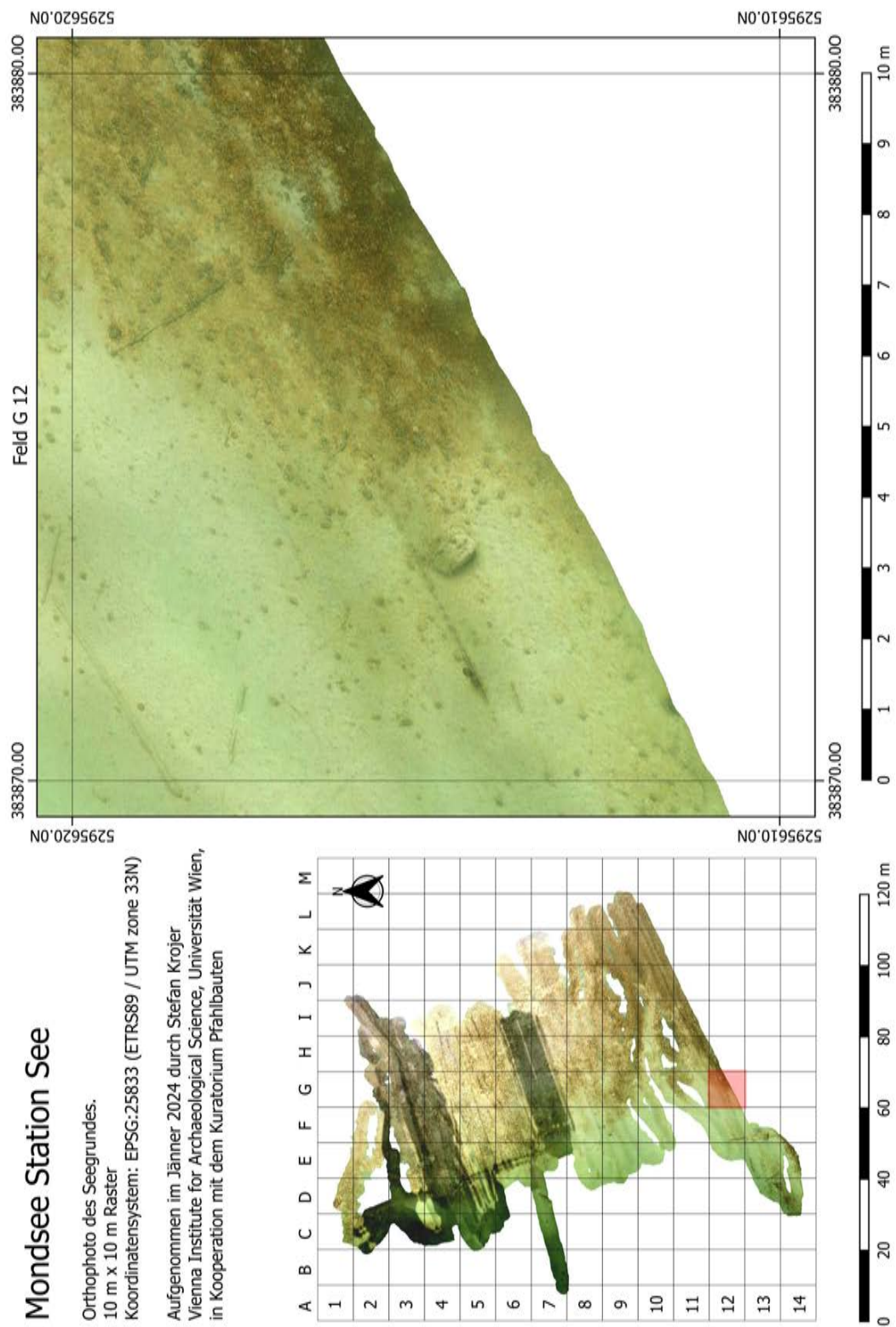


Abb. A.81.: Mondsee Station See: Feld G12

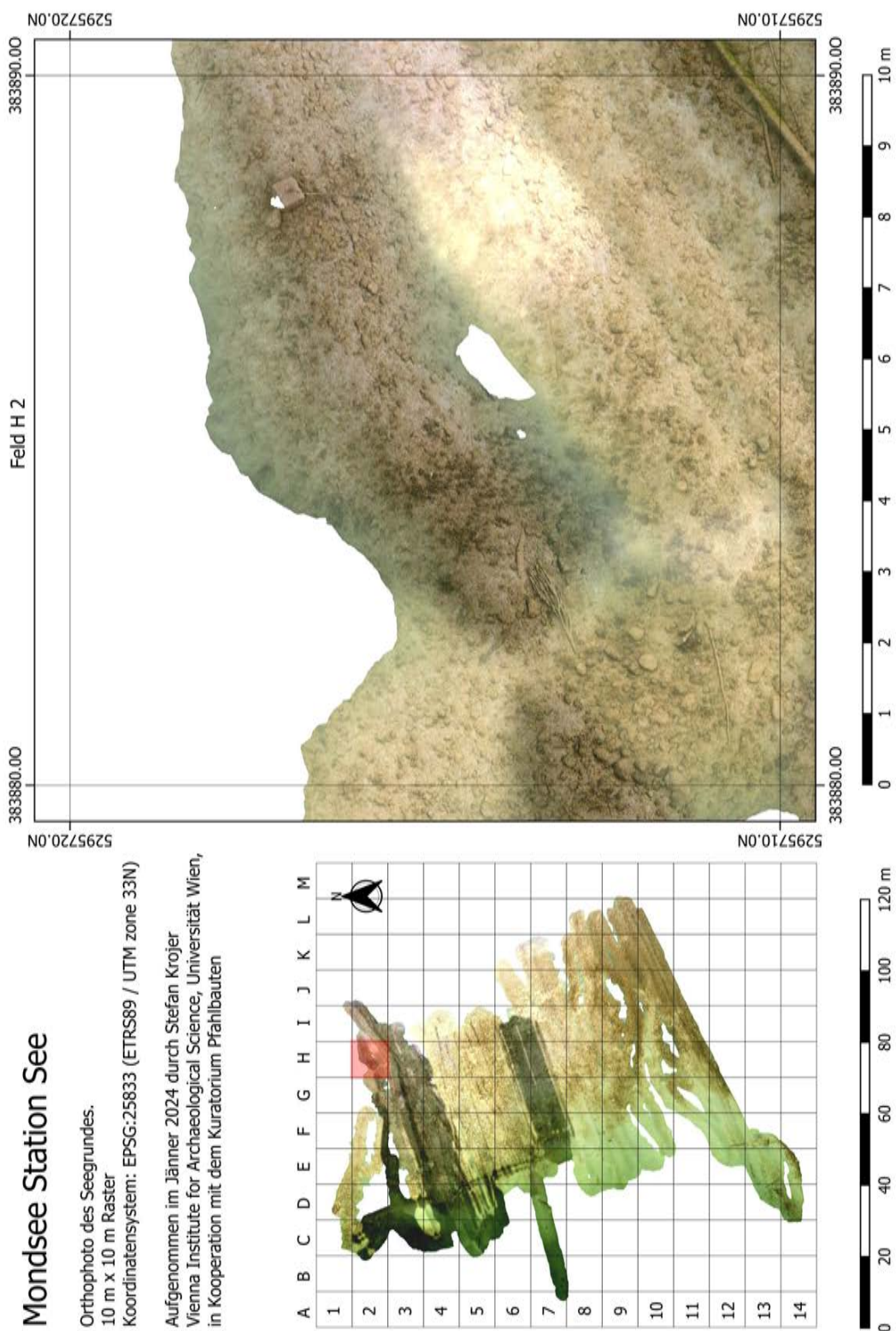


Abb. A.82.: Mondsee Station See: Feld H2

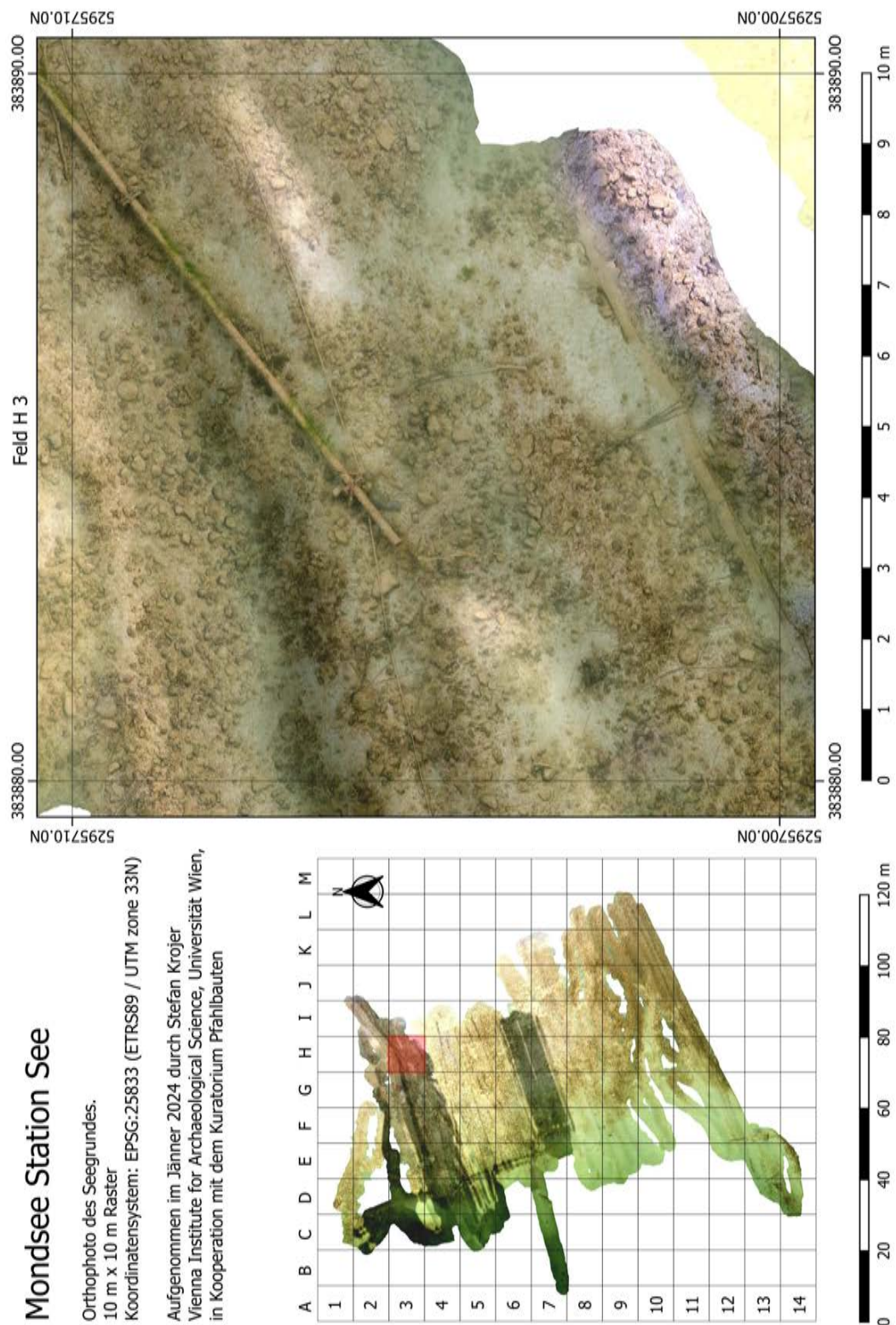


Abb. A.83.: Mondsee Station See: Feld H3

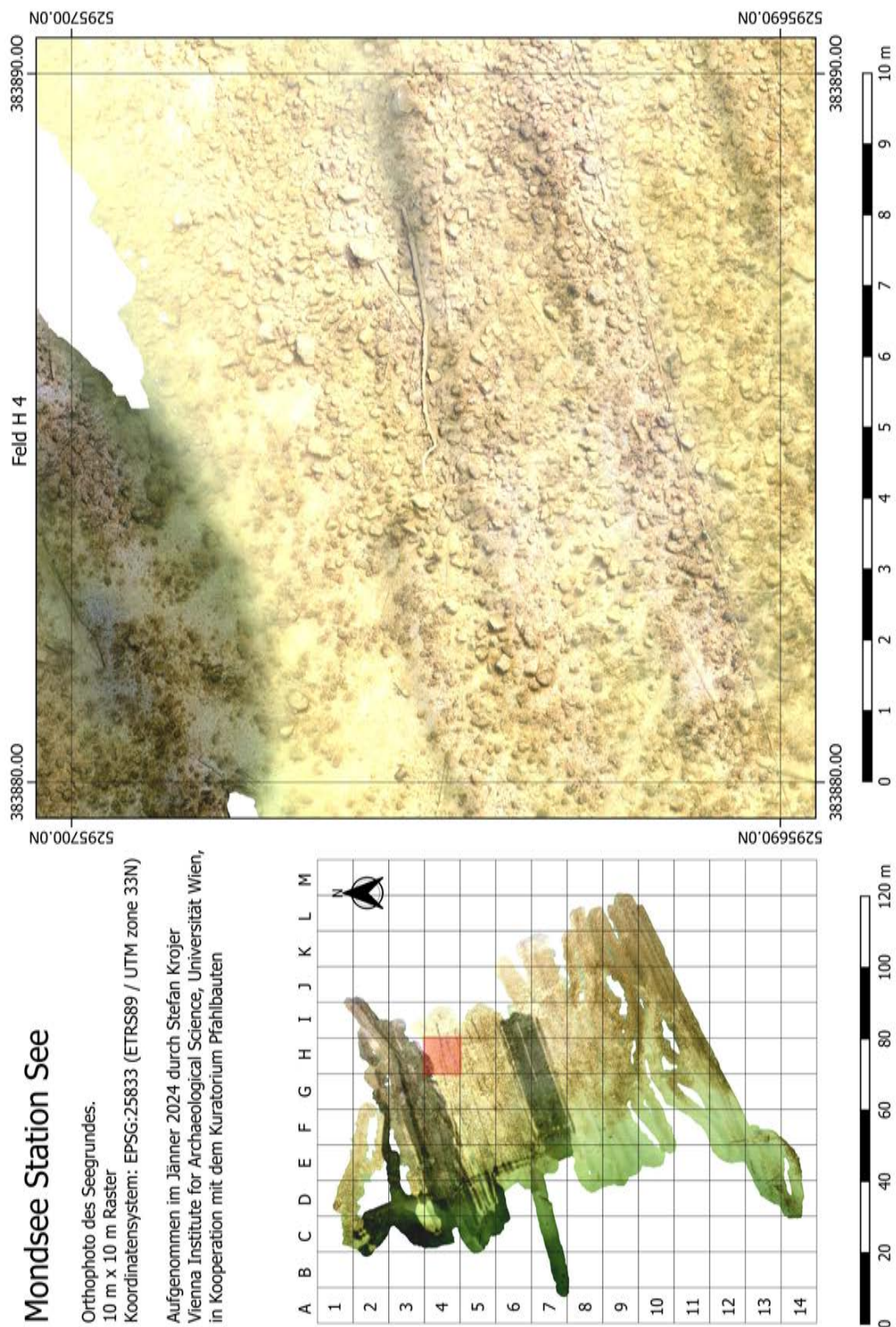


Abb. A.84.: Mondsee Station See: Feld H4

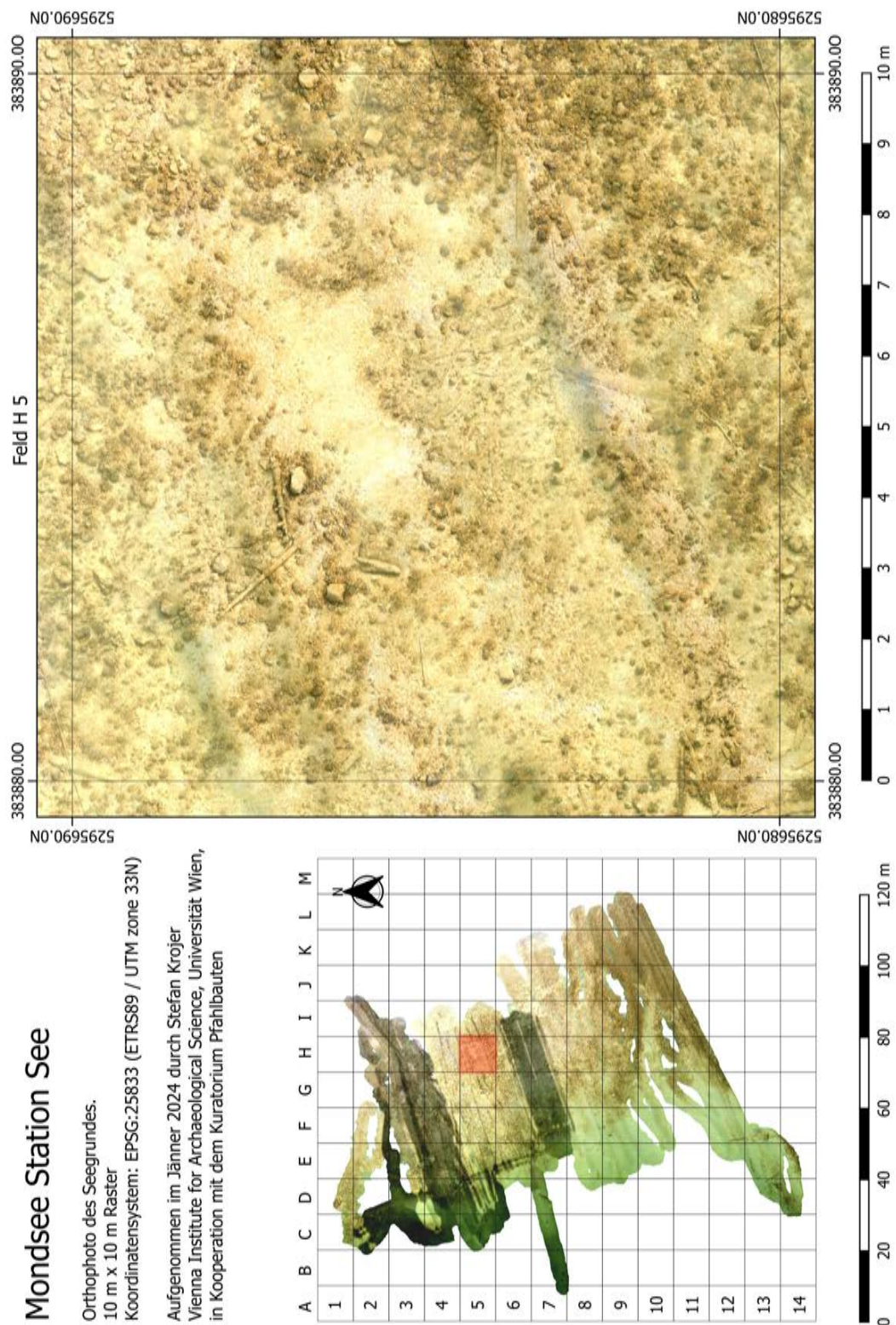


Abb. A.85.: Mondsee Station See: Feld H5

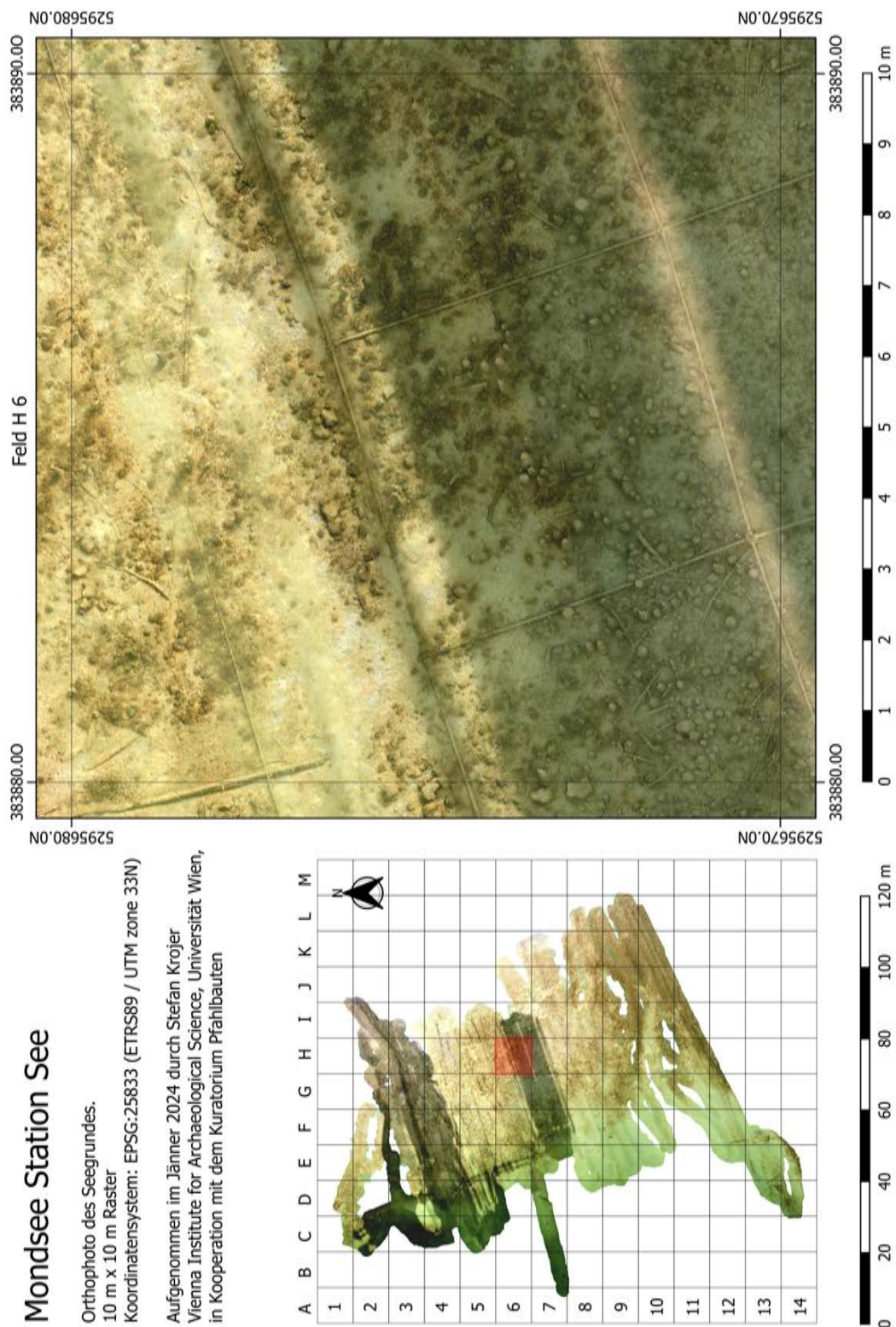


