

Art des Auftrages	Studie
Auftraggeber	Abteilung 14 – Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit Referat Wasserwirtschaftliche Planung
Auftragnehmer	Geo5 GmbH Ingenieurbüro Roseggerstraße 17 8700 Leoben
Kosten für das Land Steiermark	34.800,00 € (inkl. MwSt.)

Geoelektrik und Sub-Bottom Profiling an der Grenzmur Pilotprojekt

H. Binder, BSc.,
DI Dr. C. G. Eichkitz,
DI M. Jud,
Christina Neuhold,
DI Dr. M. G. Schreilechner
DI Dr. Erwin Heine; Universität für Bodenkultur Wien

Version: Januar 2024



Auftraggeber:



Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit
Referat Wasserwirtschaftliche Planung
Wartingergasse 43, 8010 Graz

Wissen das in die Tiefe geht

Angebotsnummer: Geo5-23018

Angebotsübermittlung: 08.08.2023

Bestellnummer Auftraggeber an Geo5 GmbH: ABT14-165280/2023-3

Bestelldatum (Übermittlung der PO Nummer): 16.08.2023

Projektnummer Geo5 GmbH: IG23-P009

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung und Aufgabenstellung.....	4
3	Datengrundlage	5
3.1	Vorhandene Messdaten aus Bohrungen	5
3.2	Vorhandene Messdaten aus Multibeam-Aufnahmen	6
4	Geoelektrik.....	7
4.1	Allgemeines.....	7
4.1.1	Eingesetzte Messapparatur.....	7
4.1.2	Geoelektrische Tomographie	8
4.2	Akquisition der Geoelektrikdaten.....	9
4.3	Auswertung	13
4.3.1	Die spezifischen elektrischen Widerstände im geoelektrischen Modell	13
4.3.2	Computergestützte Auswertung der Geoelektrik	14
4.4	Interpretation der Geoelektrik Daten	17
5	Sub-Bottom Profiling.....	19
5.1	Akquisition der Sub-Bottom Profiling Daten.....	19
5.2	Interpretation der Sub-Bottom Profiling Daten	25
6	Literatur.....	30

Anlagen

Anlage 1: Lageplan; 1:2.000

Anlage 2: Geoelektrikprofile Österreich; H: 1:2.000 V:1.1000

Anlage 3: Geoelektrikprofile Slowenien; H: 1:2.000 V:1.1000

Ein Abbildungs- und Tabellenverzeichnis befindet sich am Ende des Berichts.

1 Zusammenfassung

Im Zuge dieses Pilotprojektes wurden sechs Geoelektrikprofile in unmittelbarer Nähe der Mur zwischen Halbenrain (Österreich) und Apače (Slowenien) mit einer Dipol-Dipol-Elektrodenkonfiguration und zwei Profile mit einer Wenner-Elektrodenkonfiguration aufgenommen. Vier Profile liegen an der Nordwestseite der Mur (Österreich; orografisch linksseitig) und vier Profile an der Südostseite (Slowenien; orografisch rechtsseitig). Je ein Profil beidseits wurde als Querprofil zur Mur aufgenommen (Profilnummern 3 und 6). Die unterschiedlichen Elektrodenkonfigurationen und auch die verschieden gewählten Elektrodenabstände dienen zum Vergleich des Auflösungsvermögens und der Eindringtiefen bei den gegebenen (hydro-)geologischen Verhältnissen. Damit liegen insgesamt acht Geoelektrikprofile mit einer Gesamtlänge von 4.067 m als geophysikalische Basis für eine hydrogeologische und sedimentologische Interpretation vor. Auf slowenischer Seite konnten Informationen von 14 Bohrungen und auf österreichischer Seite Informationen von 3 Bohrungen in die Geoelektrikprofile erfolgreich eingehängt werden. Die Widerstandskontraste des hochohmigen quartären Aquifers gegenüber dem (miozänen) niederohmigen Stauer korrelieren mit den geologischen Informationen der Bohrungen.

Die Messungen der Sub-Botton-Profiling Daten (SBP; Sediment-Echolot) umfasste 31 Profile mit unterschiedlichen Frequenzen, mit einer Gesamtlänge von 14.300 m und reichte von Ratzenau (Gemeinde Mureck) Mur-abwärts bis Bad Radkersburg. Während der Akquisition wurden verschiedene Anregungsfrequenzen (4, 5, 6, 8, 10, 12 und 15 kHz) getestet. Im Bereich zwischen Halbenrain und Apače wurde die Anzahl der flussparallelen Profile verdichtet und zusätzlich sechs Mur-Querprofile aufgenommen. In den SBP-Daten konnten einerseits die (miozäne) Staueroberkante, abschnittsweise die quartären Flusssedimente und die Geometrie des Flussbetts erkannt werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass abschnittsweise die quartären Flusssedimente im Murbett fehlen und damit die Mur direkt im Kontakt zum Stauer steht bzw. diese bereits erodiert.

Ein maßstabsgetreuer Lageplan befindet sich in Anlage 1.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

Aufgrund verringerter Sedimentzufuhr in der Mur im Bereich zwischen Spielfeld und Bad Radkersburg liegt die Mur in diesem Abschnitt vermutlich abschnittsweise bereits auf dem Stauer auf und erodiert diesen teilweise. Mit Hilfe von geophysikalischen Messungen soll die Lage und Struktur der Oberkante des Stauers beschrieben werden. Dazu werden seitlich der Mur geoelektrische Profile längs und quer der Mur gemessen um damit die Staueroberkante und eventuell -unterkante räumlich erfasst. In der Mur werden Sub-Bottom Profiling Daten (Sediment-Echolot) akquiriert und damit Aussagen über die Struktur des Stauers, sowie dem eventuellen Vorhandensein von (quartären) Flusssedimenten auf dem Stauer getroffen. Aufgrund dieser Testmessungen (Lageplan siehe Abbildung 1) in diesem Pilotprojekt soll eine Aussage über die prinzipielle Anwendbarkeit dieser Methoden für die Beschreibung der Sedimente im Murbett, sowie generell über eine Eintiefung der Mur in den liegenden Stauer getroffen werden. Des Weiteren dienen diese Testmessungen der Planung von Geoelektrikmessungen und Sub-Bottom Profiling Profile im gesamten Bereich zwischen Spielfeld und Bad Radkersburg.



Abbildung 1: Übersichtslageplan der geoelektrischen Profile (rot) und Sub-Bottom Profiling Daten (blau). Die vorhandenen Bohrungen sind mit gelben Kreissymbolen und Kontrollprofile der Multibeam Daten mit roten Kreisen eingetragen.

3 Datengrundlage

In dem Projektgebiet zwischen Mureck und Bad Radkersburg sind Bohrungen und Multibeam Daten vorhanden, die bei der Interpretation verglichen bzw. eingehängt wurden.

3.1 Vorhandene Messdaten aus Bohrungen

In unmittelbarer Nähe der Geoelektrikprofile befinden sich beiderseits der Mur Bohrungen, die in die Ergebnisse der Geoelektrik „eingehängt“ werden können. In den Bohrungsaufnahmen werden Grob- und Mittelkies bzw. teilweise sandiger, schluffiger Kies mit Steinen (Mur-begleitender quartärer Aquifer) und liegend Schluffton/Tegel (miozäner Stauer) beschrieben. Im Bereich der österreichischen Bohrungen A3, B11 und B12 liegt der Stauer auf einer Seehöhe zwischen 209,4 m und 207,5 m und slowenischen Bohrungen SG-1 bis SG- 14 liegt der Stauer durchschnittlich auf einer Seehöhe von 208 – 210 m über Adria. Die Staueroberkante wurde mit einer Kreissymbol in die Geoelektrikprofile eingehängt.

Bohrungsname	Österreich			Slowenien													
	A3	B11	B12	SG-1	SG-2	SG-3	SG-4	SG-5	SG-6	SG-7	SG-8	SG-9	SG-10	SG-11	SG-12	SG-13	SG-14
Seehöhe Bohrung	215,9	213,8	214,1	215,0	215,1	215,2	215,2	215,3	215,4	215,5	215,5	215,6	215,7	215,8	215,9	215,9	215,9
Aquifer	6,5	6,9	6,6	6,7	6,9	6,9	6,8	6,8	6,8	5,8	6,3	6,3	5,9	6,1	6,4	6,5	6,2
Seehöhe Stauer	209,4	206,9	207,5	208,3	208,2	208,3	208,4	208,5	208,6	209,7	209,2	209,3	209,8	209,7	209,5	209,4	209,7

Tabelle 1: Übersicht der Bohrungen auf österreichischer und slowenischer Seite der Mur, von denen die Referenzseehöhe für geoelektrischen und SBP Daten für den (miozänen) Stauer verwendet wurden.

In Abbildung 2 sind die Bohrprofile der Bohrungen A3, B11 und B12 dargestellt. Hier ist der Stauer als Tegel (A3 in 7,2 m) sowie als Lehm bzw. Schluffton (B11 in 6,9 m bzw. 7,2 m und B12 in 6,6 m bzw. 6,9 m) angegeben.

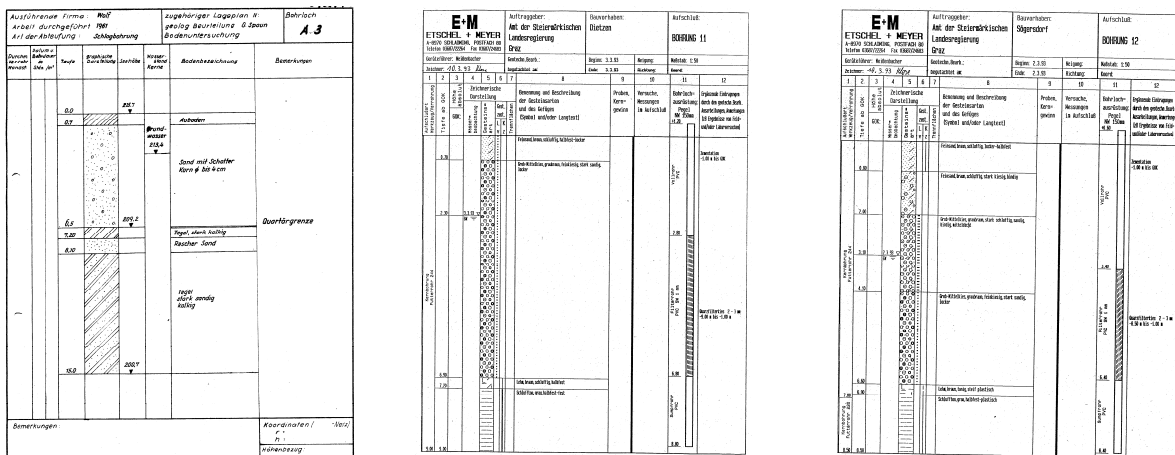


Abbildung 2: Geologische Bohrprofile der Bohrungen A3, B11 und B12 auf der österreichischen Seite der Mur

3.2 Vorhandene Messdaten aus Multibeam-Aufnahmen

2019 wurde eine digitale Vermessung der Grenzmauer mittels ALS – MLS – Sonar Multibeam durchgeführt und ein homogenes digitales Geländemodell von den Firmen Menuras (Slowenien) und Lugitsch (Österreich) erstellt.

Beispielhaft ist in Abbildung 3 das Kontrollprofil 13 A der digitalen Vermessung der Grenzmauer in der Nähe der Ortschaft Apače Abbildung 4 dargestellt. Zu erkennen ist, dass das Flussbett auf einer Seehöhe von ca. 210 – bis 211 m liegt.

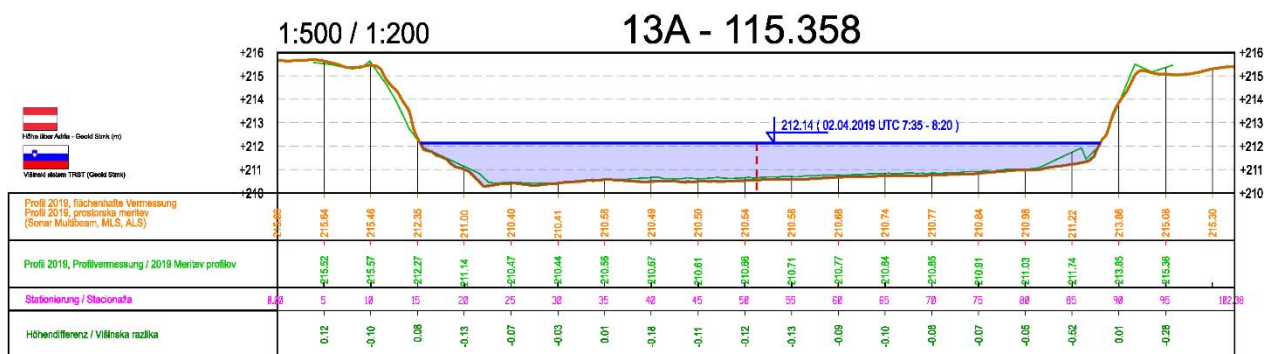


Abbildung 3: Kotrollprofil 13A der digitalen Vermessung der Grenzmauer, Flusskilometer 115,358, in der Nähe der Geoelektrikprofile und der SBP-Daten des gegenständlichen Pilotprojektes



Abbildung 4: Lage des Kotrollprofils 13A in der Nähe der slowenischen Ortschaft Apače

4 Geoelektrik

4.1 Allgemeines

Minerale, Gesteine und Böden unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften, insbesondere auch in ihrem spezifischen elektrischen Widerstand. Projektbezogene konkrete Beispiele nennt Tabelle 2.

Material	typische Wertebereiche	
	(in Ohm * Meter = Ohmmeter = Ωm)	
Kies	> 100	> 10 000 (trocken)
Sand	> 50	> 10 000 (trocken)
Schluff	20	50
Ton	1	30
Natürliche Wässer	10	300

Tabelle 2: Typische spezifische elektrische Widerstandsbereiche für wasserführende Lockersedimente, Festgesteine und Wässer (zusammengestellt aus Berkold et al. (1997), Greinwald & Thierbach (1997) und Mundry (1985))

Zur Kartierung und Erkundung von geologischen und/oder anthropogenen Einheiten können sich daher Methoden eignen, die den elektrischen Gesteinswiderstand erfassen.

4.1.1 Eingesetzte Messapparatur

Die eingesetzte Messapparatur besteht aus:

- einem geoelektrischen Messinstrument "Supersting R8 IP" (Hersteller Advanced Geosciences, USA)
- 12 Kabelsektionen mit jeweils 7 Edelstahlelektroden des Herstellers Advanced Geosciences, USA
- einem Notebook-PC mit der Administratorsoftware "AGISAdmin" (Advanced Geosciences USA).

Nach Transfer einer zuvor programmierten Steuerungsdatei auf die Messapparatur wird diese mit dem Elektrodenkabel verbunden. Das Messprogramm läuft automatisch mit der entsprechenden Elektrodenkonfiguration ab.