Abb. A.86.: Mondsee Station See: Feld H6

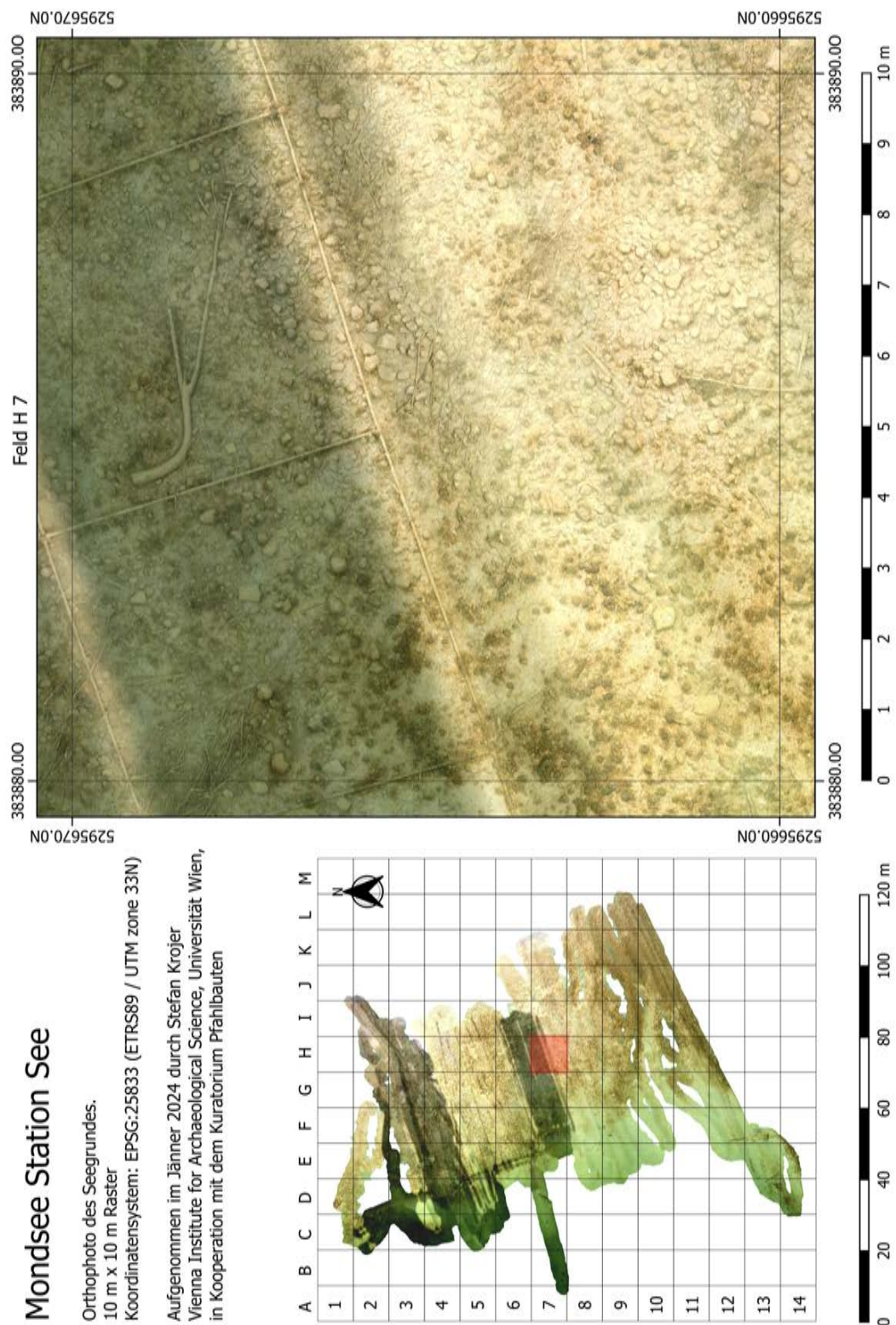


Abb. A.87.: Mondsee Station See: Feld H7

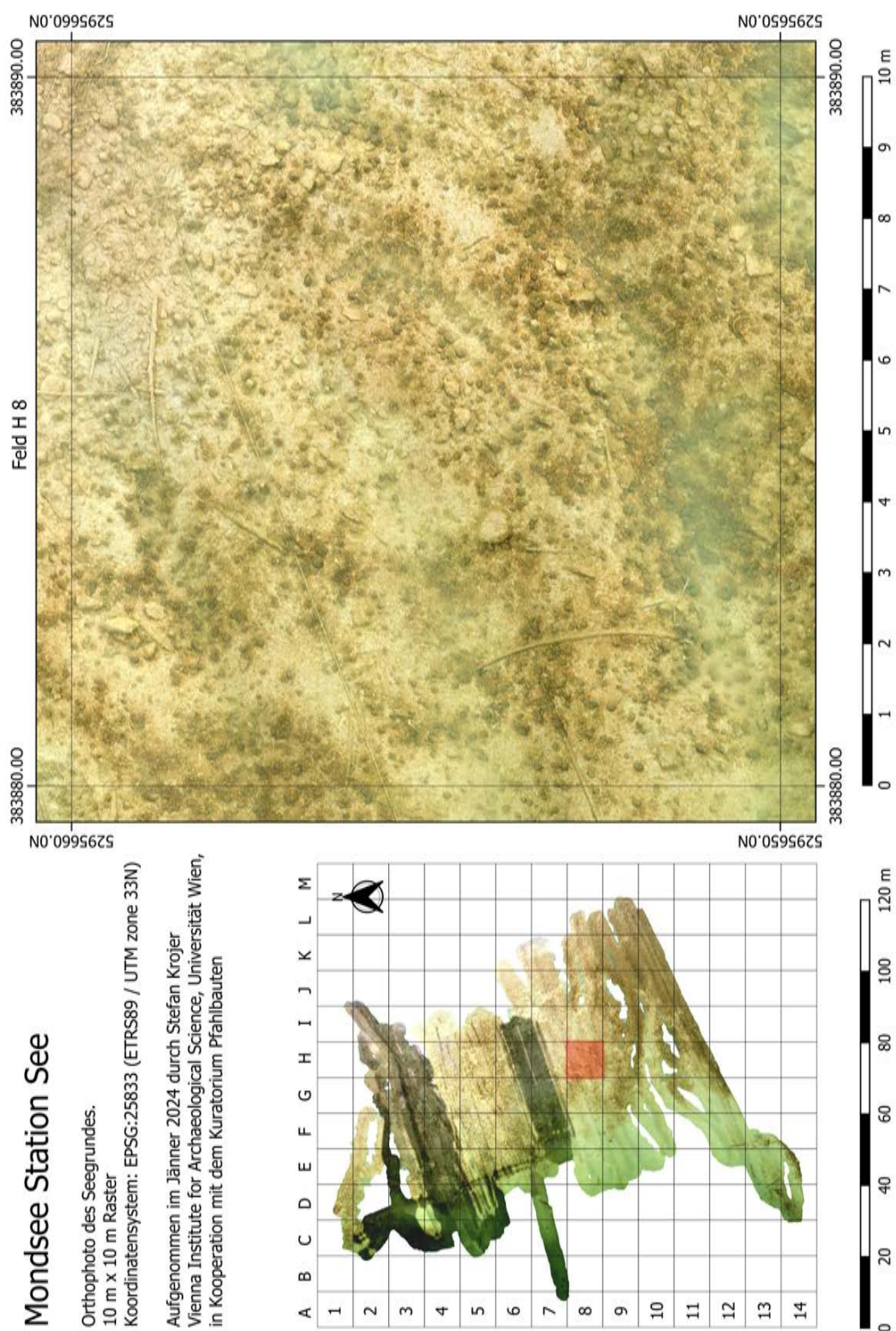


Abb. A.88.: Mondsee Station See: Feld H8

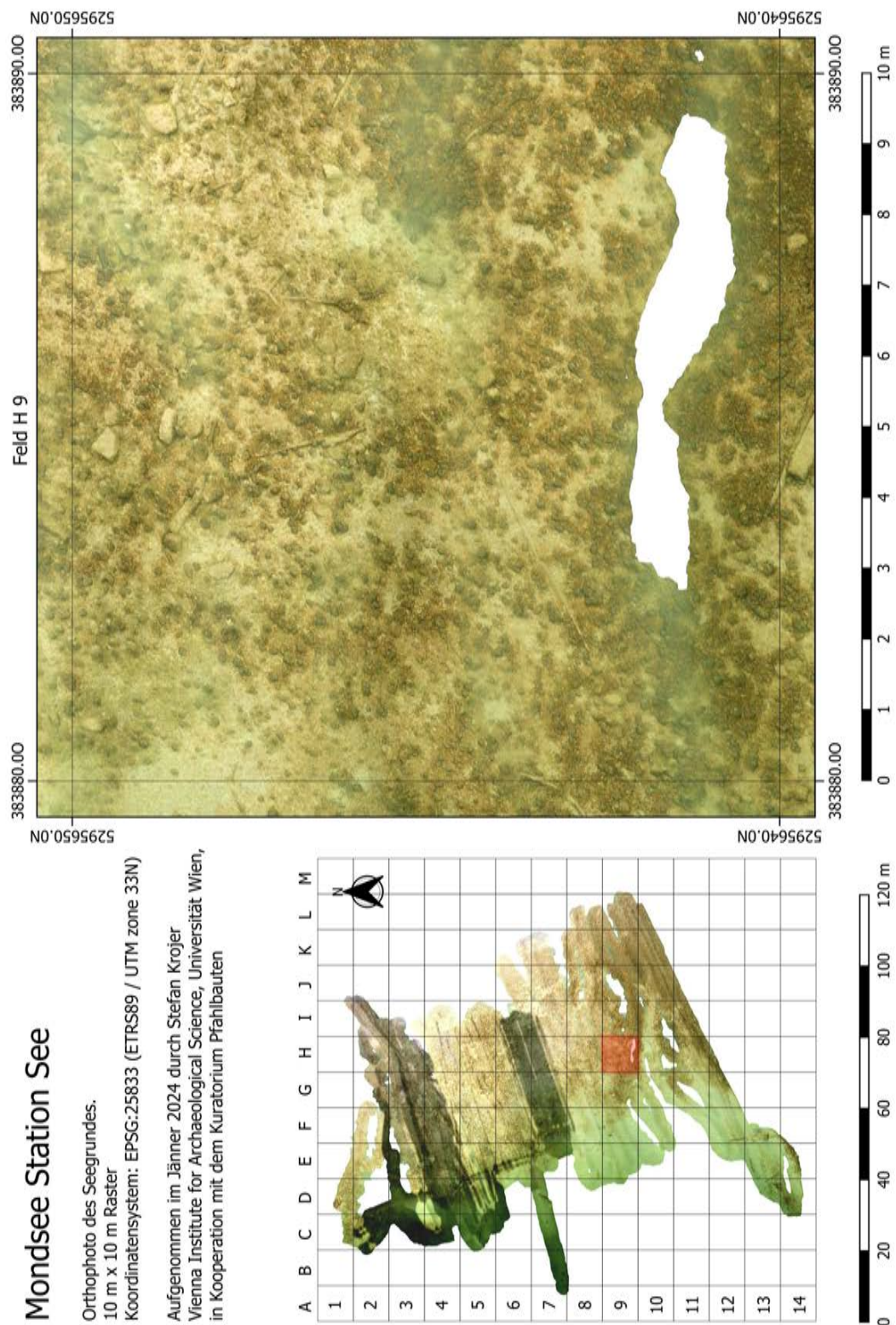


Abb. A.89.: Mondsee Station See: Feld H9

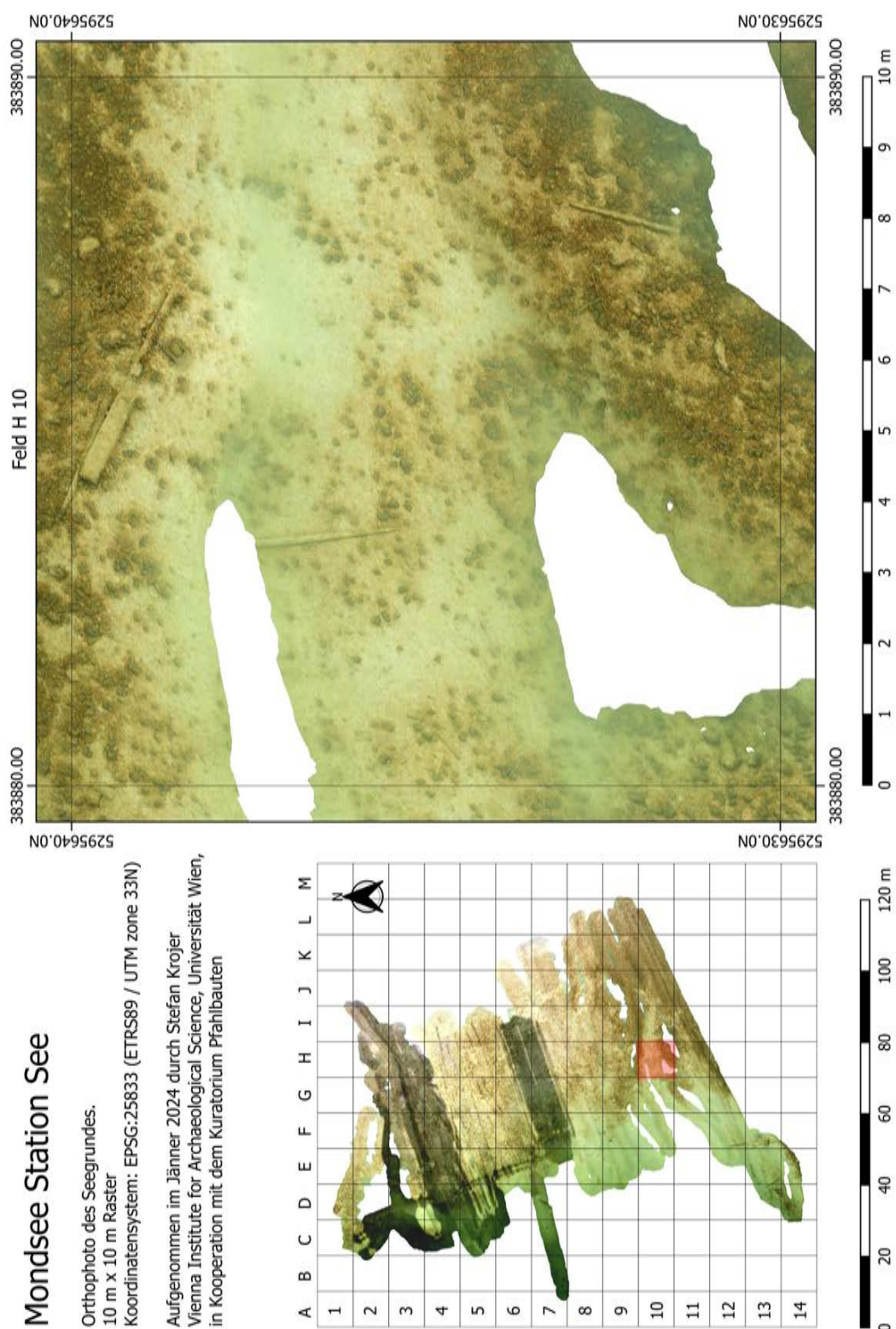


Abb. A.90.: Mondsee Station See: Feld H10

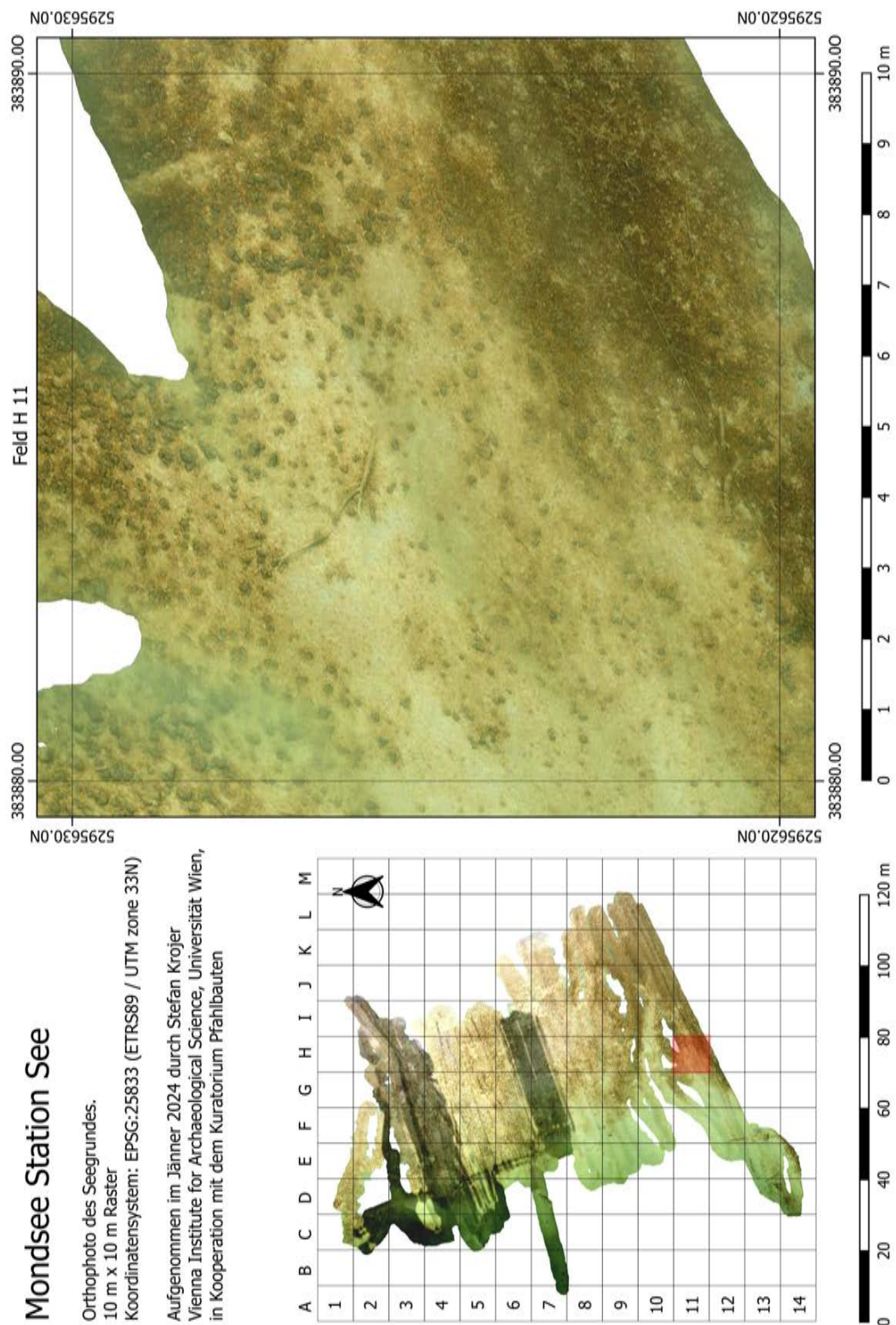


Abb. A.91.: Mondsee Station See: Feld H11

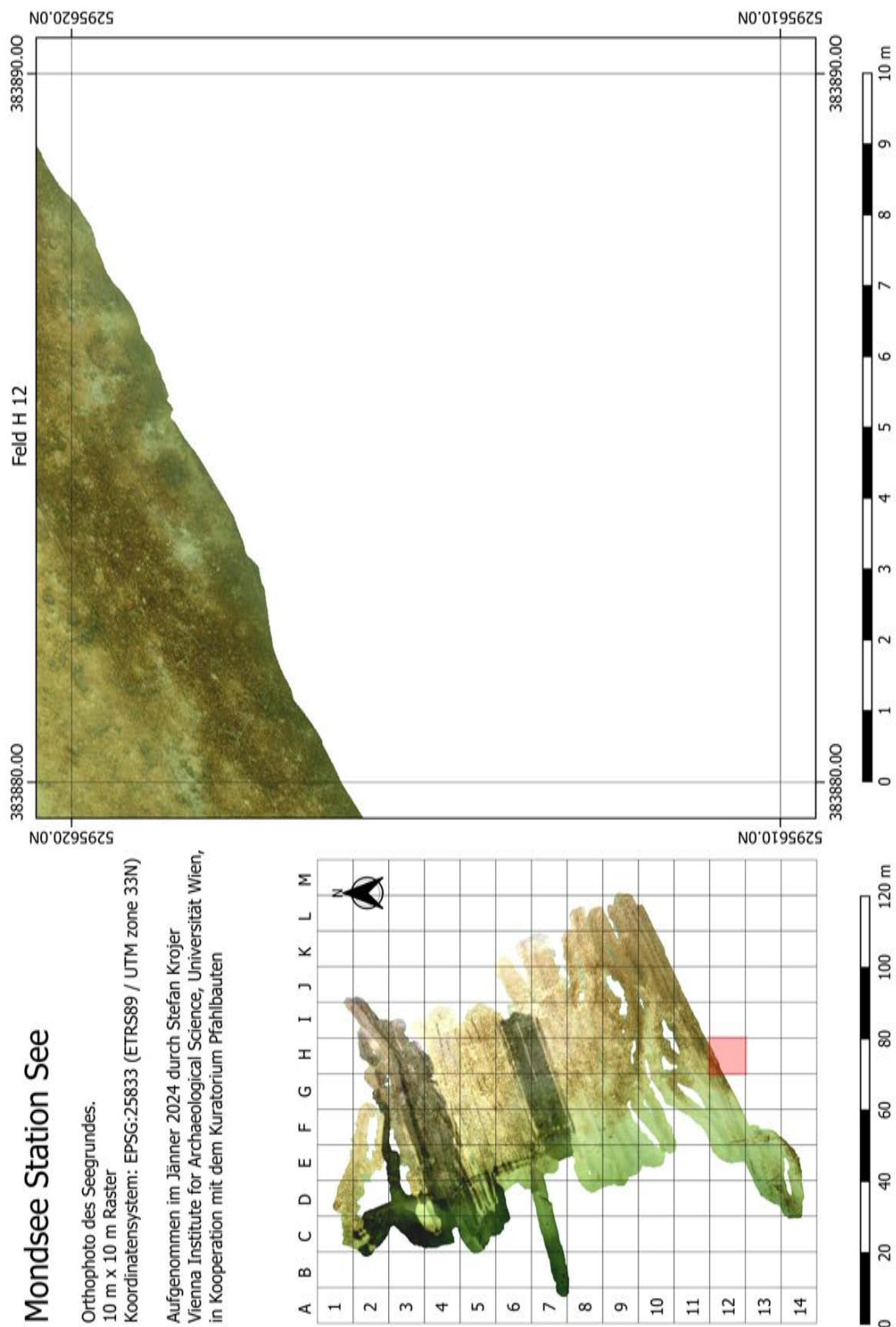


Abb. A.92.: Mondsee Station See: Feld H12

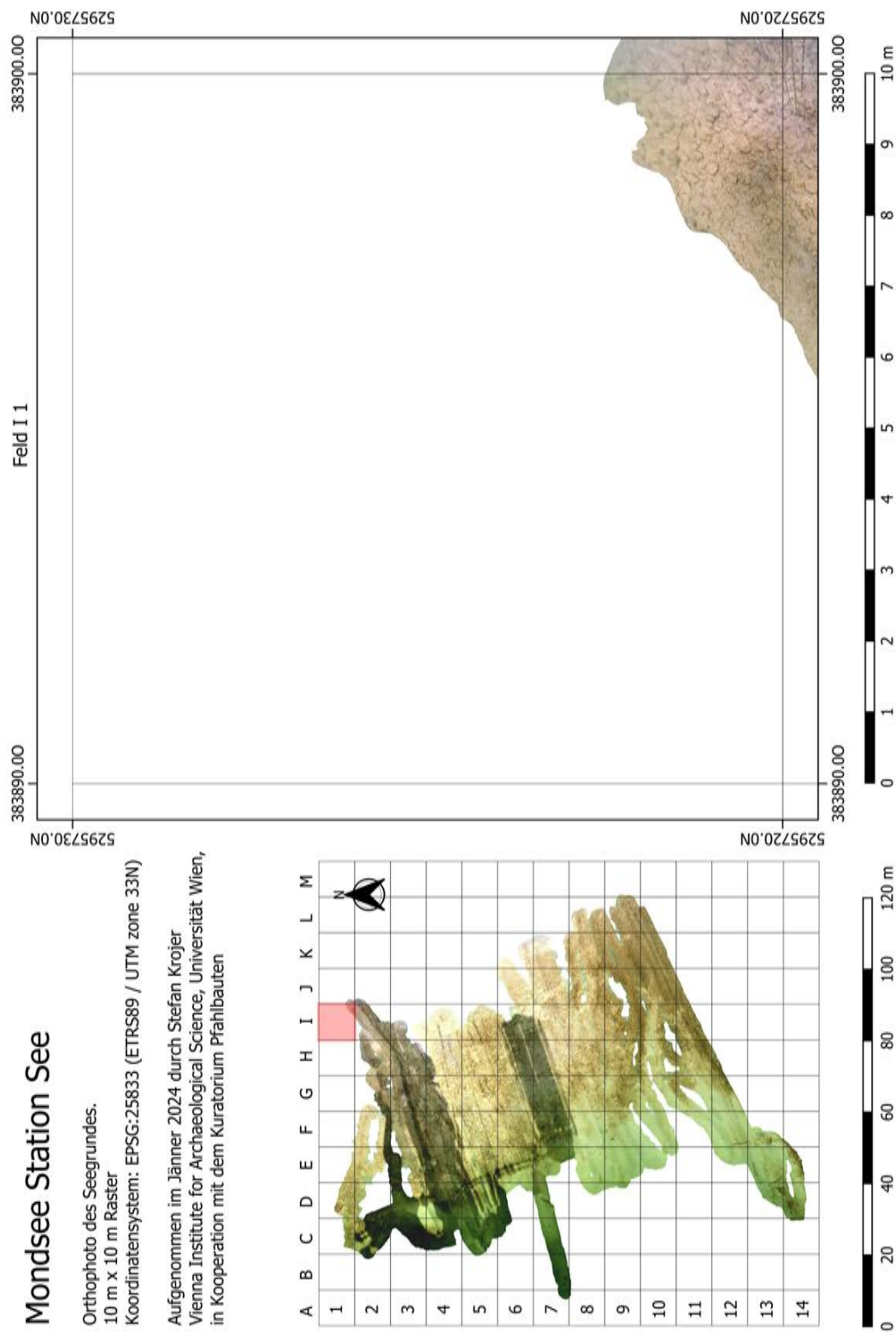


Abb. A.93.: Mondsee Station See: Feld I1

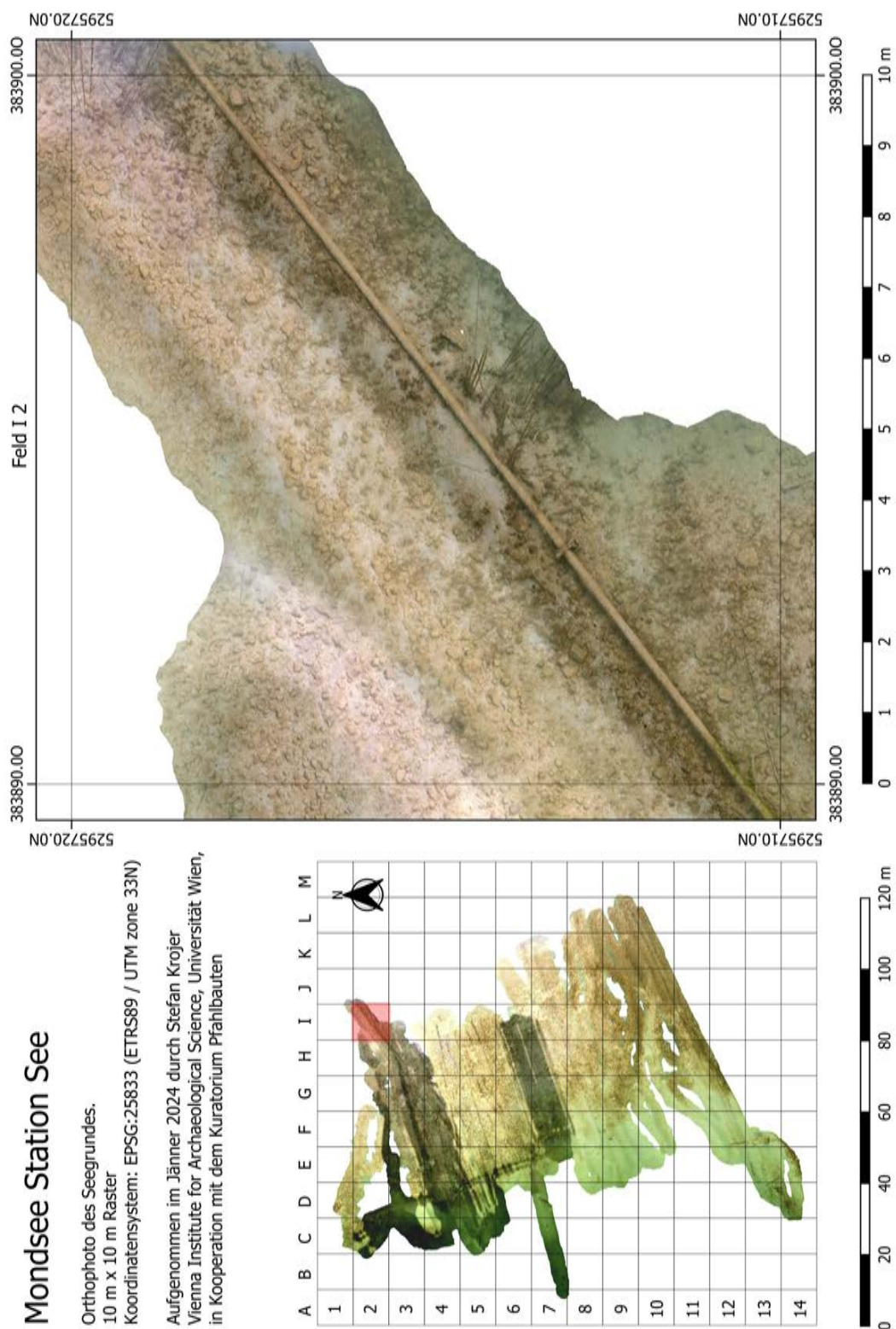


Abb. A.94.: Mondsee Station See: Feld I2

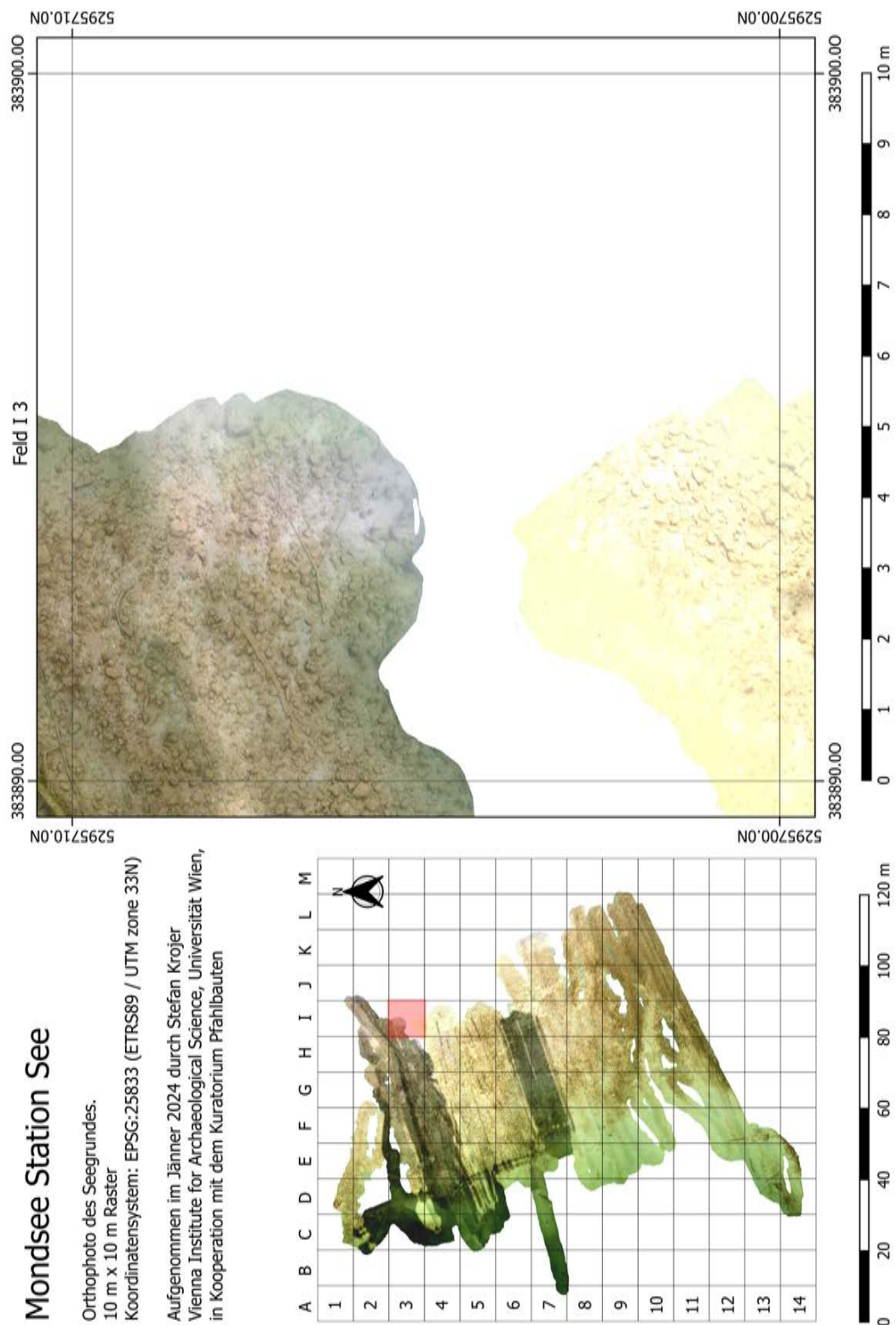


Abb. A.95.: Mondsee Station See: Feld I3

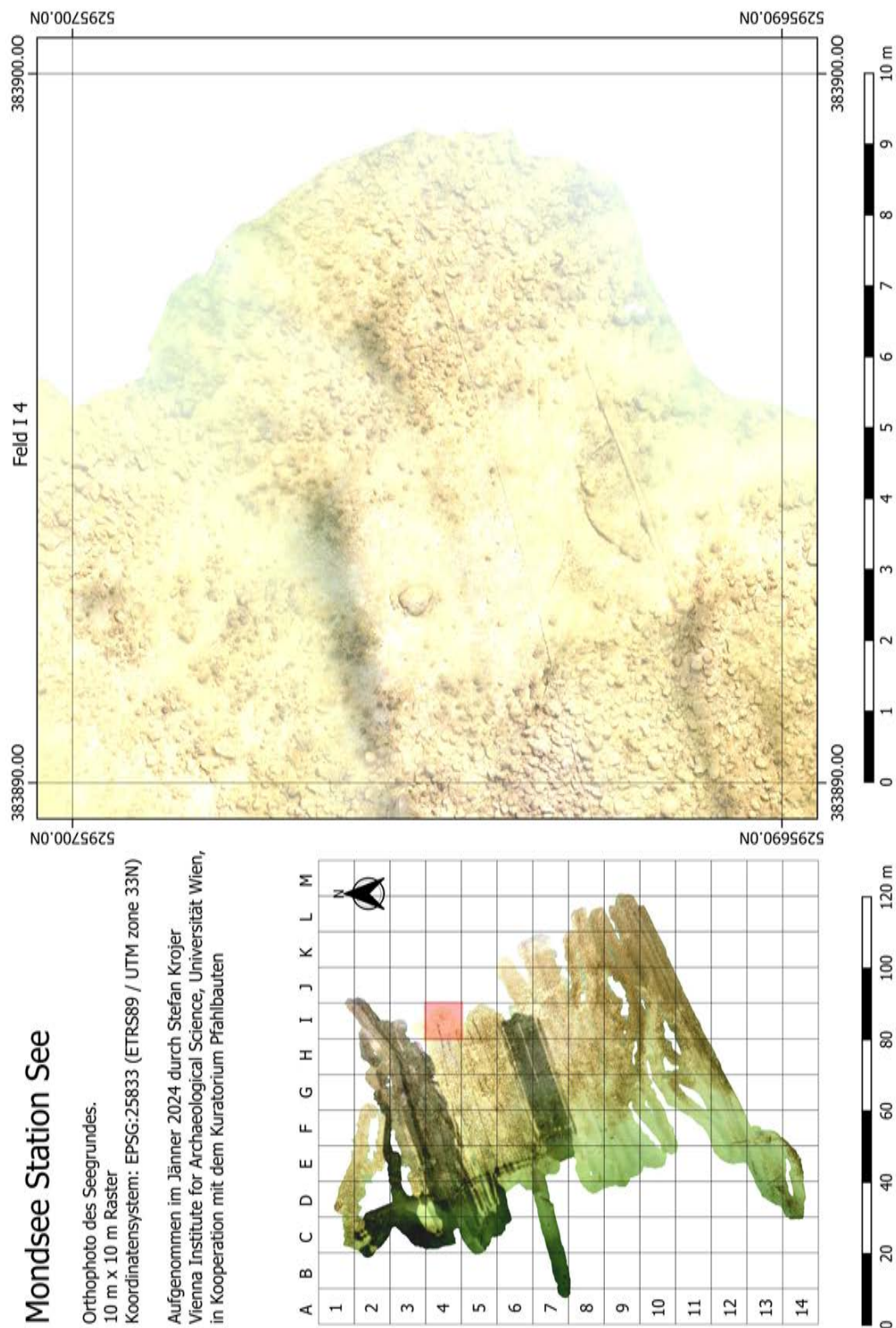


Abb. A.96.: Mondsee Station See: Feld I4