Im gegenständlichen Projekt kamen jeweils 84 adressierte Elektroden zur Anwendung. Die Apparatur ist 8-kanalig, bei der 2 Elektroden als Stromquelle und 6 Elektroden als Spannungselektroden gleichzeitig betrieben werden. Durch die Verwendung niederfrequenten Wechselstroms werden natürliche Polarisierungen vermieden und die Elektroden können abwechselnd als Strom- und Spannungselektroden verwendet werden.

4.1.2 Geoelektrische Tomographie

Im gegenständlichen Fall wurde die geoelektrische Tomographie als eine der erfolgversprechendsten Methoden der geophysikalischen Verfahren eingesetzt. In den Literaturstellen Friedel (1997) und Lange & Jacobs (1997) findet sich eine genauere Beschreibung dieser Methode. Geoelektrische Tomographie ist die Kombination aus:

- einer geoelektrischen Sondierungskartierung mit Hilfe von vielen Elektroden als Erdungspunkten, die entlang eines Profils angeordnet sind (Multielektroden-Geoelektrik) und
- einer 2-dimensionalen Auswertung in Form einer computergestützten Inversionsrechnung.

Die Elektrodenkette ist entlang eines annähernd linienförmigen Profils aufgestellt und mit dem Messinstrument verbunden. Jede der Elektroden kann gezielt als stromzuführende Elektrode (A oder B) oder als potentialmessende Elektrode (M oder N) geschaltet werden.

Das Messinstrument veranlasst über zwei Elektroden die Einspeisung eines Stroms in den Untergrund (A und B) und über zwei weitere Elektroden (M und N) die Messung der Spannung. Während einer Messung sind daher mindestens vier Elektroden aktiv. Abhängig von der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands im Untergrund, der eingespeisten Stromstärke und von den aktuell aktiven Elektroden bildet sich eine charakteristische elektrische Spannung zwischen den Elektroden M und N aus. Das Messinstrument bestimmt den elektrischen Widerstand aus der gemessenen Spannung, der eingespeisten Stromstärke und einem Geometriefaktor, welcher vom Abstand der gerade aktiven Elektroden abhängt.

Eine im Vorfeld am Computer erzeugte Steuerungsdatei („Command File“), welche dann auf das Messinstrument übertragen wird, steuert die Elektroden in verschiedenen Konfigurationen an. Durch die schrittweise Vergrößerung der Elektrodenauslage erreicht der Mess-Strom immer größere Erkundungstiefen. Durch die Versetzung der 4 aktiven Elektroden entlang des Profils wird die Widerstandsverteilung in Profilrichtung ermittelt.

Die erhaltenen Messwerte werden anschließend ausgewertet. Dazu werden sie mit einer zweidimensionalen Inversionsrechnung in ein wirklichkeitsnahes Modell der Verteilung der

Widerstände umgerechnet. Die Oberflächen-Morphologie verzerrt die Stromsysteme und muss deswegen bei der Auswertung berücksichtigt werden.

4.2 Akquisition der Geoelektrikdaten

Die Feldmessungen wurden zwischen 02.10.2023 und 13.10.2023 in den Gemeinden Halbenrain (Österreich) und Apače (Slowenien) durchgeführt. Dabei wurden elektrische Daten von sechs Profilen mit Längen von 166 m (Profil 6), 415 m (Profil 3), 498 m (Profil 4 & 5) und 664 m (Profil 1 & 2) akquiriert. Die Lage der Profile wurde von der Geo5 vorgeschlagen und mit dem Auftraggeber abgesprochen (Abbildung 5). Die Elektrodenpositionen wurden in Lage und Höhe eingemessen, da diese Daten für die Auswertung benötigt werden.

Vor Beginn der Messungen wurde mit den jeweiligen Gemeinden Kontakt aufgenommen um die Messungen anzukündigen. Auf österreichischer Seite wurden die neun potentiell betroffenen Privatgrundstückseigentümer mittels eines Informationsbriefes verständigt und ihre Einwilligung zur Durchführung der Messungen eingeholt. Auf slowenischer Seite wurde in einem Meeting mit dem Bürgermeister von Apače und Gemeindevertretern, am 10.10.2023, die Erlaubnis zur Durchführung der Messungen eingeholt.



Abbildung 5: Lageskizze des Messgebietes mit der Lage der geoelektrischen Profile (rot), sowie der Sub Bottom Profiling Messlinien (orange).

Ein Profil im geophysikalischen Sinn wird als Tiefenschnitt dargestellt. Dazu werden die oben beschriebenen Messungen entlang einer Linie durchgeführt.

Sämtliche Geoelektrik-Profile wurden mit einer "Dipol-Dipol" Elektrodenkonfiguration gemessen, die Profile 2 und 5 wurden zusätzlich mit einer „Wenner“ Elektrodenkonfiguration aufgenommen (siehe Tabelle 3). Da es sich um ein Pilotprojekt handelt, wurden verschiedene Elektrodenkonfigurationen angewandt, um die optimale Aussagekraft für weitere Messungen zu testen.

Dipol-Dipol Konfigurationen haben eine große Punktdichte und damit ein gutes Auflösungsvermögen, sind jedoch gegen Störeinflüsse wie natürliches und künstliches elektrisches Potenzial empfindlich. Wenner Konfigurationen sind im Sinne von Störungen durch natürliches und künstliches elektrisches Potenzial und bei schlechten elektrischen Ankoppelbedingungen (hoher Übergangswiderstand) unempfindlicher, jedoch werden kleinräumige vertikale Widerstandsänderungen unterdrückt und sind auch für geneigte Schichten ungeeignet. Weiters ist die Messzeit bei eine Wenner Konfiguration durchschnittlich dreimal länger und damit die Projektkosten höher. Daher sollte nur bei berechtigten Gründen eine Wenner Konfiguration gewählt werden. Im gegenständlichen Pilotprojekt wurden an 2 Profilen (2 und 5) Wenner-Konfigurationen mit geringerer Eindringtiefe zu Testzwecken gemessen.

Mess-Ebene / Level	Dipol-Dipol- Konfiguration	Konfiguration nach Wenner
1	ABNM.....	AMNB.....
2	AB-NM.....	A-M-N-B.....
3	AB--NM.....	A--M--N--B.....
...

Tabelle 3: Messfortschritt bei der "Dipol-Dipol" und „Wenner“ Elektrodenkonfiguration (A und B speisen den Strom ein, M und N messen die Spannung). Durch Vergrößerung der Elektrodenauslage nimmt die Erkundungstiefe zu. Siehe hierzu auch Mundry, 1985

Die untenstehende Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der Profile 1 bis 6.

Profil	Profil 1	Profil 2a	Profil 2b	Profil 3
Messdatum	02.10.2023	03.10.2023	03.10.2023	04.10.2023
Gemeinde	Halbenrain	Halbenrain	Halbenrain	Halbenrain
Profilrichtung	SE - NW	SE - NW	SE - NW	S - N
Konfiguration	Dipol-Dipol	Dipol-Dipol	<u>Wenner</u>	Dipol-Dipol
Elektroden	84	84	84	84
Elektrodenabstand [m]	8	8	8	5
Nom. Profillänge [m]	664	664	664	415
Messpunkte	2020	2020	375	2020
Profil	Profil 4	Profil 5a	Profil 5b	Profil 6
Messdatum	12.10.2023	12.10.2023	12.10.2023	13.10.2023
Gemeinde	Apače	Apače	Apače	Apače
Profilrichtung	SE - NW	SE - NW	SE - NW	N - S
Konfiguration	Dipol-Dipol	Dipol-Dipol	<u>Wenner</u>	Dipol-Dipol
Elektroden	84	84	84	84
Elektrodenabstand [m]	6	6	6	2
Nom. Profillänge [m]	498	498	498	166
Messpunkte	2020	2020	375	2020

Tabelle 4: Zusammenfassung der „Eckdaten“ der Profile 1 bis 6.