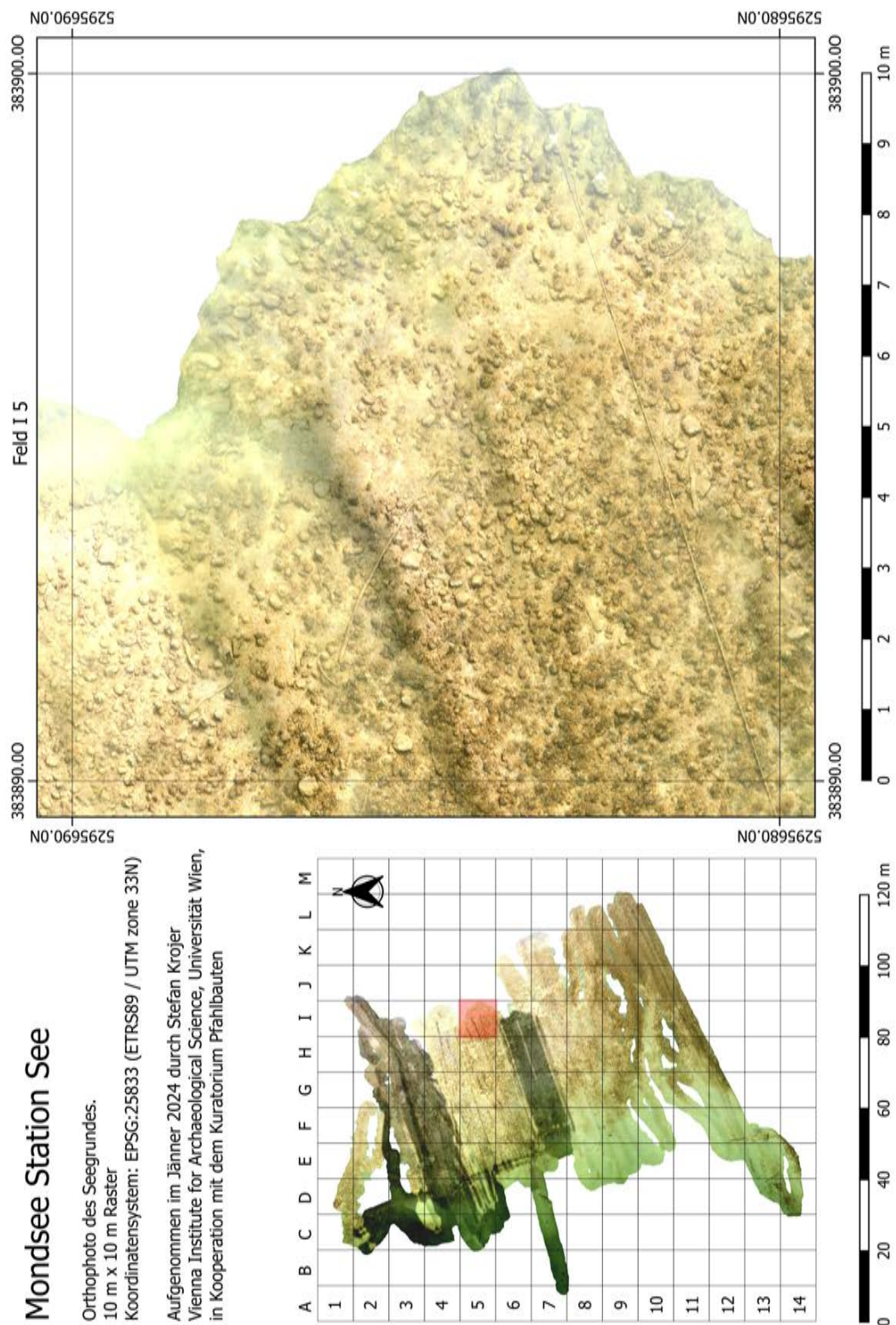


Abb. A.97.: Mondsee Station See: Feld I5

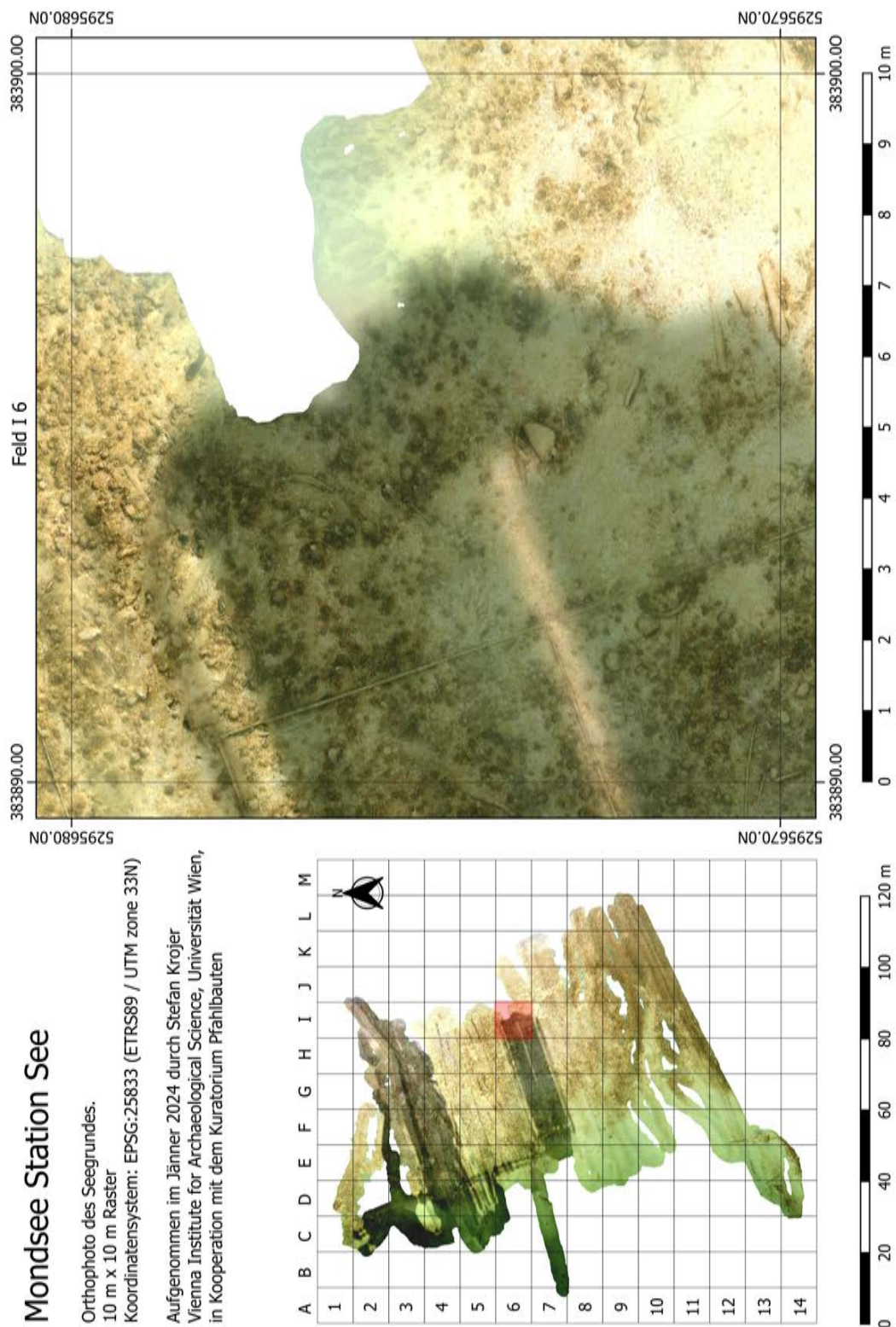


Abb. A.98.: Mondsee Station See: Feld I6

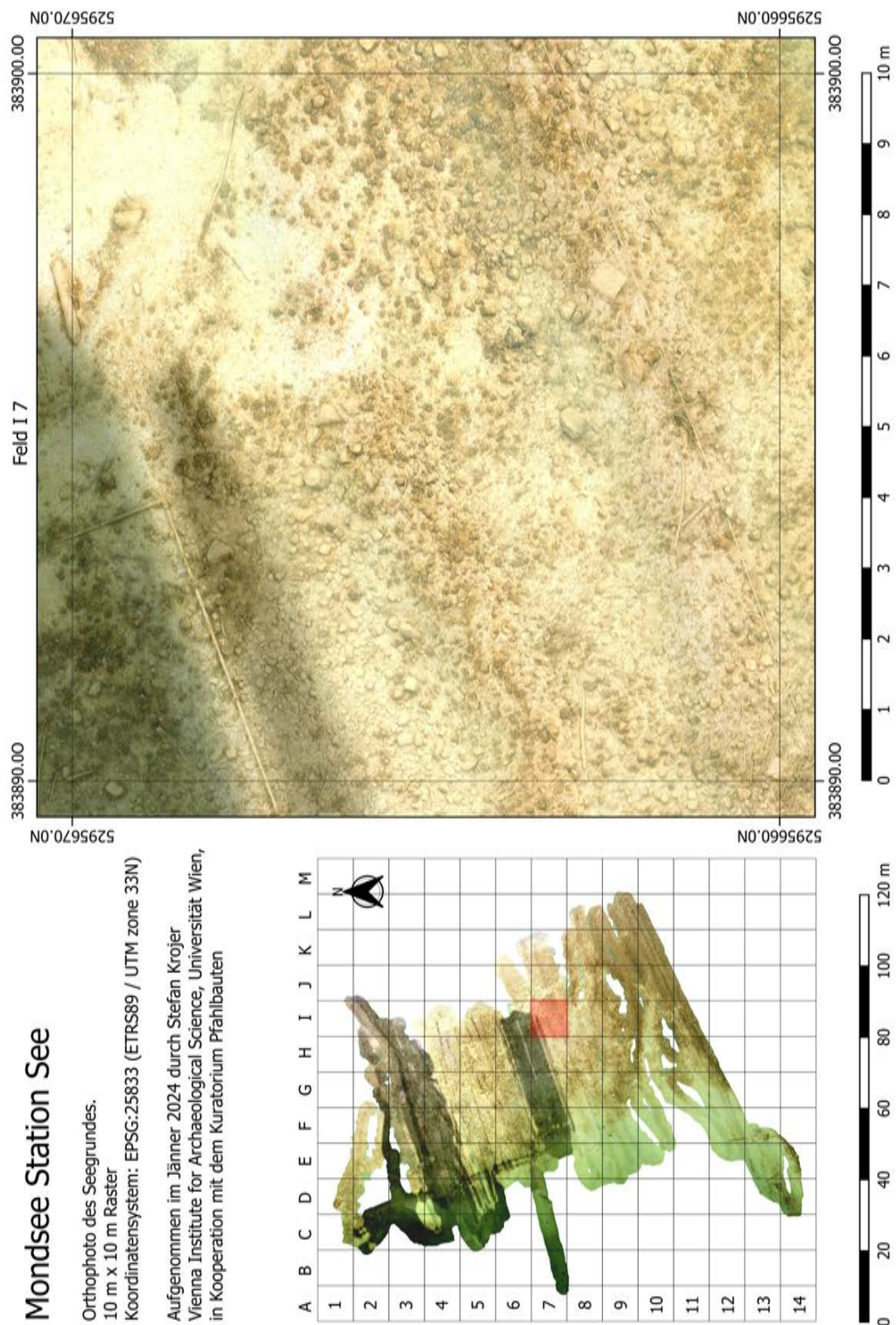


Abb. A.99.: Mondsee Station See: Feld I7

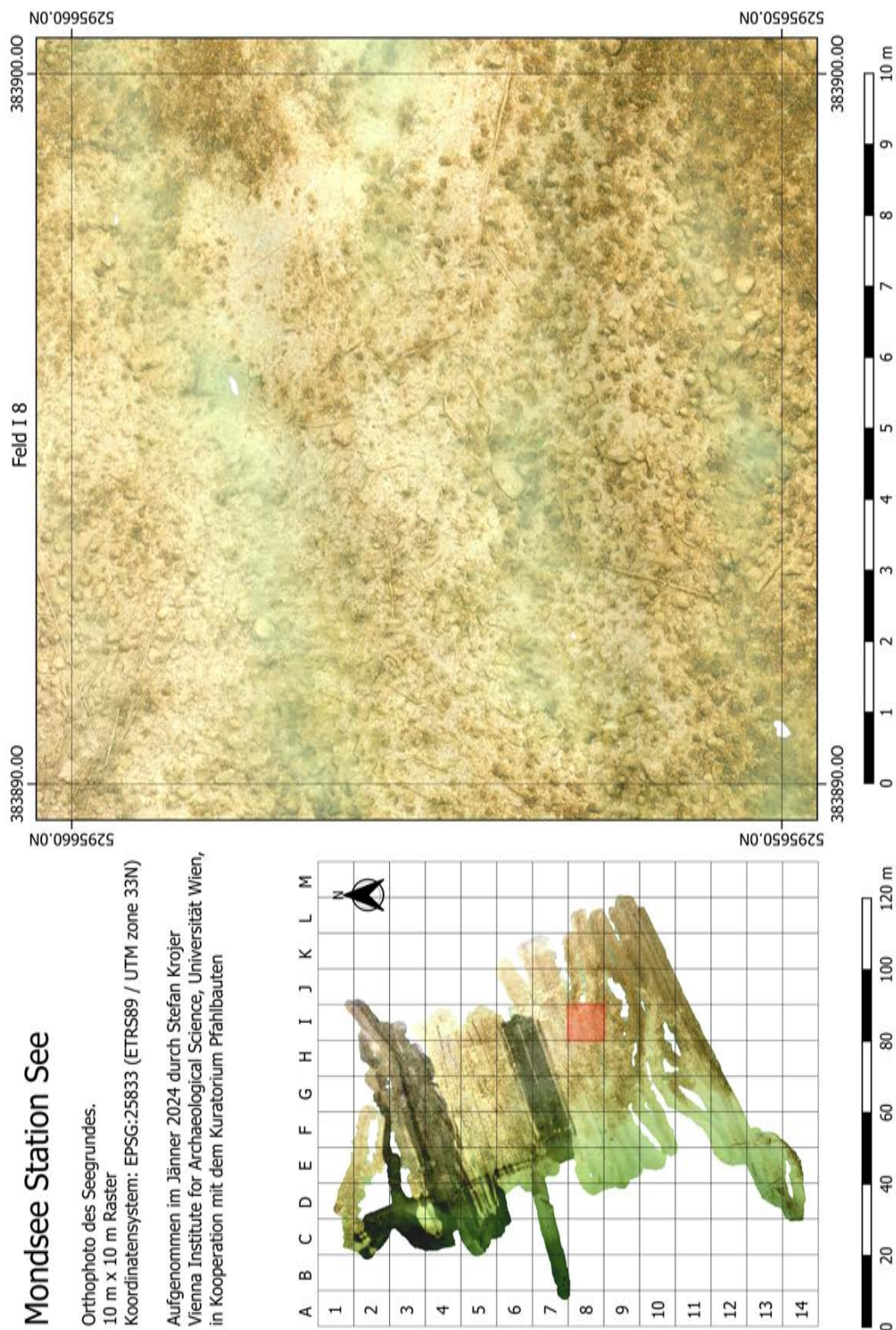


Abb. A.100.: Mondsee Station See: Feld I 8

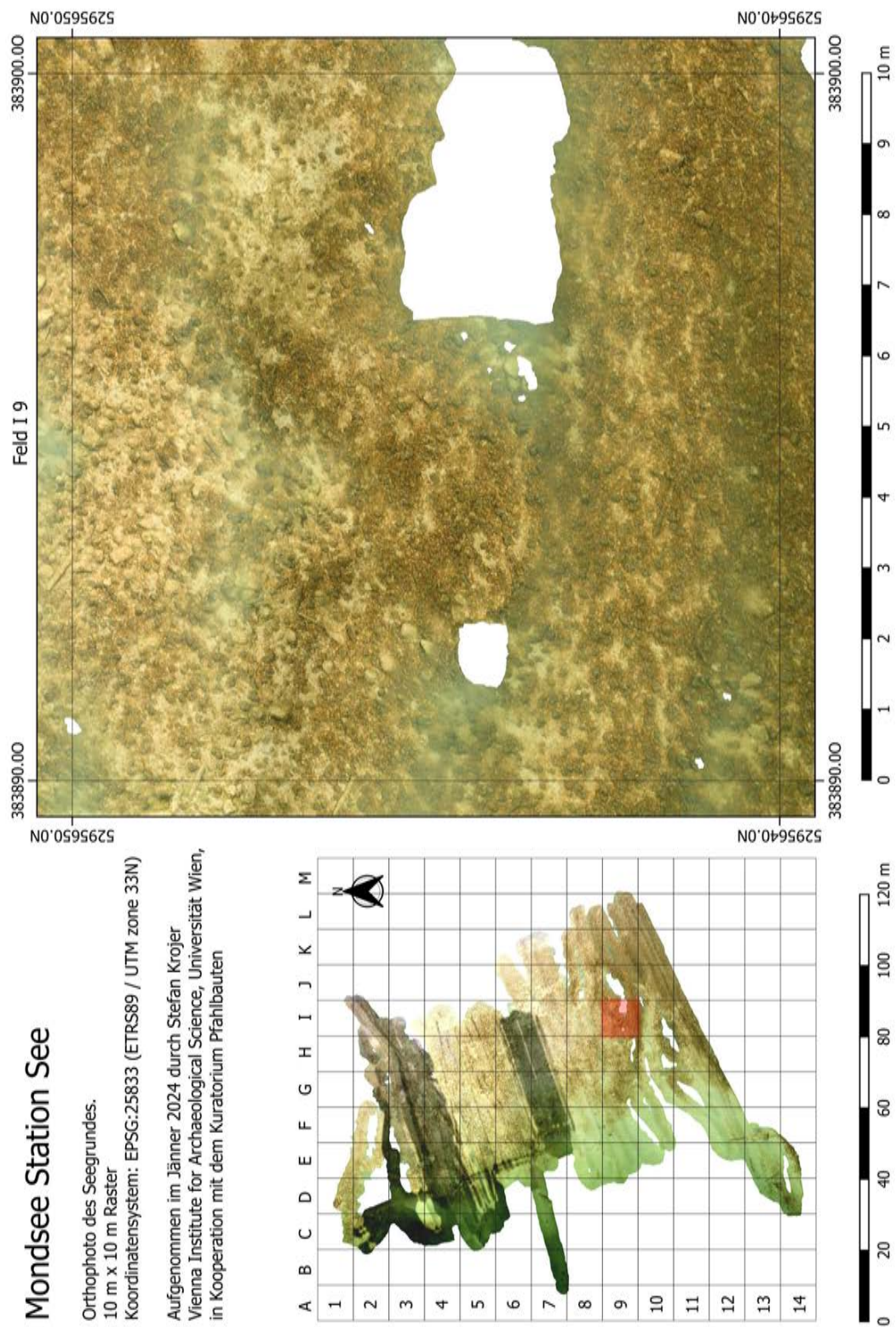


Abb. A.101.: Mondsee Station See: Feld I9

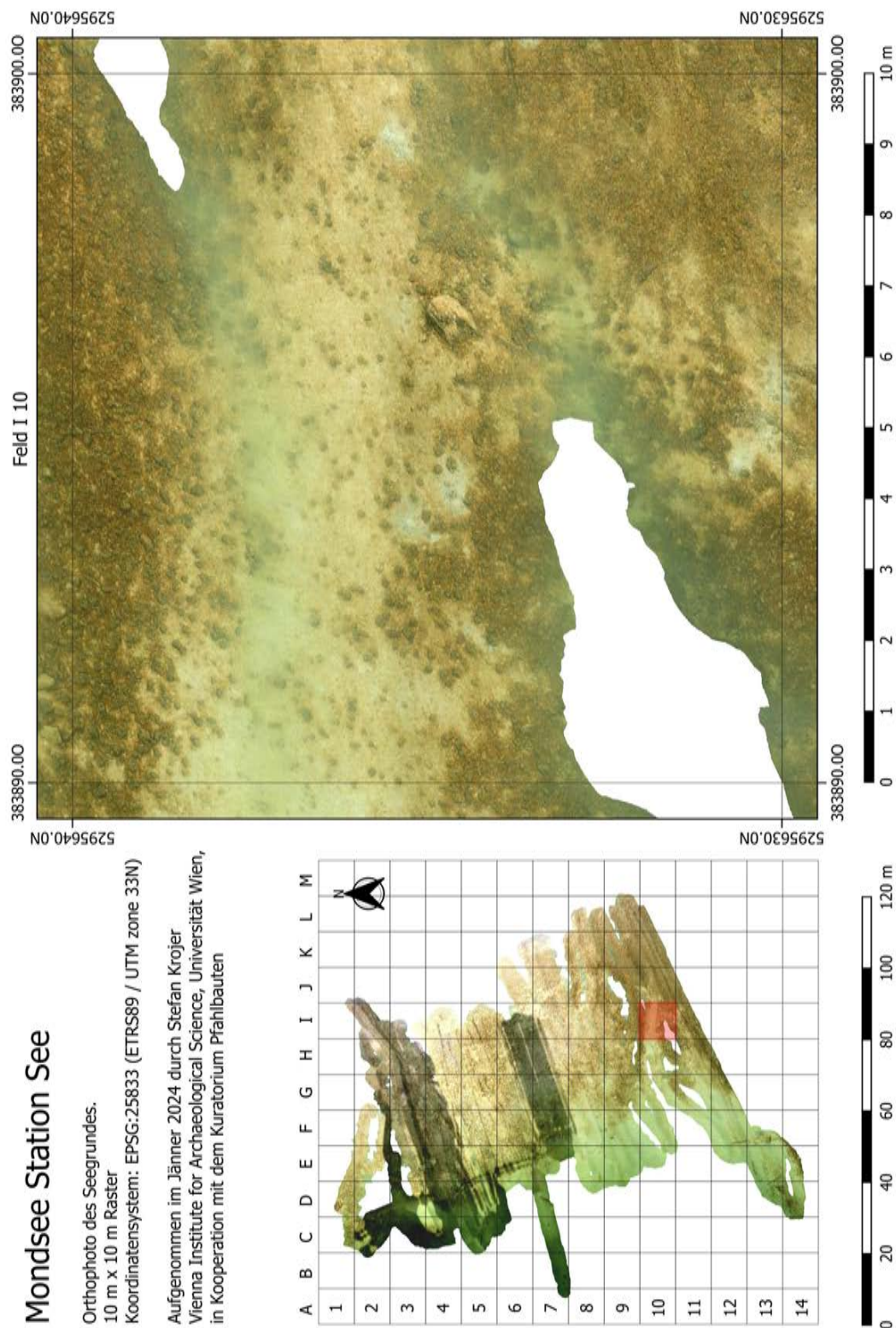


Abb. A.102.: Mondsee Station See: Feld I10

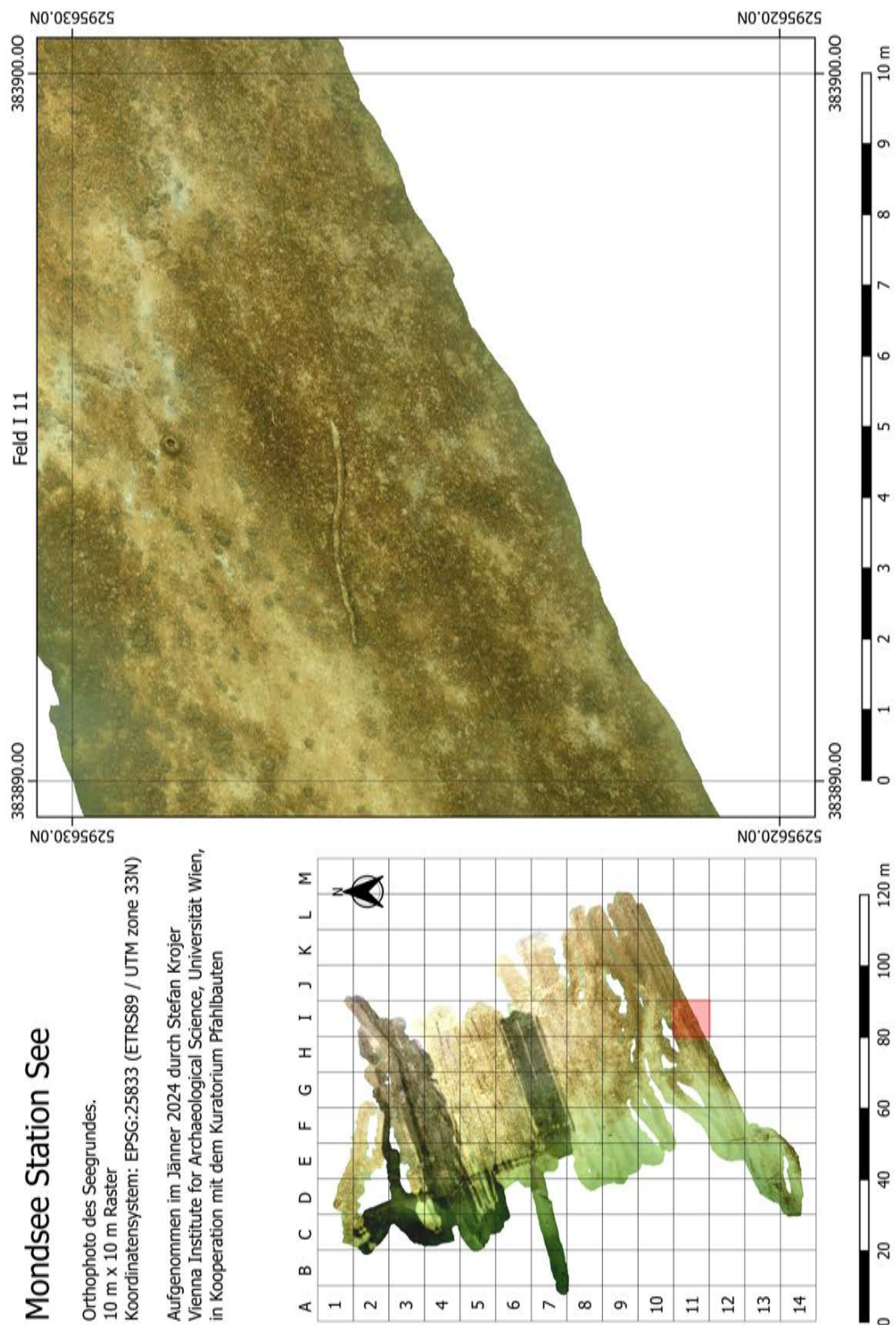


Abb. A.103.: Mondsee Station See: Feld I11

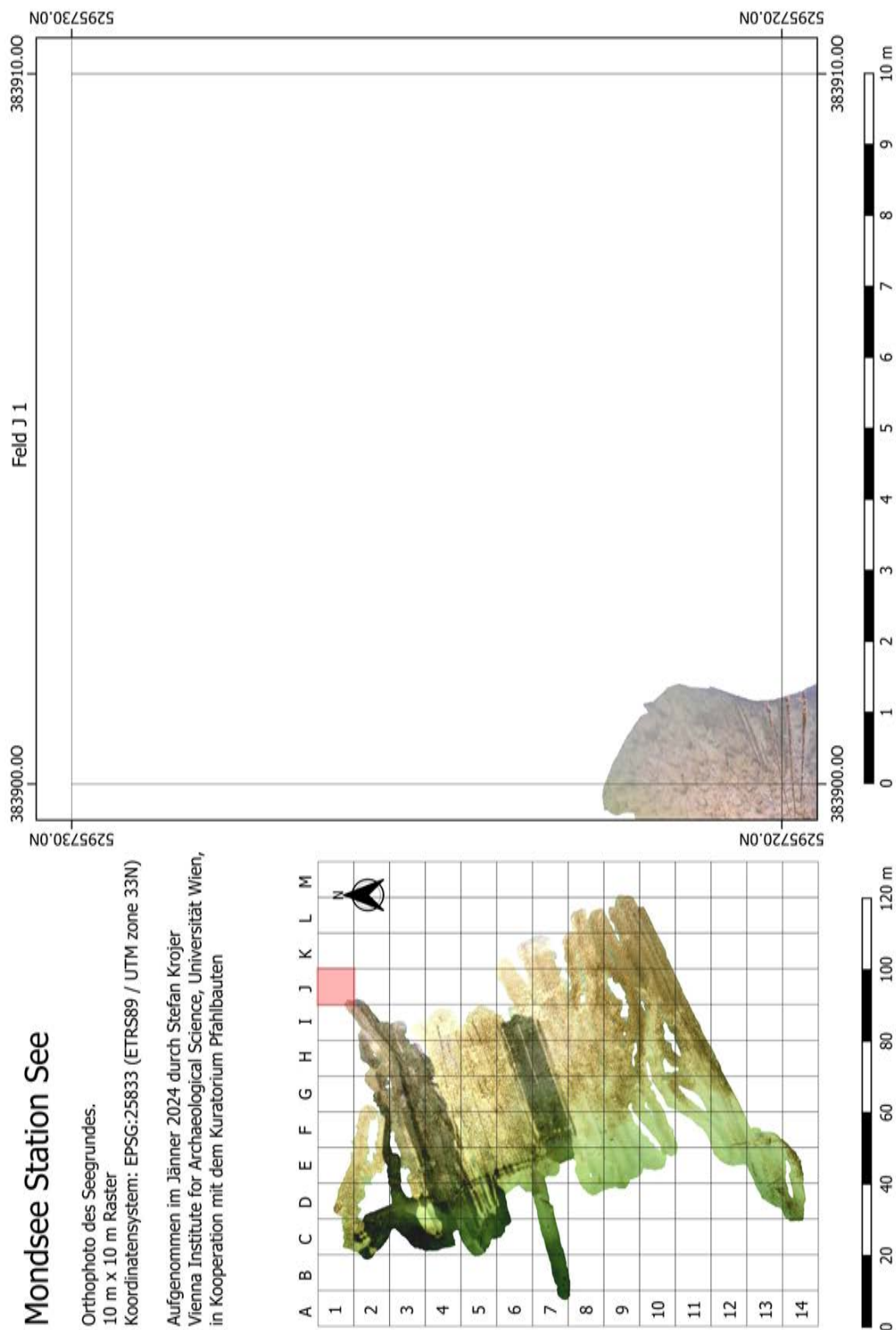


Abb. A.104.: Mondsee Station See: Feld J1

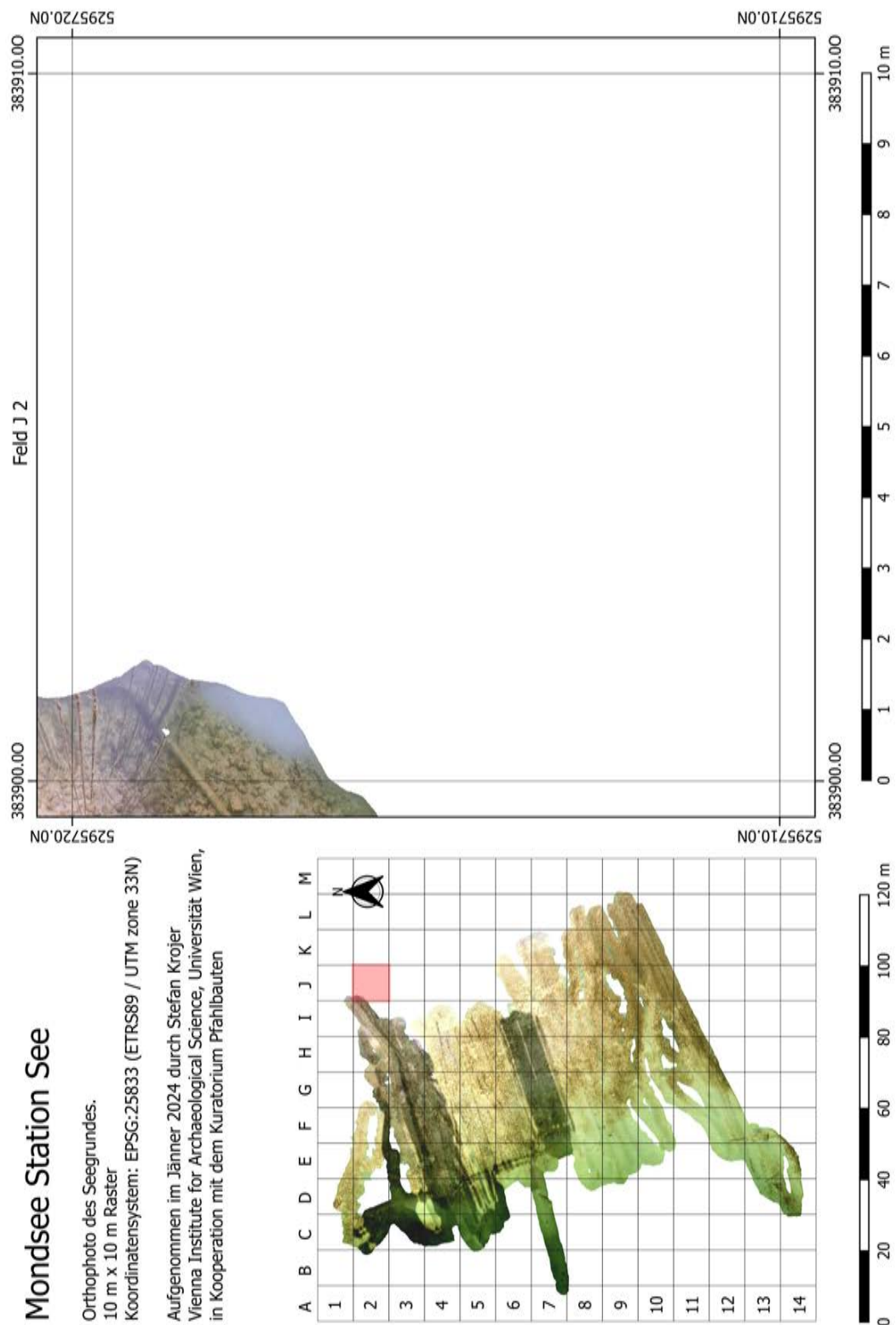


Abb. A.105.: Mondsee Station See: Feld J2

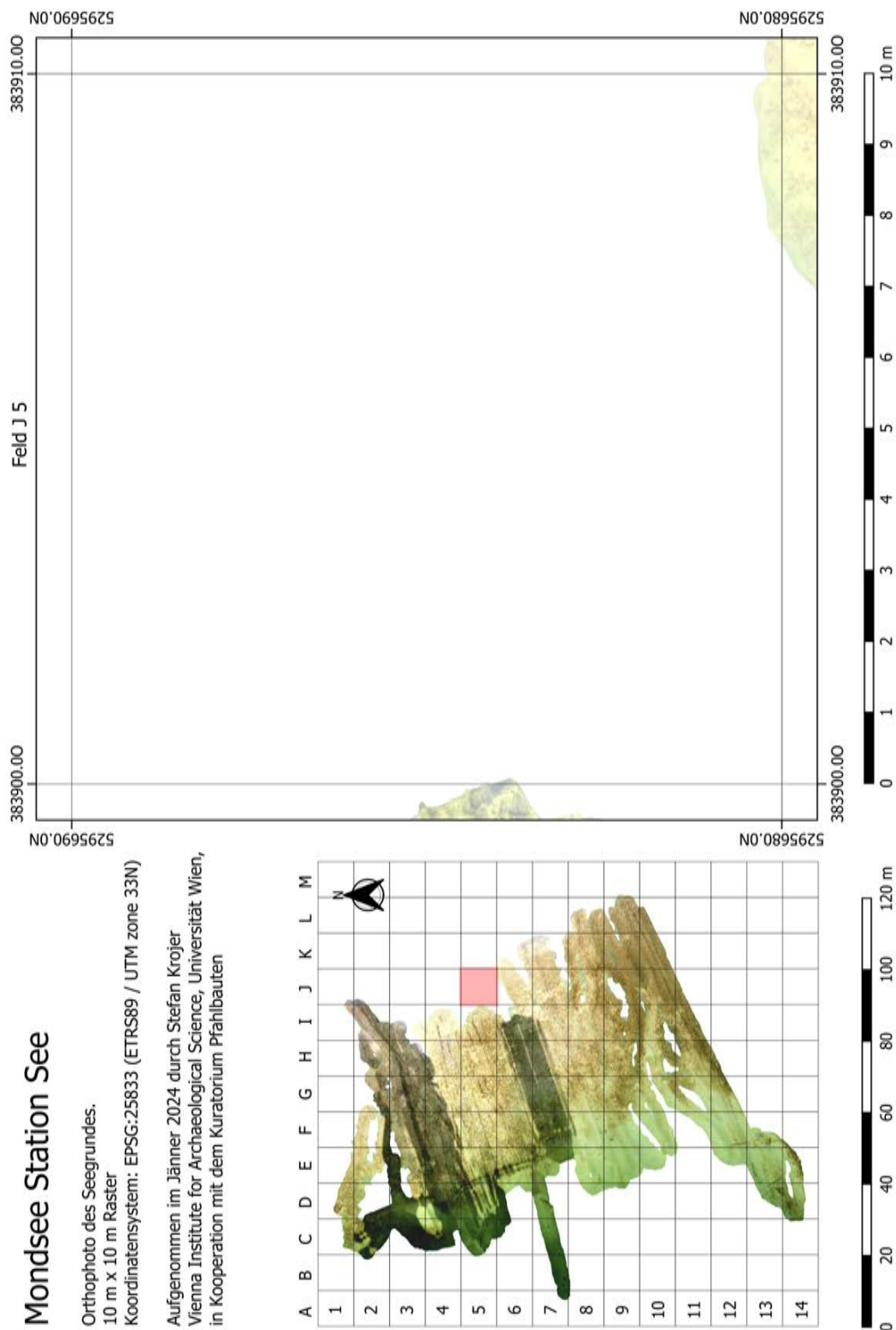


Abb. A.106.: Mondsee Station See: Feld J5

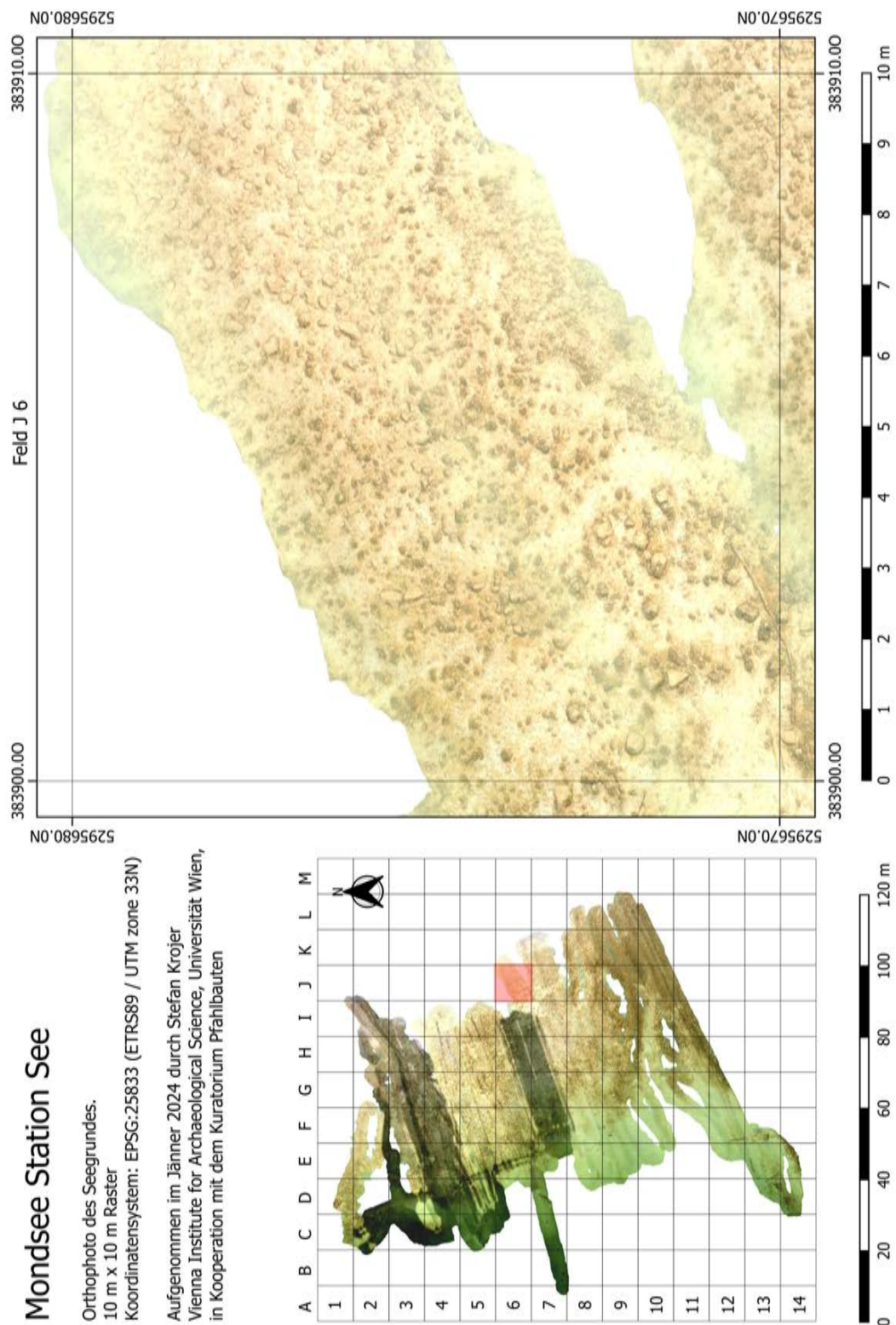