Mit Übergangswiderständen um 2000Ω war eine hervorragende elektrische Ankoppelung an den Untergrund gegeben. Das Wetter während der Geländearbeiten war herbstlich und trocken. Die Abbildungen 2 bis 5 zeigen Eindrücke der Feldmessungen.



Abbildung 6: Ausschnitte aus dem Profilverlauf der Profile 3 (links) und 1 (rechts)

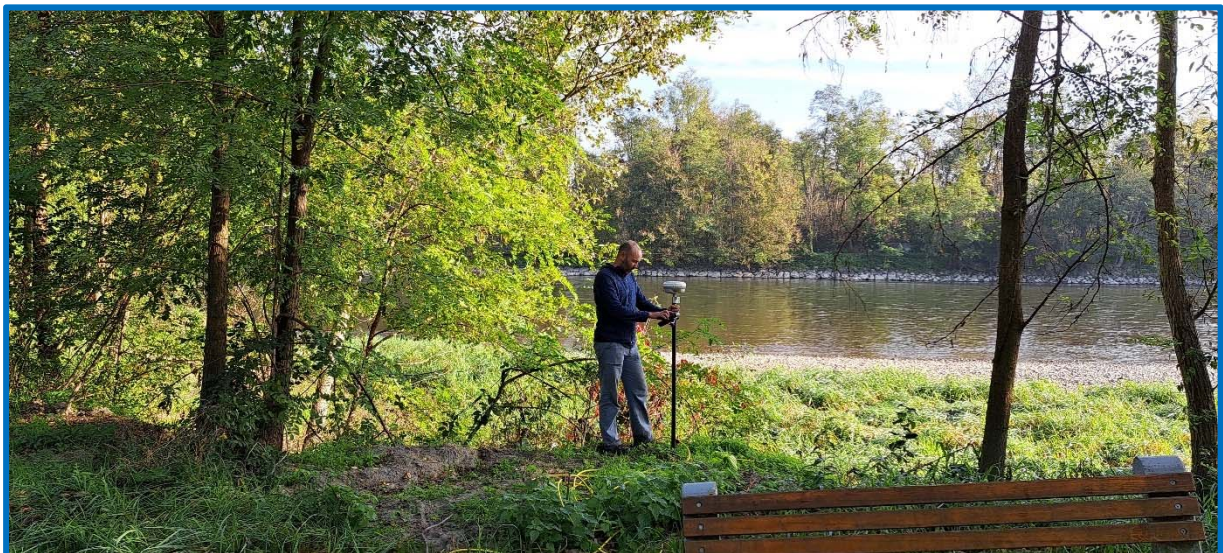


Abbildung 7: Geodätische Vermessung an Profil 5.

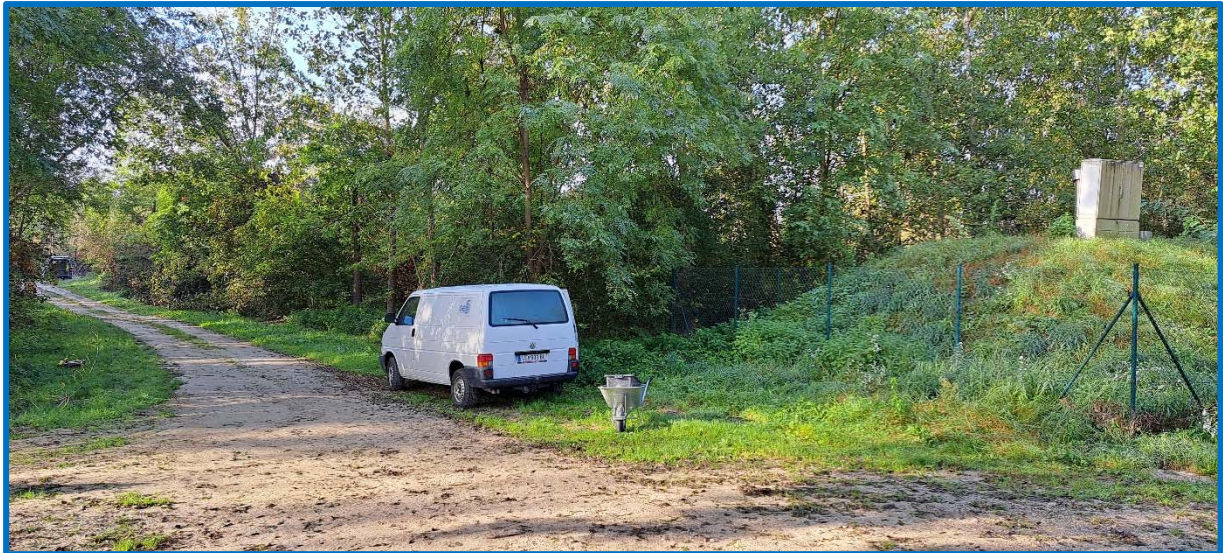


Abbildung 8: Profilkreuzung der Profile 5 und 6. Rechts im Bild ein Brunnen des Brunnenfeldes Apače.



Abbildung 9: Messaperatur am Profil 4.

4.3 Auswertung

4.3.1 Die spezifischen elektrischen Widerstände im geoelektrischen Modell

Durch die schrittweise Vergrößerung der Elektrodenauslage erreicht der Mess-Strom immer größere Erkundungstiefen. Dabei durchfließen die Mess-Ströme über immer weitere Strecken seicht liegende Schichten im Untergrund und werden dadurch beeinflusst. Die Topografie der

Geländeoberfläche sorgt für weitere Verzerrungen im elektrischen Feld. Wegen der verschiedenartigen Beeinflussungen der Mess-Ströme werden die noch nicht ausgewerteten Messdaten als "scheinbare" spezifische Widerstände bezeichnet. Sie müssen durch eine computergestützte Auswertung in "wahre" spezifische Widerstände zurückgerechnet (invertiert) werden. Bei den ausgewerteten spezifischen Widerständen sind der Einfluss der oberen Schichten und der Topografie rechnerisch korrigiert. Die ausgewerteten Widerstände sind in einem geoelektrischen Untergrundmodell zusammengefasst.

4.3.2 Computergestützte Auswertung der Geoelektrik

Die Auswertung erfolgt durch eine 2-dimensionale Inversionsrechnung mit dem Programm "EarthImager 2D" (Advanced Geosciences USA, Inversionsparameter in Tabelle 5).

Programmversion	2.4.4-649
Startmodell	Pseudosection
Inversionsmethode	Smooth
Smoothness Faktor	10
Vertikal/Horizontal Filterrate	1
Iterationen (äußere Schleife)	8
Iterationen (innere Schleife)	6
Konvergenzschwelle [%]	3
Gewicht für L2-Norm	3

Tabelle 5: Inversionsdaten der geoelektrischen Auswertung

Das Programm errechnet durch Inversion der Messdaten zunächst ein zweidimensionales Start-Modell der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands. In einem zweiten Schritt werden durch eine Dateninversion (nach der Methode der finiten Differenzen) die resultierenden scheinbaren Widerstände des Modells errechnet und mit den tatsächlich gemessenen scheinbaren Widerständen verglichen. Anschließend wird ein optimiertes Modell berechnet und der Vergleich mit den Messdaten wiederholt. Diese schrittweise Anpassung an die Messdaten (Iteration) wird so lange wiederholt, bis der mittlere Anpassungsfehler gegen einen Grenzwert konvergiert oder eine vorgegebene maximale Zahl der Iterationen erreicht ist.