Abb. A.107.: Mondsee Station See: Feld J6

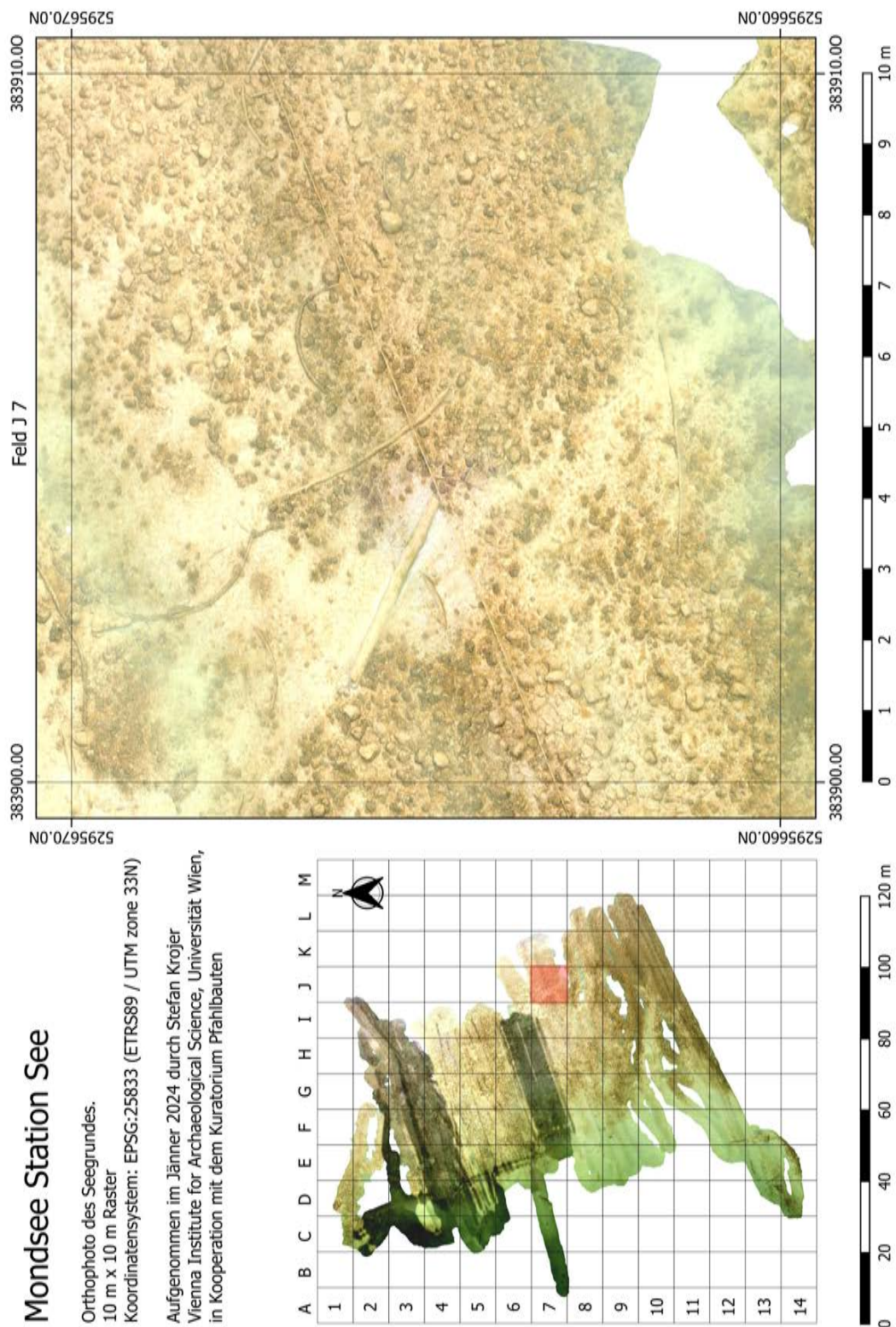


Abb. A.108.: Mondsee Station See: Feld J7

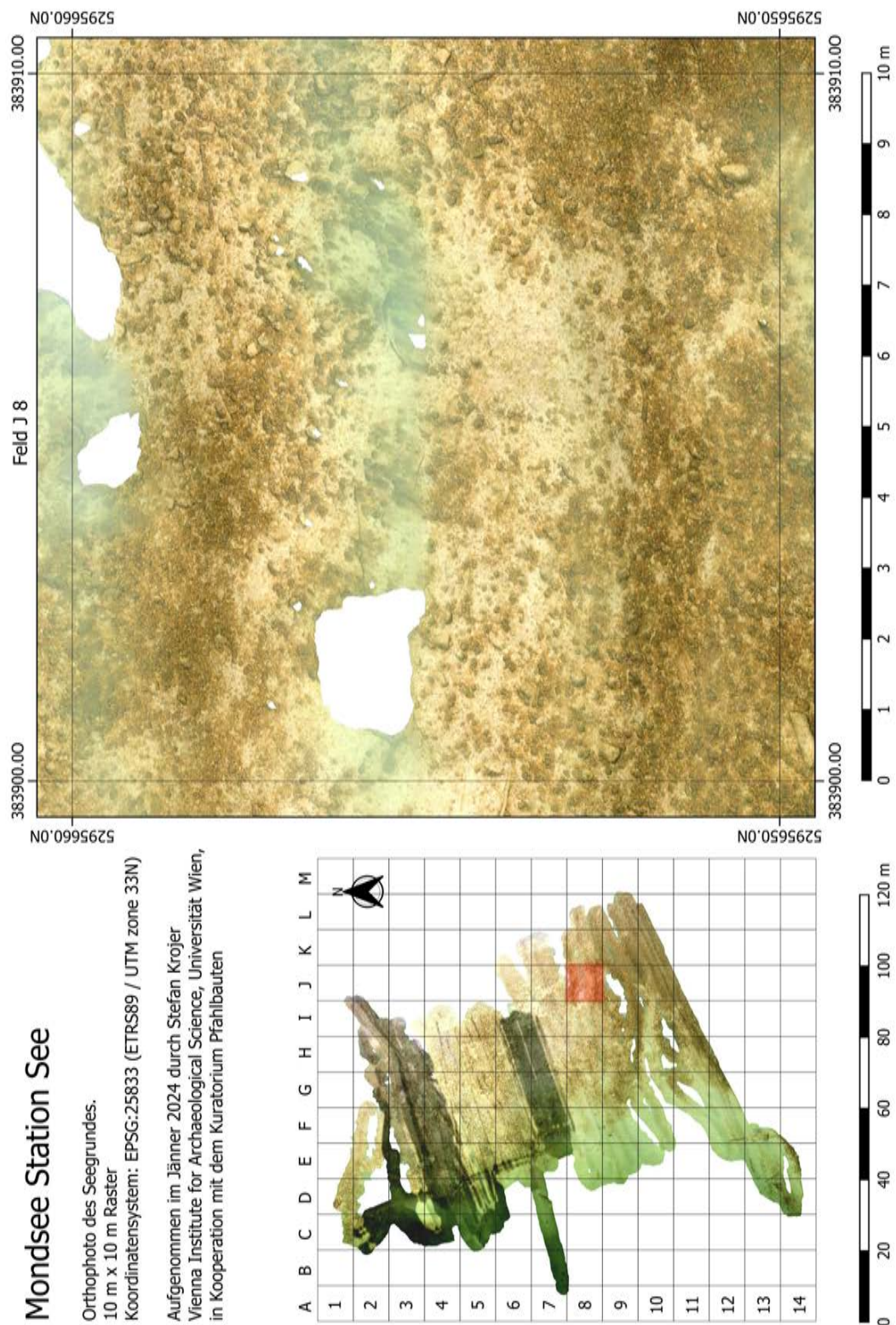


Abb. A.109.: Mondsee Station See: Feld J8

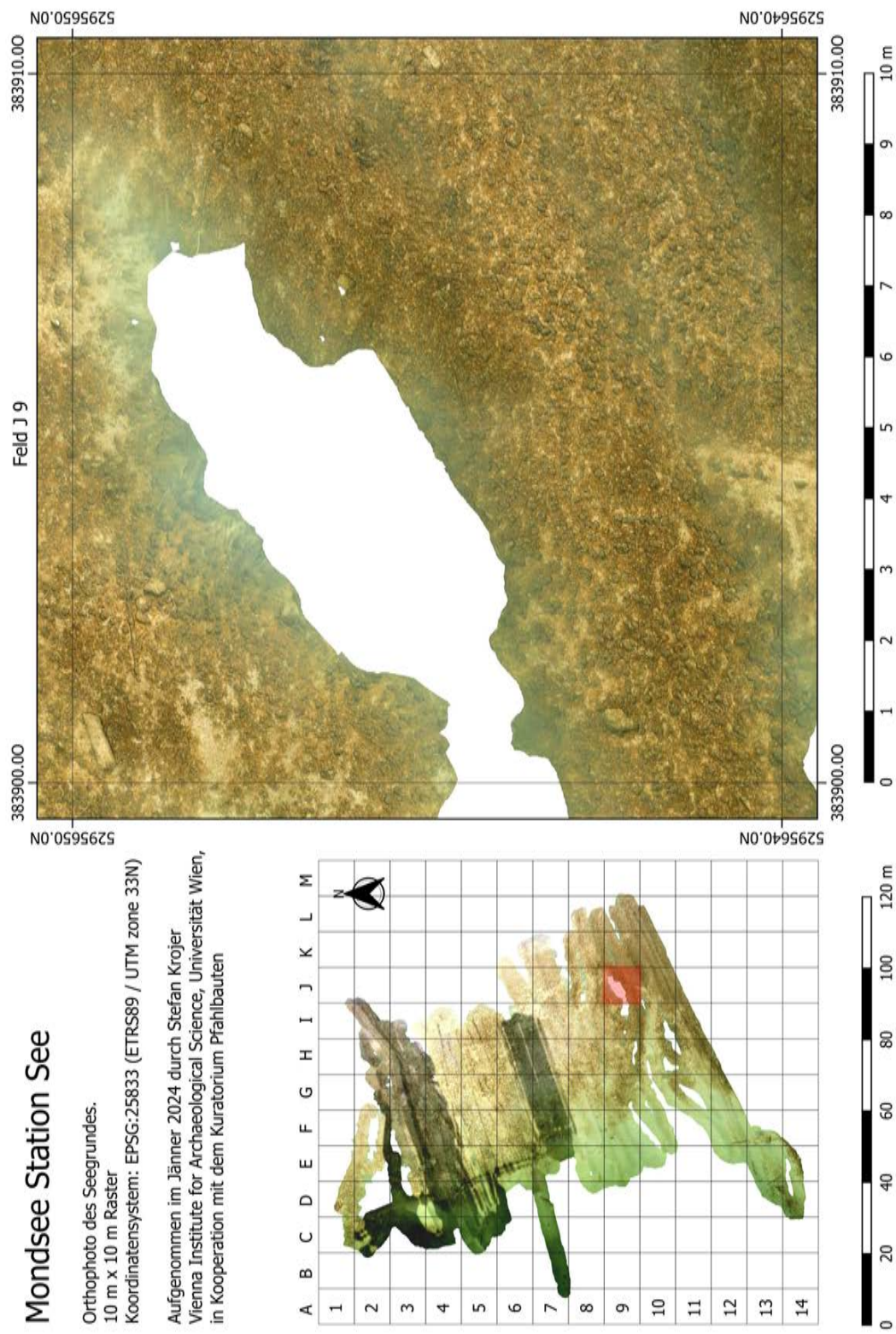


Abb. A.110.: Mondsee Station See: Feld J9

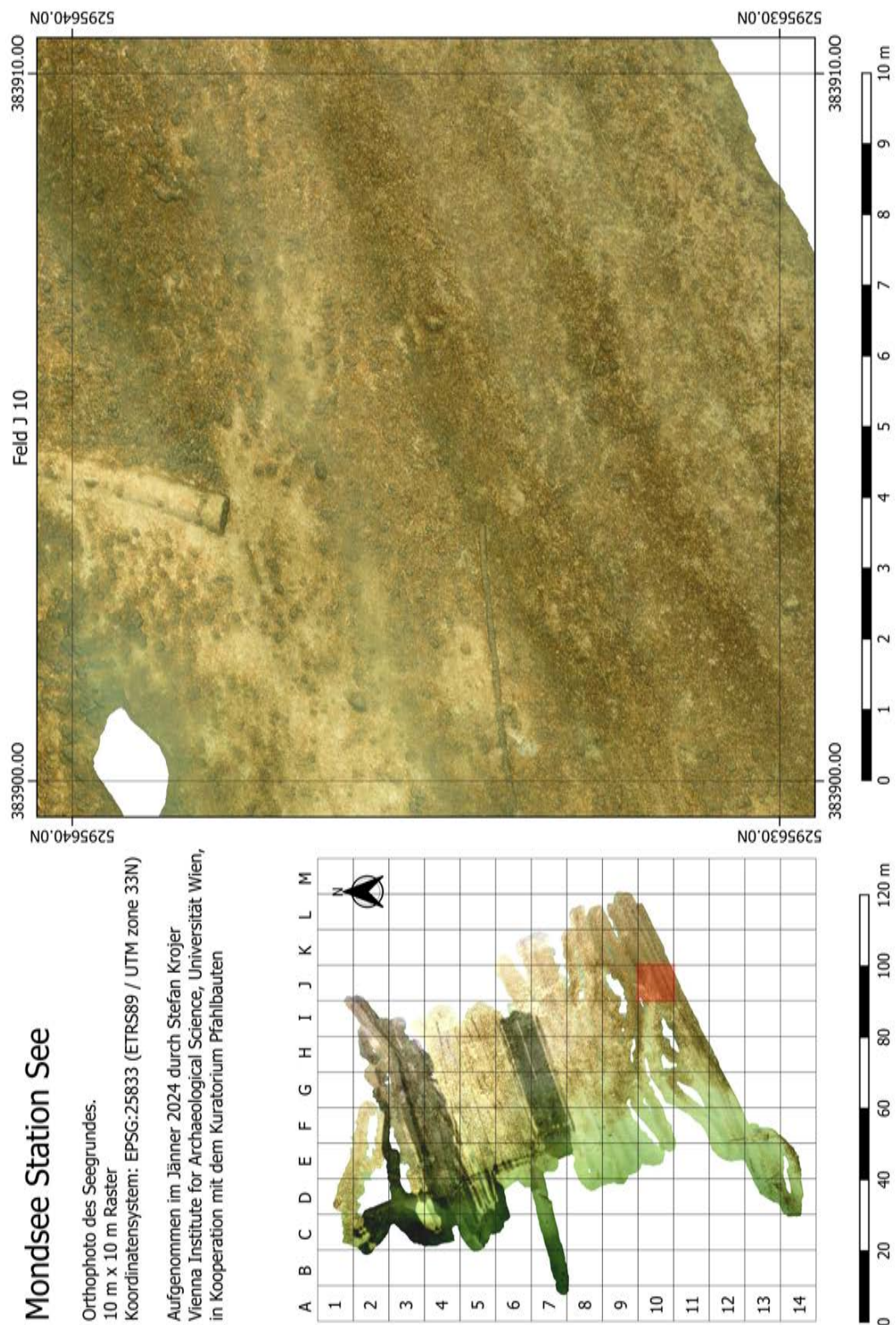


Abb. A.111.: Mondsee Station See: Feld J10

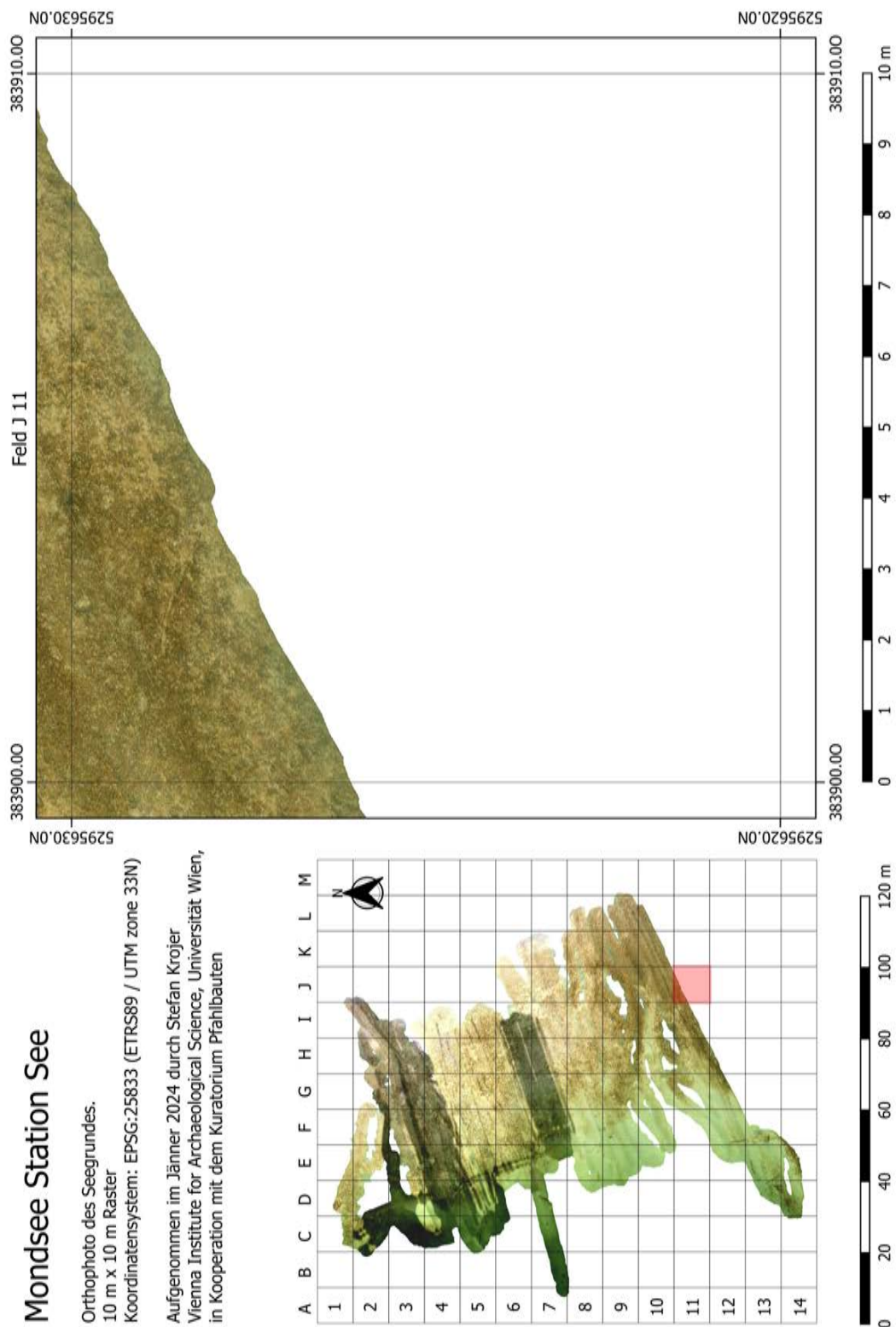
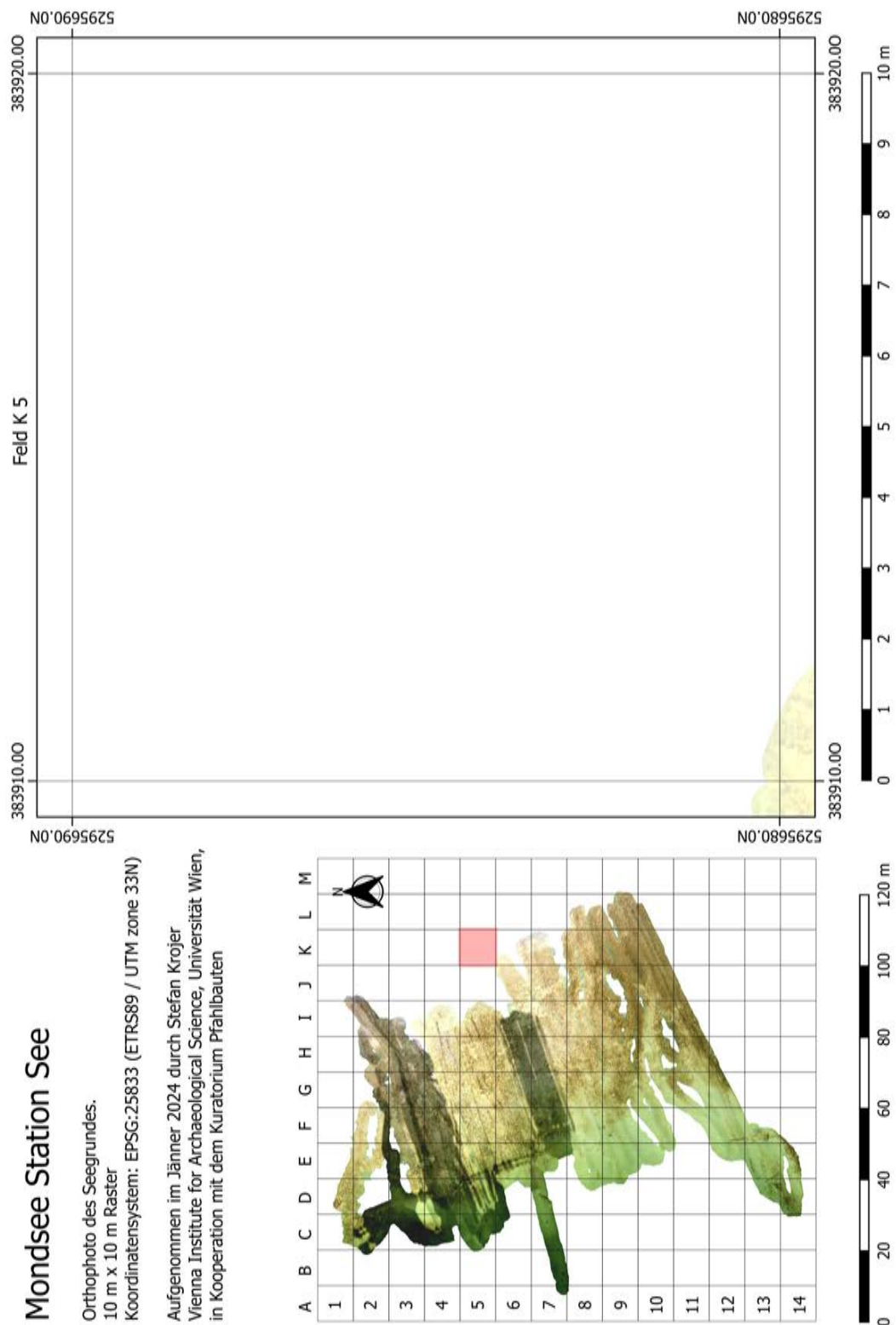