Die Abbildung 10 bis Abbildung 15 zeigen Ergebnisse der Inversionsrechnungen der Profile 1 bis 6 und sind als Pläne in der Anlage 2 und 3 abgebildet. Man beachte die unterschiedlichen Lateral- und Vertikalmaßstäbe in den Abbildungen. Die horizontalen Achsen sind als Laufmeter der Profile zu verstehen. Die Profile 2 und 5 wurden sowohl als Dipol-Dipol-Elektrodenkonfigurationen als auch als Wenner-Elektrodenkonfigurationen aufgenommen. Es

ist gut zu erkennen, dass die Wenner Messungen lateral eine geringere Auflösung zeigen bzw. horizontal schmieren. Andererseits ist bei den Wenner Messungen die horizontale Grenze zwischen dem quartären Aquifer und dem miozänen Stauer deutlicher ausgeprägt als bei den Dipol-Dipol Messungen. Die Eindringtiefe bei den Wenner Messungen wurde geringer ausgeführt, da sonst die Messzeit aufgrund der nur möglichen ein-kanäligen Messung deutlich länger wäre.

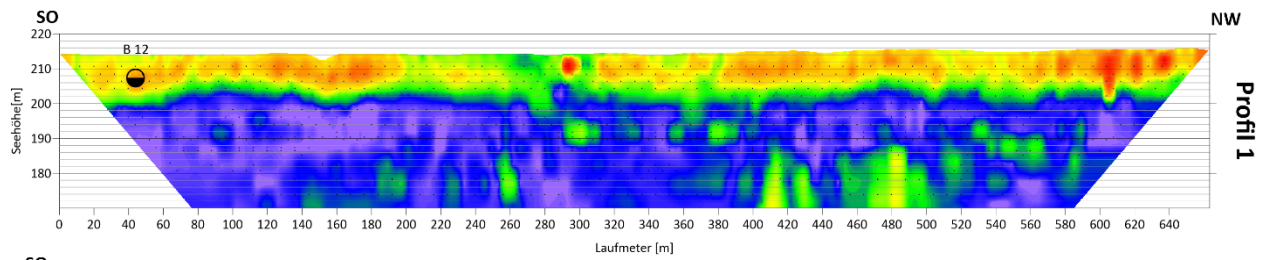


Abbildung 10: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 1. Elektrodenabstand 8 m.

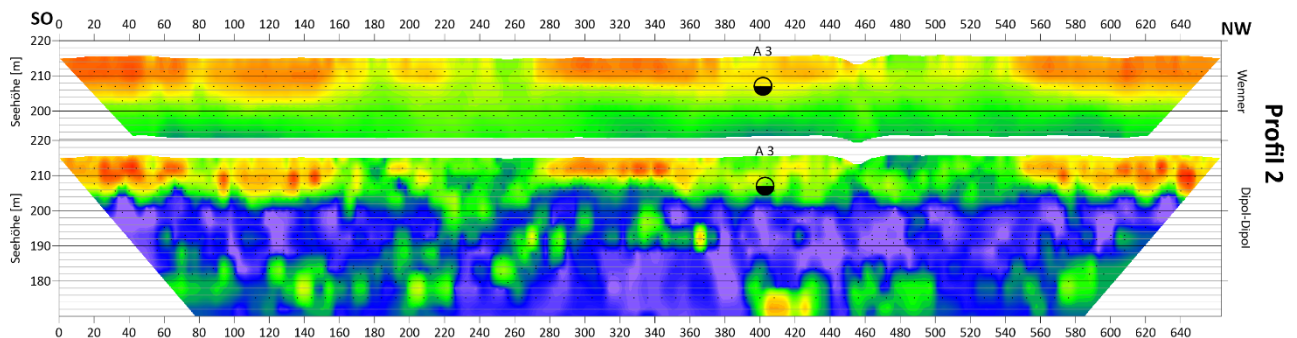


Abbildung 11: Inversionszwischenergebnis der Wenner Messung (oben) und Dipol-Dipol-Messung (unten) des Profils 2. Elektrodenabstand 8 m.

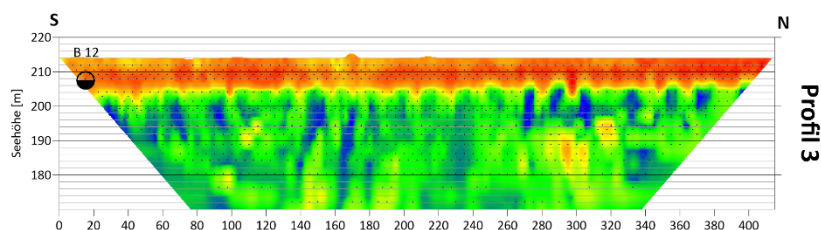


Abbildung 12: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 3. Elektrodenabstand 5 m.

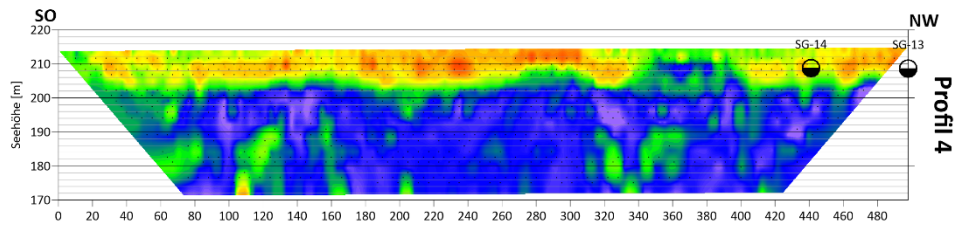


Abbildung 13: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 4. Elektrodenabstand 6 m.

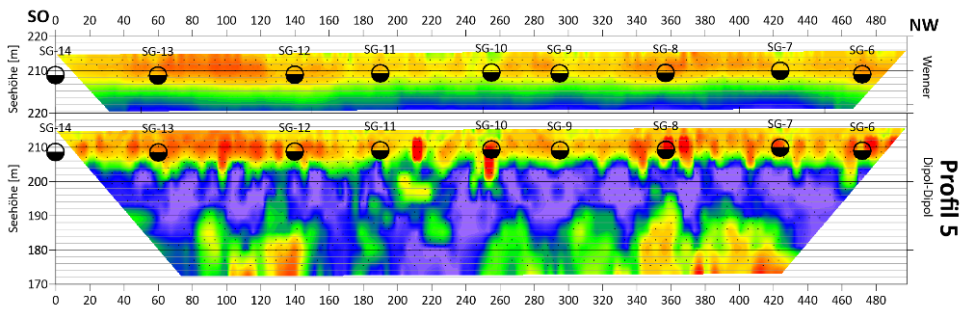


Abbildung 14: Inversionszwischenergebnis der Wenner-Messung (oben) und Dipol-Dipol-Messung (unten) des Profils 5. Elektrodenabstand 6 m.

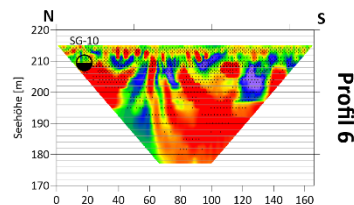
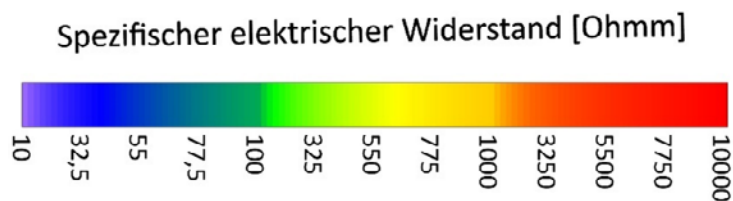


Abbildung 15: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 6. Elektrodenabstand 2 m.