Abb. A.112.: Mondsee Station See: Feld J11



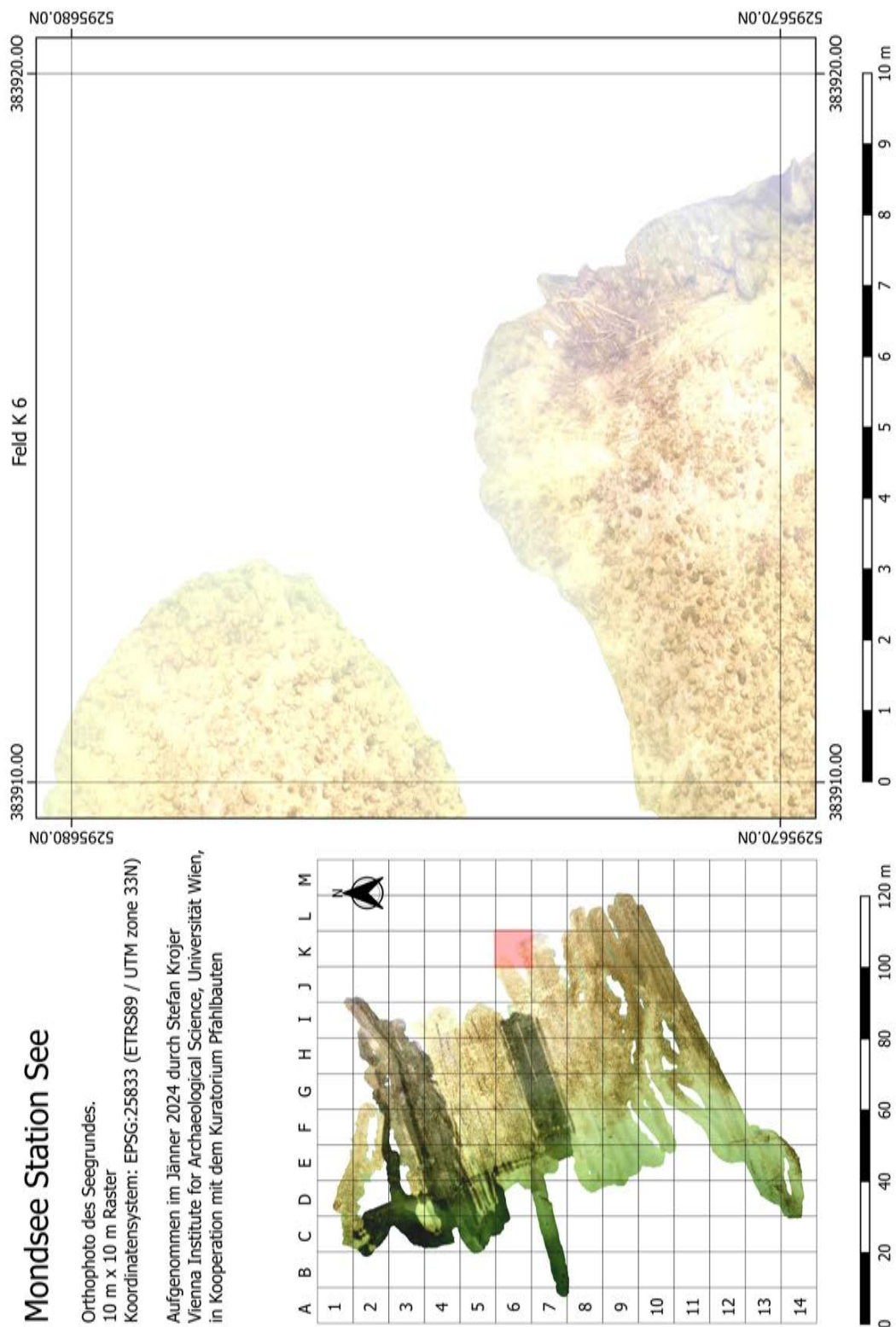
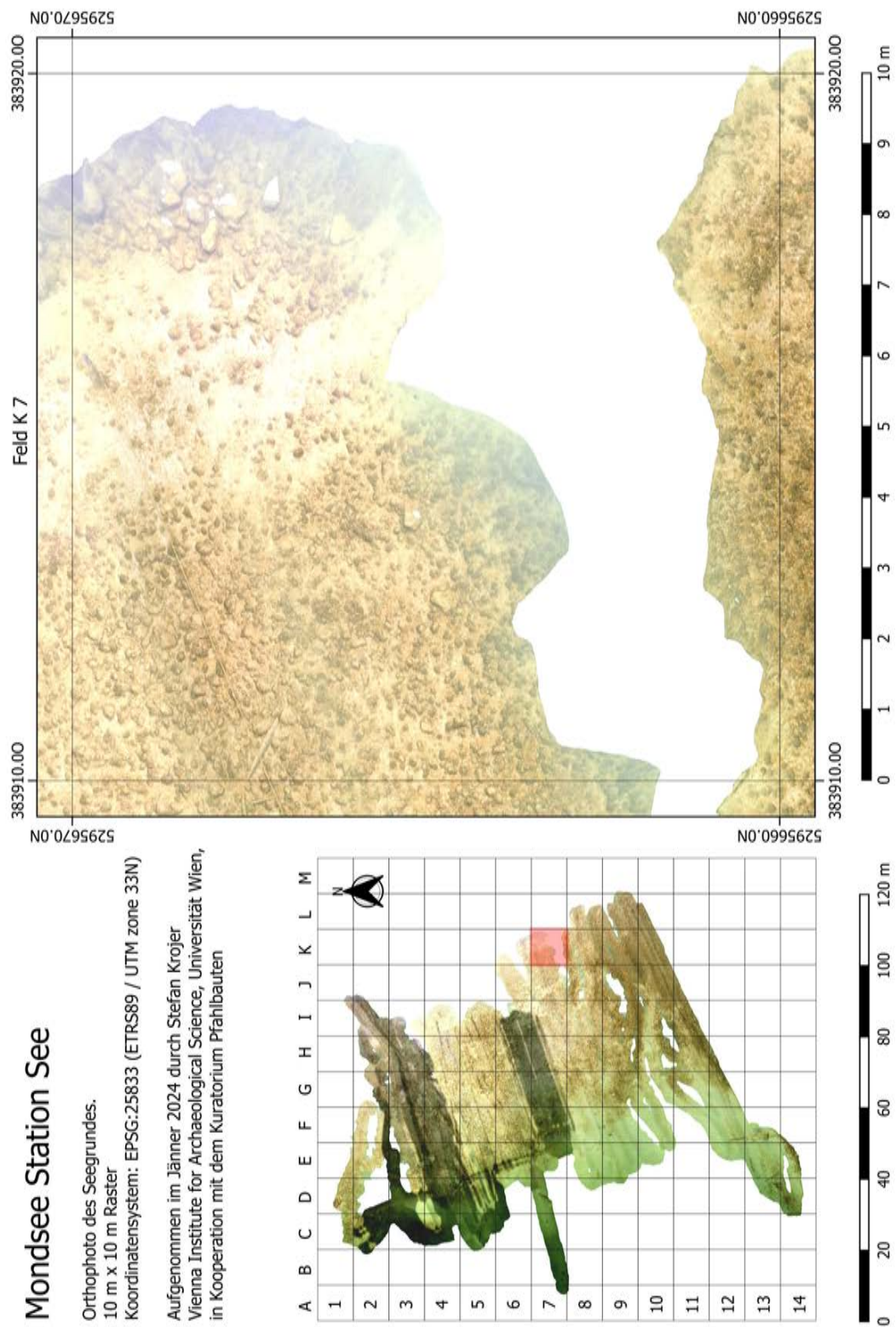