4.4 Interpretation der Geoelektrik Daten

In den Geoelektrikprofilen können feinkörnige Sedimente (Schluffe, Tone, ...) als niederohmige Bereiche von grobkörnigen Sedimenten (Sande, Kiese, ...) unterschieden werden. Die gute Leitfähigkeit der feinkörnigen Sedimente (hoher Tonanteil) ist infolge seiner Grenzflächeneigenschaften (Kationenaustauschvermögen) neben der elektrolytischen Leitfähigkeit des Porenwassers gegeben. Die absoluten Werte können regional unterschiedlich sein, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass kleiner als wenige Hundert-Ohmmeter als feinkörnige Stauer interpretiert werden können. Im gegenständlichen Projekt entspricht dies der untenstehenden Farbgebung bei Blau/Violett (10 Ohmm) bis Grün (100 – 400 Ohmm).



Das heißt, dass blaue und grüne Bereiche in den Geoelektrikprofilen dem miozänen Stauer entsprechen und gelbe bis rote Bereiche dem grobkörnigen quartären Aquifer zugeordnet werden können.

In den folgenden zwei Abbildungen (Abbildung 16 und Abbildung 17) wurde die (niederohmige) miozäne Staueroberkante abschnittsweise interpretiert. Großteils korrelieren die lithologischen Informationen der Bohrungen mit den Ergebnissen der geoelektrischen Messungen genau. In jenen Abschnitten, wo geringe Abweichungen von wenigen Metern sichtbar sind, kann dies mehrere Gründe haben:

- Die Bohrungen liegen nicht direkt auf den Geoelektrik Profilen
- Die Stand-Stahlrohre der Bohrungen können die geoelektrischen Messungen beeinflussen
- Das horizontale und vertikale Auflösungsvermögen durch die großen (6 m und 8 m) Elektrodenabstände ist begrenzt, da es sich hier um Übersichtsprofile im Zuge eines Pilotprojektes handelt

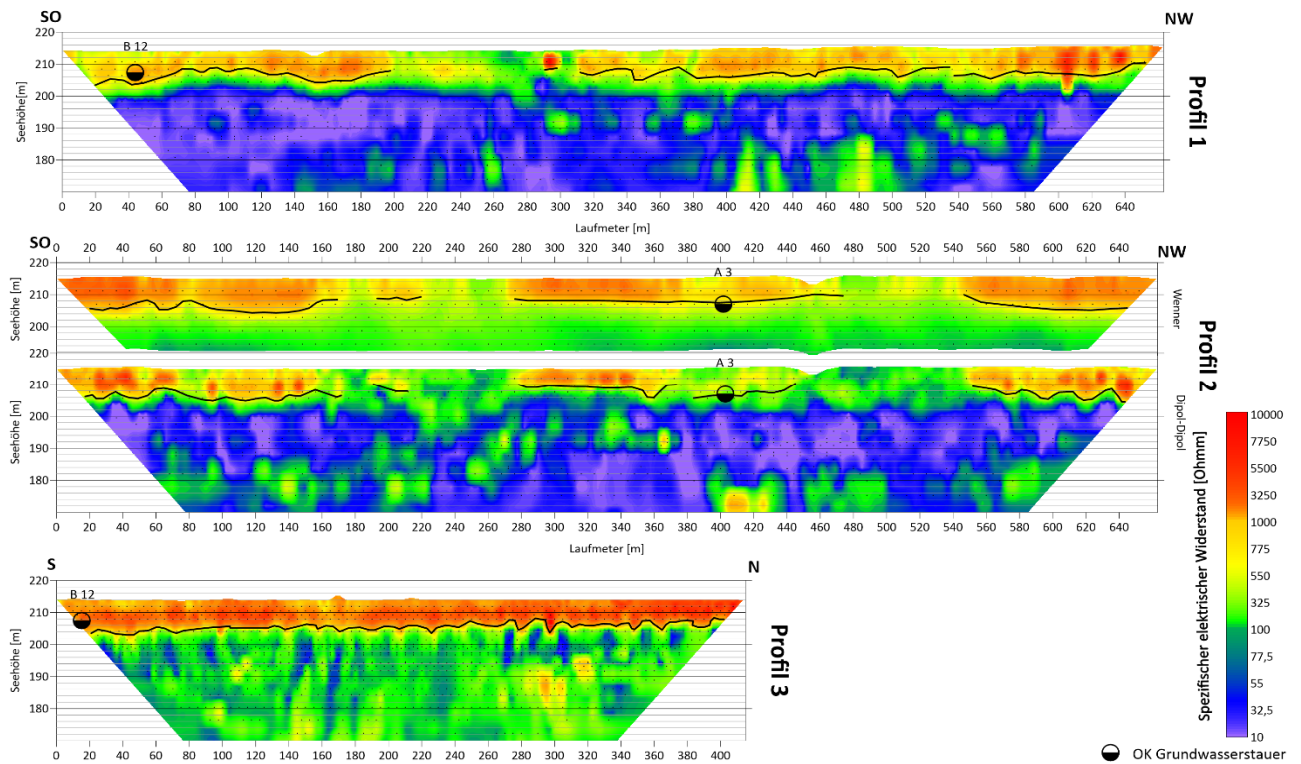


Abbildung 16: Interpretation der Geoelektrikprofile 1, 2 und 3 auf der österreichischen Seite der Mur.

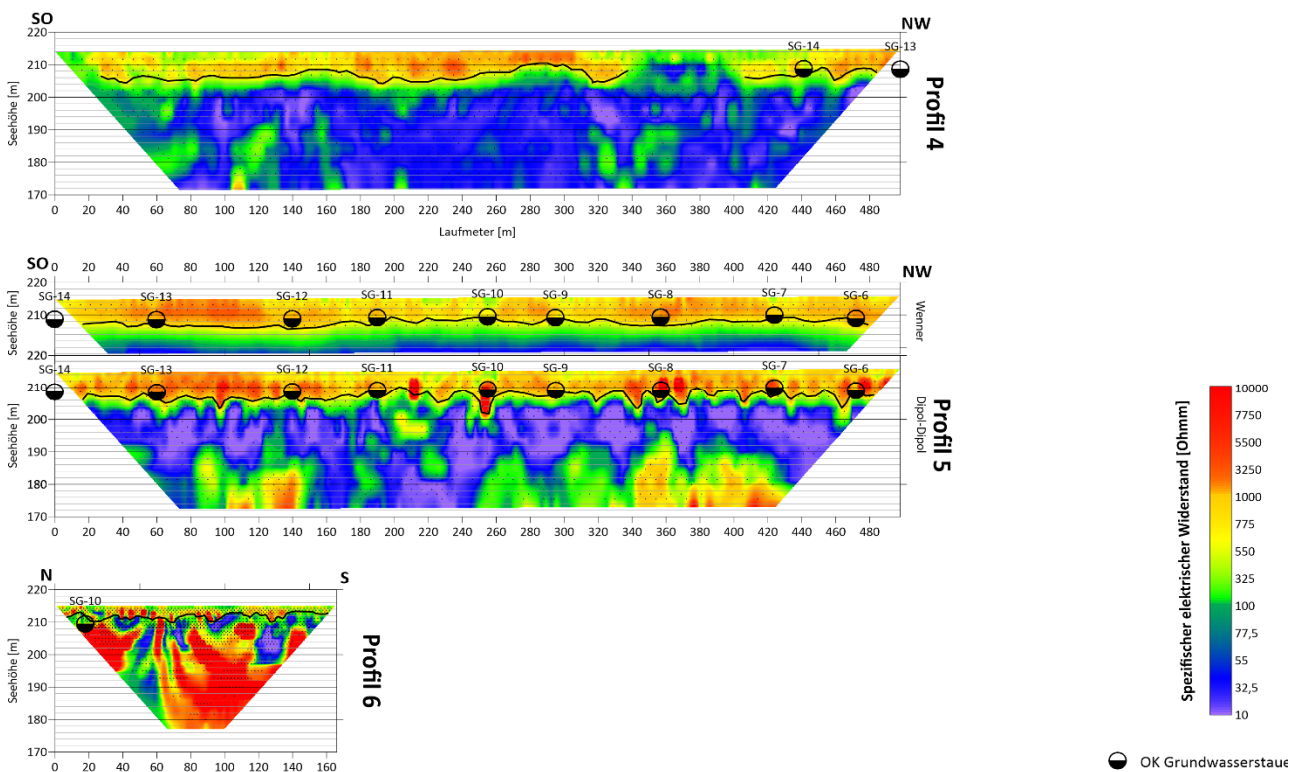


Abbildung 17: Interpretation der Geoelektrikprofile 4, 5 und 6 auf der slowenischen Seite der Mur.

5 Sub-Bottom Profiling

5.1 Akquisition der Sub-Bottom Profiling Daten

Am 19.10.2023 wurden von der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) und der Geo5 GmbH auf der Mur im Bereich zwischen Ratzenau und Bad Radkersburg Sub-Bottom Profiling Daten mit einer Gesamtlänge von ca. 14,3 km aufgenommen. Für die Messungen wurde ein Innomar SES2000-Messsystem montiert auf einem Schlauchboot verwendet (Abbildung 18 und Abbildung 19). Bei dem verwendeten System handelt es sich um ein parametrisches Echolot, das auf dem Konzept der nichtlinearen Erzeugung akustischer Wellen basiert. Dieses System sendet gleichzeitig zwei Hochfrequenzsignale (beide etwa 100 kHz) und erzeugt damit eine neue Frequenz, die der Differenz zwischen den beiden Primärfrequenzen entspricht. Das Sekundärsignal hat eine niedrigere Frequenz (zwischen 4 kHz und 15 kHz), was eine bessere Durchdringung des Untergrunds ermöglicht. Durch diesen Ansatz kann eine Auflösung von ca. 5 cm mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ cm} + 0,02 \%$ der Wassertiefe erreicht werden (Heine et al., 2017). Die Positionierung der Messdaten erfolgte durch einen Leica GS25 GNSS Empfänger mittels Echtzeitkinematik Positionierung (real time kinematic; RTK) über den APOS NTRIP Server (virtuelle Referenzstation).



Abbildung 18: Montage des Messsystems Innomar SES2000 auf das BOKU-Messboot.



Abbildung 19: Vorbereitungen für die Messungen an der Slipstelle in Ratzenau

Ursprünglich war angedacht, die Messungen weiter flussabwärts auf Höhe der Fahrradbrücke bei Donnersdorf zu starten. Aufgrund des niedrigen Pegelstands der Mur zum Zeitpunkt der Messung konnte die dort vorhandene Slipstelle nicht genutzt werden. Aus diesem Grund wurde die ca. 3,5 km weiter westliche Slipstelle bei Ratzenau für den Start der Messungen ausgewählt und von dort die Messungen begonnen (Abbildung 20).

Der niedrige Wasserstand stellte auch für diese Fahrt auf der Mur teilweise Probleme dar. An manchen Stellen war die Wassertiefe so gering, dass der Außenbordmotor am Flussbett aufsaß. In diesen Bereichen wurde der Motor gedrosselt und Schlauchboot trieb nur mit der Strömung flussabwärts. Das Innomar SES2000 wurde für die Messungen ca. 10 cm unter der Wasseroberfläche montiert. Um das Messgerät nicht zu beschädigen wurde es in den Flachwasserbereichen aus dem Wasser gehoben und die Messungen unterbrochen.



Abbildung 20: Start der Messungen auf Höhe der Slipstelle bei Ratzenau und Beginn der Messungen flussabwärts.

Die eigentlichen Testmessungen wurden auf Höhe des slowenischen Brunnenfeldes bei Apače durchgeführt. Dieses Messgebiet liegt zwischen den Geoelektrikprofilen auf dem österreichischen und slowenischen Murufer (Detailbild Abbildung 21). Während der Fahrt zum Messgebiet wurden zusätzlich bereits mehrere Testprofile mit unterschiedlichen Frequenzen akquiriert (weiße Linien in Abbildung 21). Diese beinhalten Sekundärfrequenzen von 4 kHz, 5 kHz, 6 kHz, 8 kHz, 10 kHz, 12 kHz und 15 kHz. Für die tieferen Frequenzen (bis ca. 6 oder 8 kHz) waren die Messungen teilweise aufgrund der geringen Wassertiefe problematisch. Idealerweise werden für die Messungen mit den tieferen Frequenzen Wassertiefen von mehr als 80 cm empfohlen. Diese Wassertiefen konnten mit dem aktuellen Pegelstand der Mur nur abschnittsweise angetroffen werden.