Abb. A.114.: Mondsee Station See: Feld K6



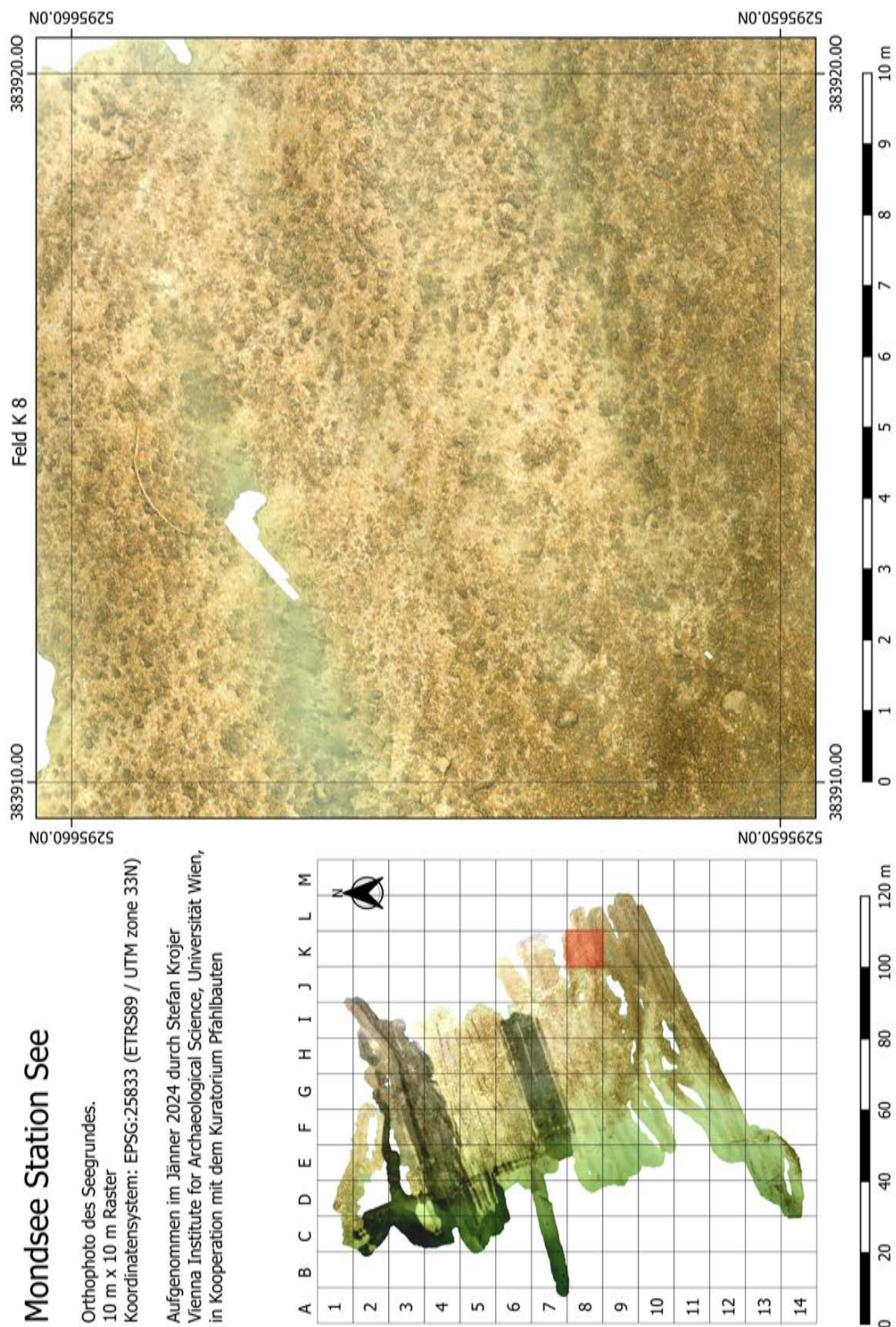


Abb. A.116.: Mondsee Station See: Feld K8

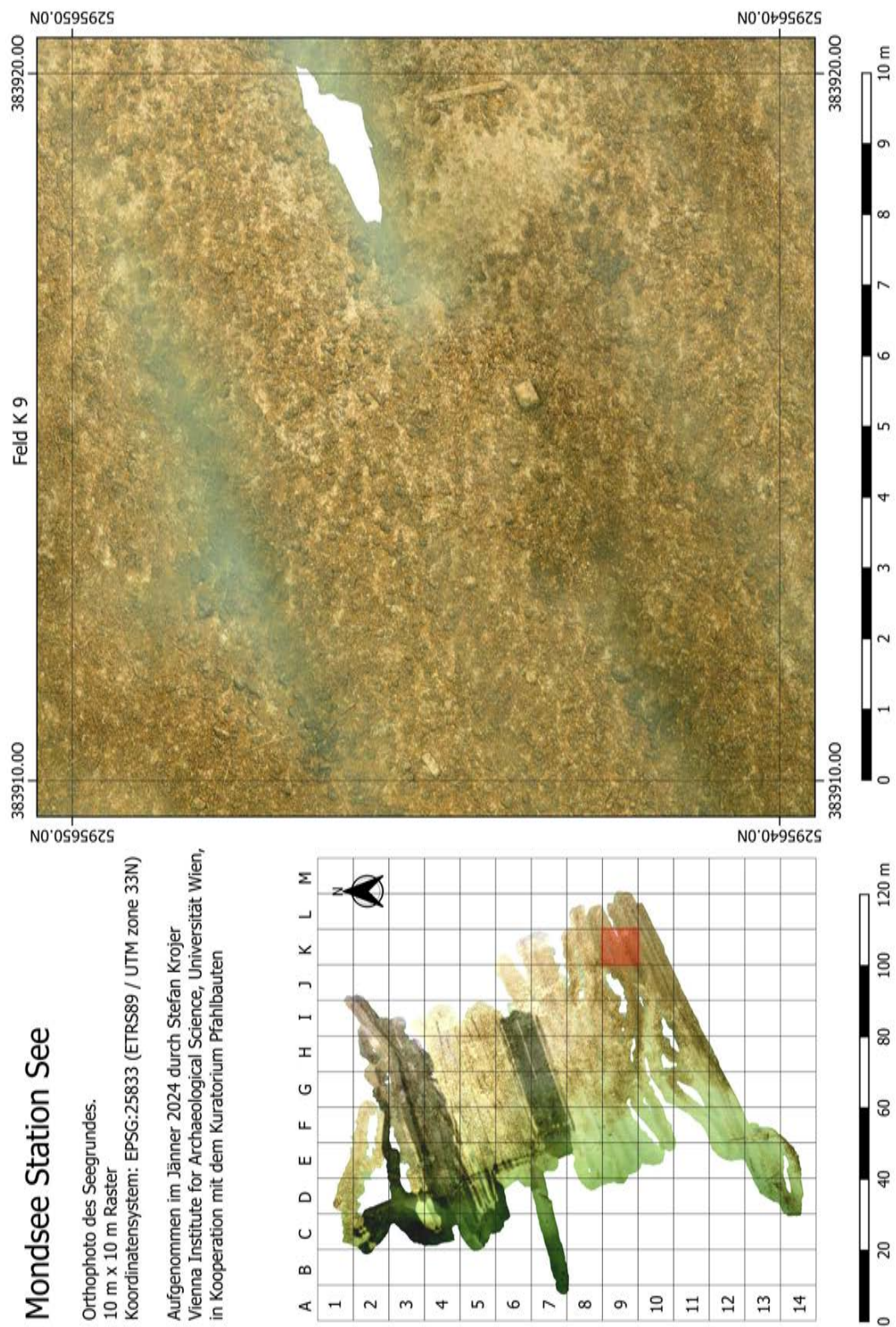


Abb. A.117.: Mondsee Station See: Feld K9

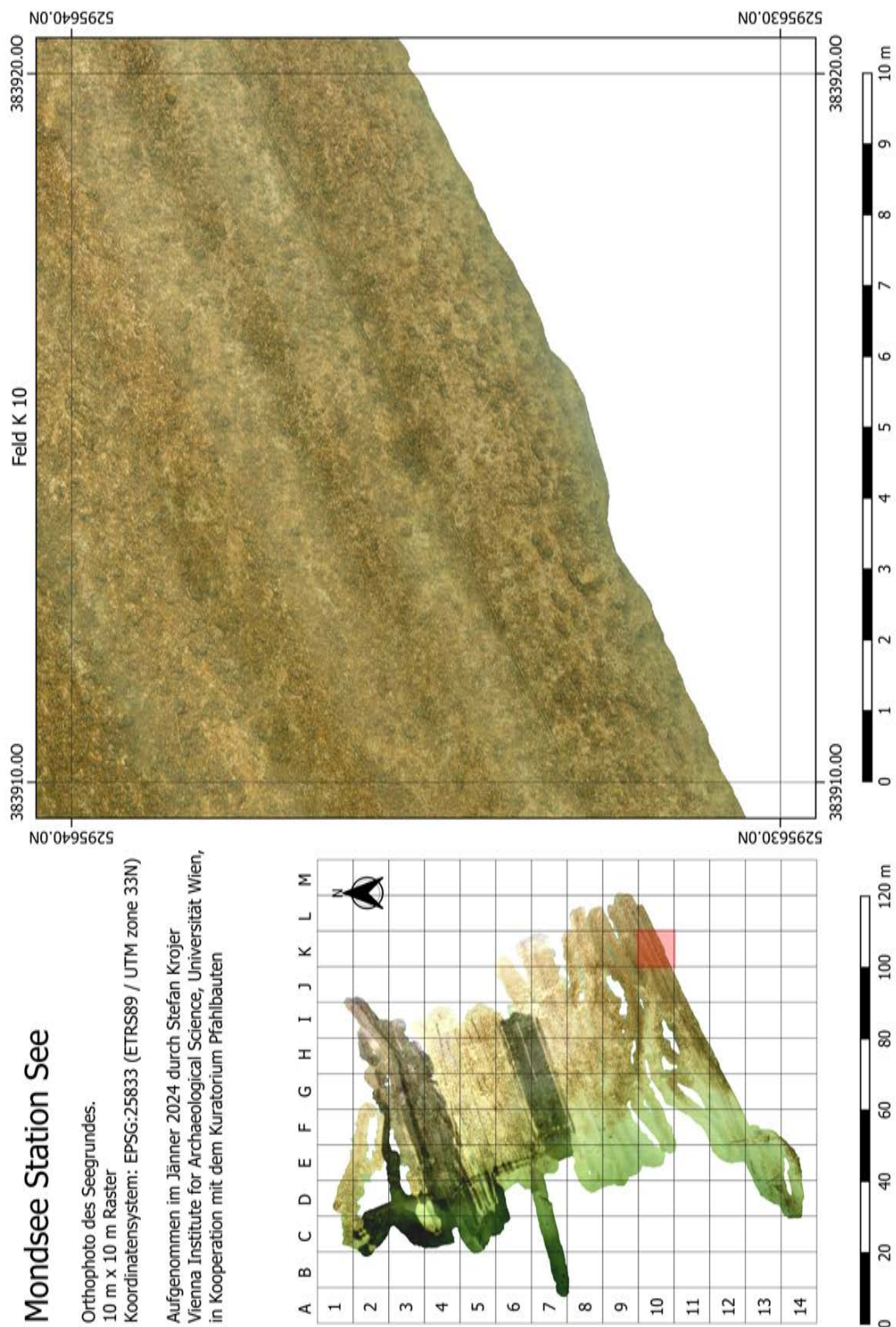
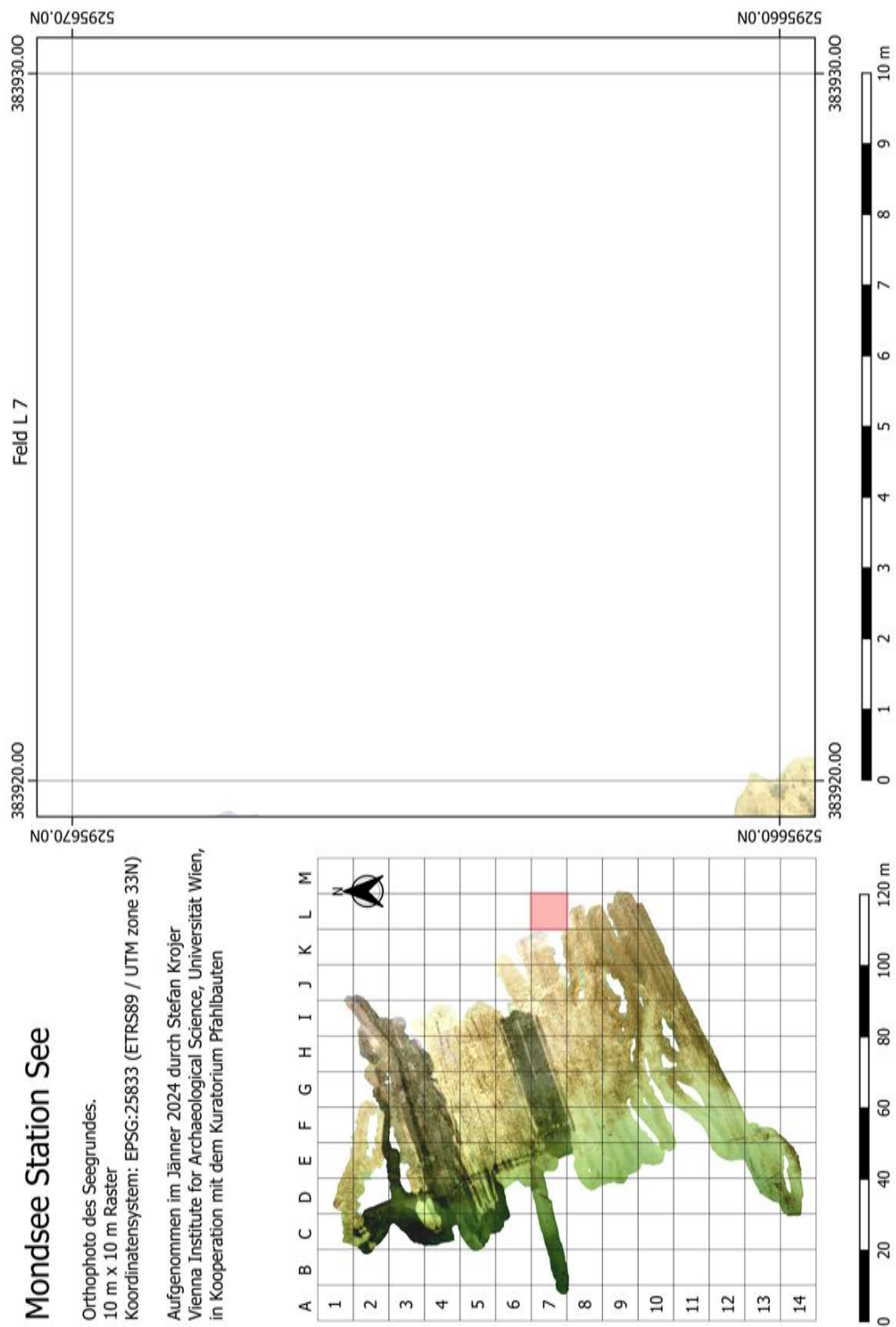


Abb. A.118.: Mondsee Station See: Feld K10



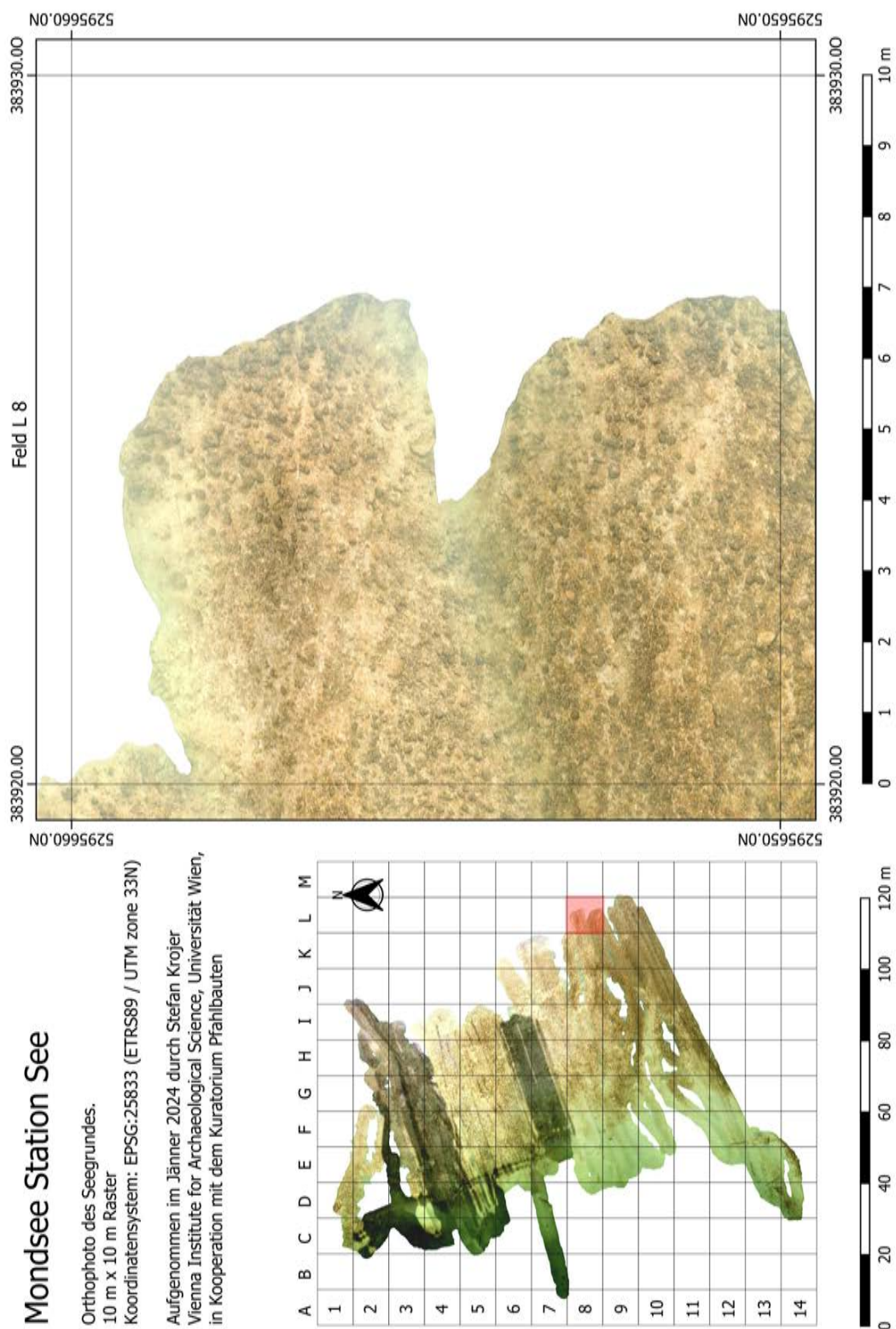


Abb. A.120.: Mondsee Station See: Feld L8

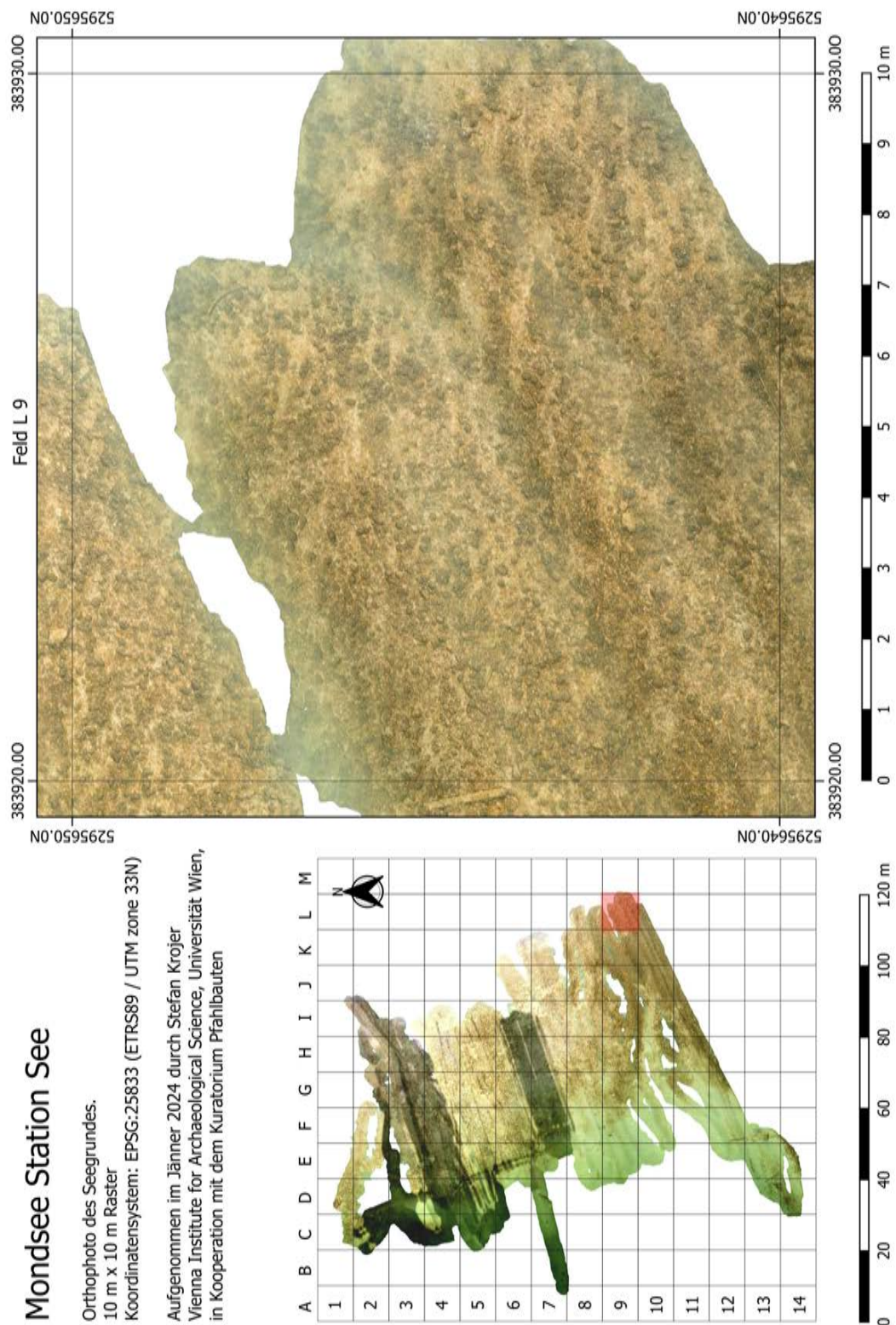


Abb. A.121.: Mondsee Station See: Feld L9

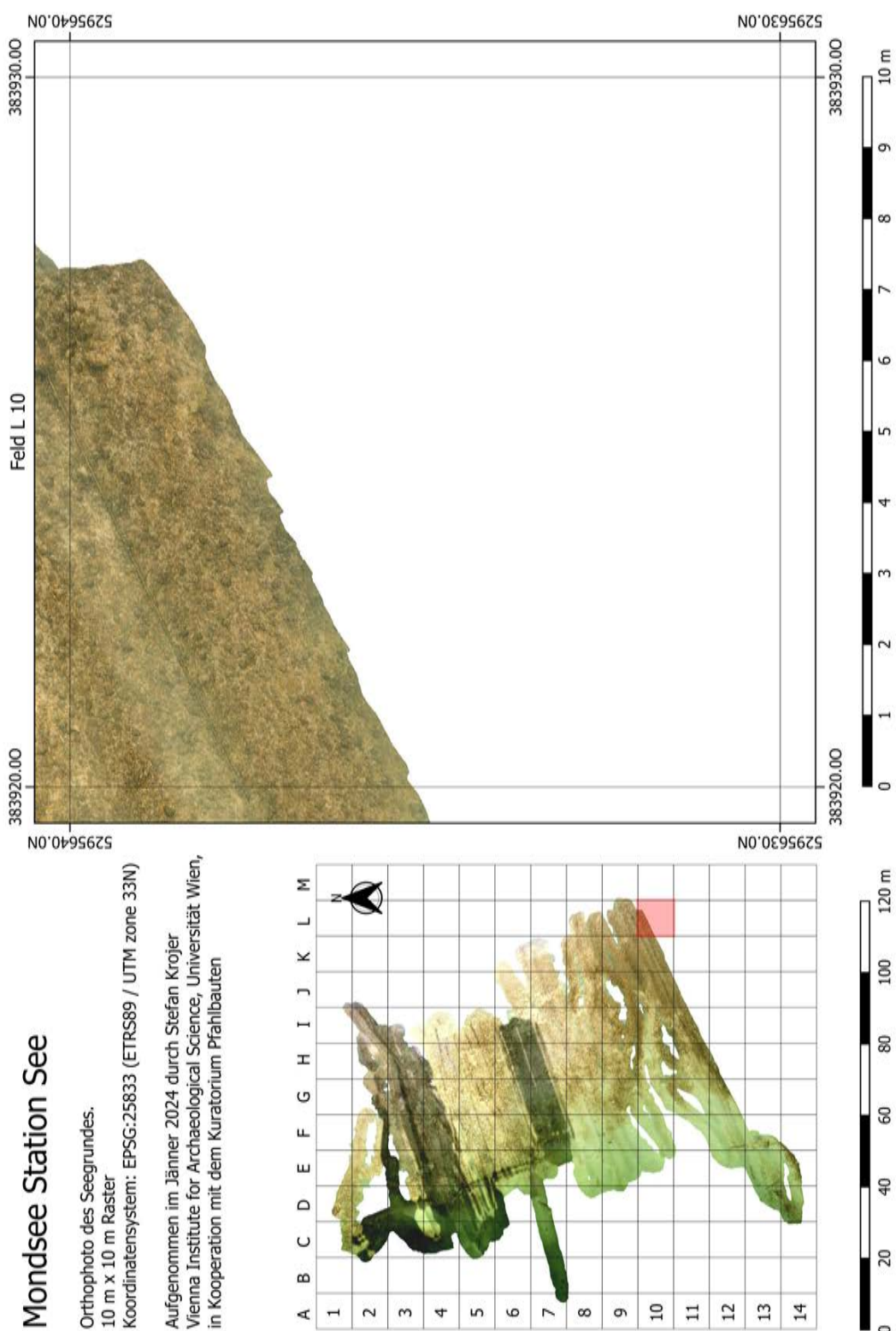


Abb. A.122.: Mondsee Station See: Feld L10

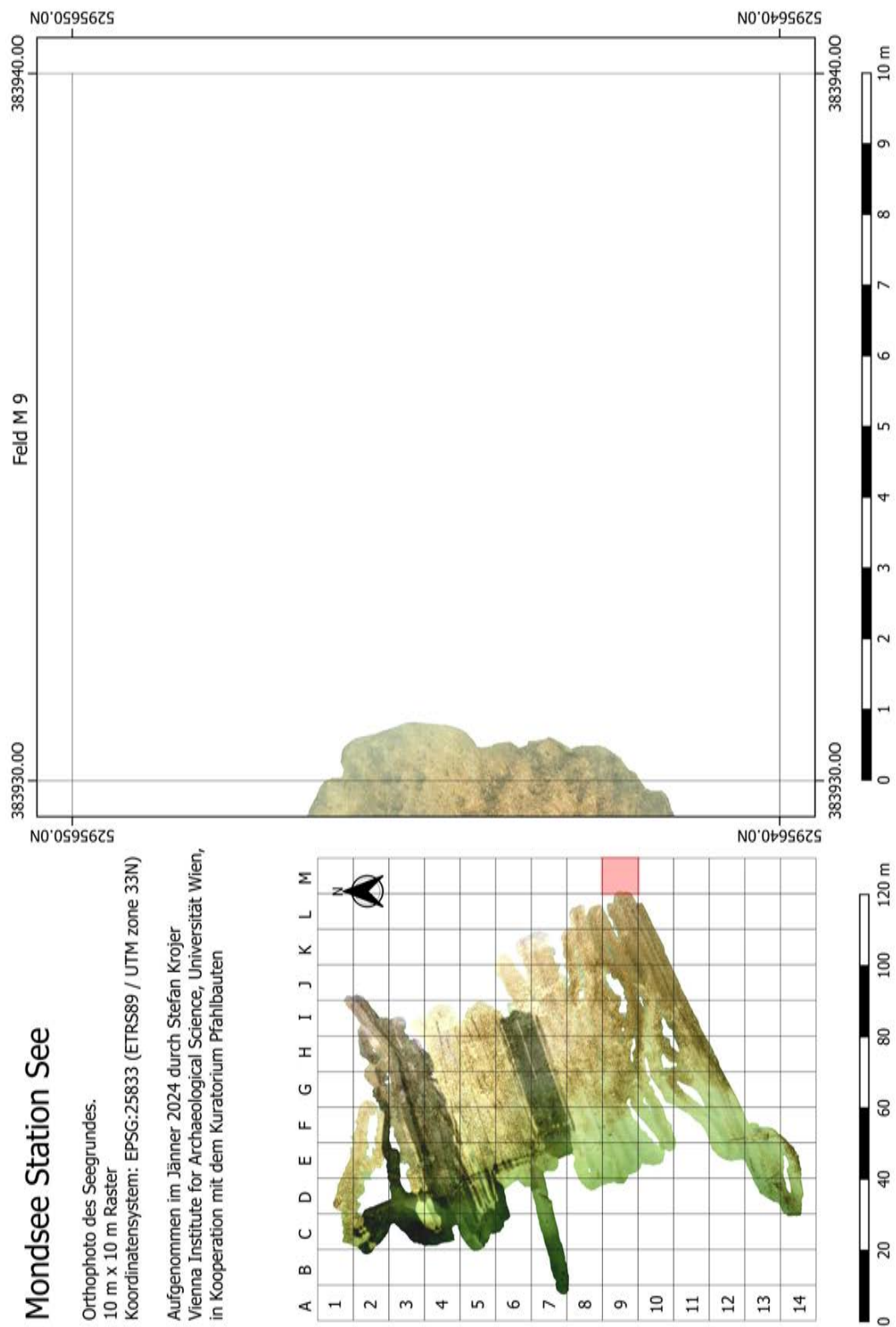


Abb. A.123.: Mondsee Station See: Feld M9