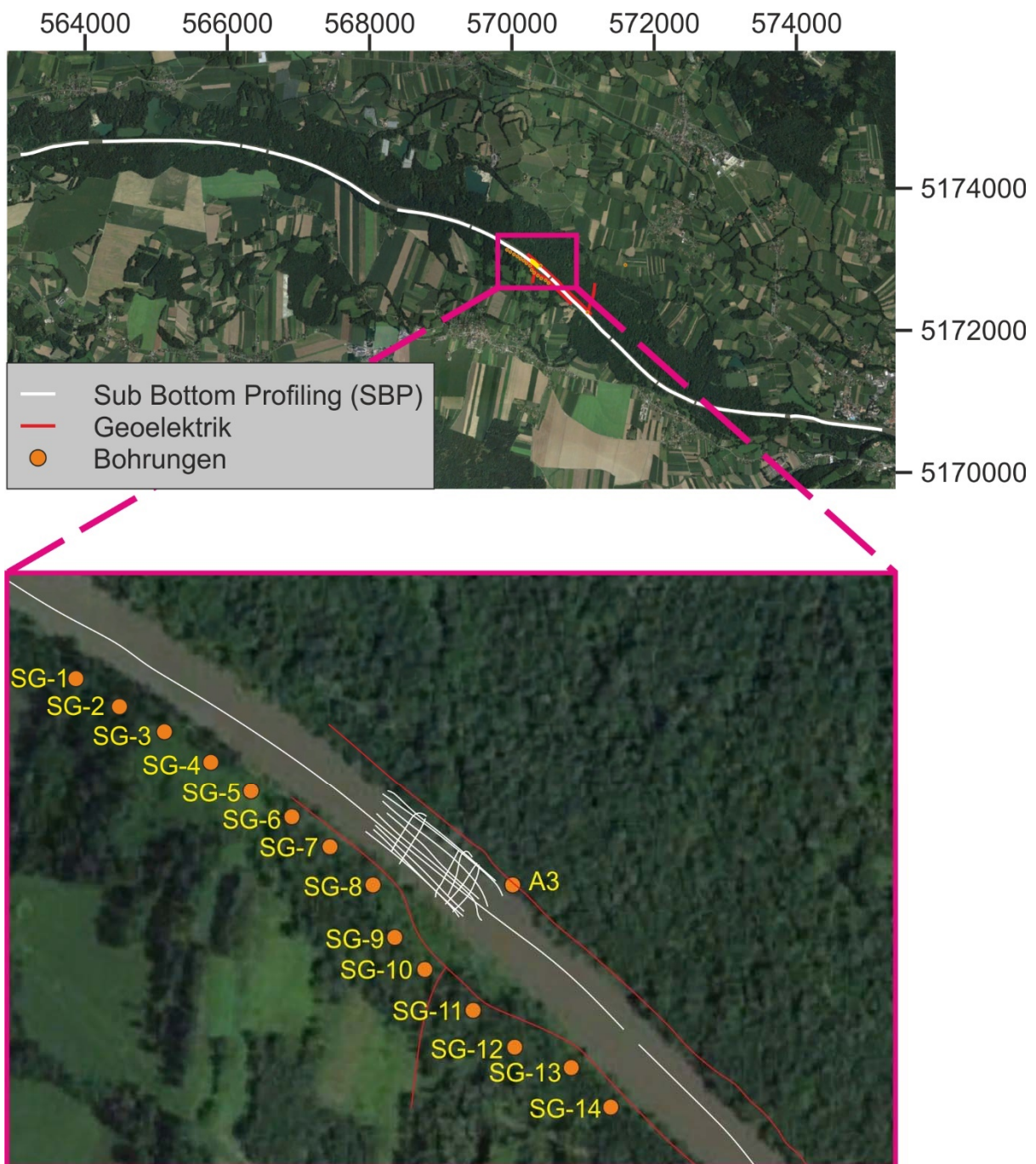


Abbildung 21: Messgebiet der Sub Bottom Profiling Messungen, sowie Detailansicht des Testgebiets im Bereich des Brunnenfeldes Apače. Koordinaten in UTM 33N

Im Bereich des Testgebiets war über große Bereiche eine ausreichend hohe Wassertiefe vorhanden. Deshalb wurden hier auch Querprofile gemessen und zusätzlich zu den flussabwärts gemessenen Profilen wurden Testmessungen bei der flussaufwärts Fahrt gemacht. Bei den Querprofilen und bei den Längsprofilen wurden dabei wieder unterschiedliche Frequenzen gemessen.

Nach der Messung der Messprofile im Testgebiet war es geplant wieder flussaufwärts zu fahren und hier Messungen, jedoch mit starker Motorleistung und dadurch Vibrationen des Motors (verursacht Störsignale), durchzuführen. Da das BOKU-Messboot bei den Messungen flussabwärts aber teilweise mit dem Motor aufgesessen ist, wurde kurzfristig entschieden, dass wir mit den Messungen flussabwärts fortfahren und an einer Slipstelle in Bad Radkersburg (Abbildung 22) wieder an Land gehen. Deshalb wurden anschließend ca. 6 km weitere Sub Bottom Profiling Daten zwischen Apače und Bad Radkersburg mit unterschiedlichen Frequenzen akquiriert.



Abbildung 22: Slipstelle in Bad Radkersburg.

Zur weiteren Verarbeitung und Interpretation wurde das eingehende analoge Signal der Sub Bottom Profiling Messungen in ein digitales SEG-Y-Format umgewandelt und diesem die durch GPS-Messungen erfassten Koordinaten zugeordnet. Für die Umrechnung von Zeit in Tiefe wurde eine konstante Geschwindigkeit von 1446 m/s sowohl für Wasser als auch für Sedimente angenommen.

In Tabelle 6 werden alle gemessenen Profile, deren Frequenz sowie deren Länge tabellarisch zusammengefasst.

Profil	Länge [m]	Frequenz [kHz]
Oberlauf_20231019_130843	990.81	10
Oberlauf_20231019_131611	531.73	12
Oberlauf_20231019_131955	612.78	15
Oberlauf_20231019_132351	333.06	8
Oberlauf_20231019_132556	416.19	6
Oberlauf_20231019_132827	341.17	5
Oberlauf_20231019_133032	1466.60	12
Oberlauf_20231019_133841	280.00	15
Oberlauf_20231019_134207	1063.35	15
Oberlauf_20231019_134758	1324.90	12
Quellenzone_laengs_abw_151056	139.50	8
Quellenzone_laengs_abw_151425	138.70	10
Quellenzone_laengs_abw_151806	142.67	12
Quellenzone_laengs_abw_152148	159.41	6
Quellenzone_laengs_aufw_150809	147.59	8
Quellenzone_laengs_aufw_151210	169.27	10
Quellenzone_laengs_aufw_151548	170.02	12
Quellenzone_laengs_aufw_151925	178.72	6
Quellenzone_quer_150018	62.56	10
Quellenzone_quer_150151	73.50	8
Quellenzone_quer_150337	63.13	6
Quellenzone_quer_150446	80.71	4
Quellenzone_quer_150559	61.99	15
Quellenzone_quer_150657	59.82	10
Unterlauf_135515	490.70	10
Unterlauf_152805	786.01	10
Unterlauf_153301	888.14	12
Unterlauf_153711	597.07	6
Unterlauf_153953	511.05	8
Unterlauf_154215	747.78	10
Unterlauf_154604	1339.31	12

Gesamtlänge	14368.24
--------------------	-----------------

Tabelle 6: Zusammenfassung der gemessenen Sub-Bottom Profiling Daten. Es wurden insgesamt 14.368,24 m SBP-Daten aufgenommen.

5.2 Interpretation der Sub-Bottom Profiling Daten

Die gemessenen Sub-Bottom Profiling Daten wurden in die Interpretationssoftware Petrel (Schlumberger) geladen. Diese Datensätze beinhalten Aufnahmen mit unterschiedlichen Frequenzen (4 kHz bzw. 15 kHz). Nach dem Laden der Daten wurden die Profile auf ihre Lagerichtigkeit überprüft. Für jedes SBP-Profil wird das Höhenkorrekturniveau (Seismic Reference Datum (SRD)) entsprechend der Angaben aus den EBCDIC-Headern der SEG-Y-Daten definiert. Dieses SRD definiert die Seehöhe der ersten Samples pro Sektion. Anschließend wurde für jedes Profil eine Datenoptimierung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde zuerst ein AGC (Automatic Gain Control) angewandt um eine gleichmäßige Amplitudendarstellung zu erhalten. Anschließend wurde für jedes Profil ein sogenanntes „structural oriented smoothing“ durchgeführt. Dabei wird für jeden Samplepunkt ein Wert für die Neigung (Einfallen) der Reflektoren ermittelt und ein Medianfilter für die Glättung der Daten verwendet. Das Analysefenster dieses Medianfilters folgt dabei der zuvor ermittelten Reflektorneigung. Dadurch kann eine Glättung der Daten ohne „Verschmieren“ von Reflektordiskontinuitäten erzielt werden. Für die Interpretation wurde anschließend im Bereich der verdichteten Testmessungen eine Überprüfung der vertikalen Lagerichtigkeit der Profile zueinander durchgeführt (seismic-to-seismic tie). Zu diesem Zweck wird eine Sektion als Referenz definiert und an den Kreuzungspunkten wird mit den anderen Profilen eine Autokorrelation der seismischen Spuren berechnet. Als Resultat erhält man eine Tabelle mit notwendigen vertikalen Verschiebungen an den jeweiligen Kreuzungspunkten. Anschließend müssen diese für jedes Profil separat definiert werden. Prinzipiell ist es möglich diese Verschiebung entlang eines Profils unterschiedlich zu machen, wobei zwischen den Kreuzungspunkten eine Interpolation der notwendigen Verschiebung berechnet wird.

Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen werden unterschiedliche Eindringtiefen und auch Auflösungen erzielt (Abbildung 23). Bei den Messungen mit den tieferen Frequenzen (4 und 6 kHz, teilweise auch 8 kHz) zeigte sich, dass die Wassertiefen für die Messungen nicht optimal sind. Vom Hersteller des Messsystems werden ca. 80 cm an Mindestwassertiefe für die tieferen Frequenzen empfohlen. Diese Mindesttiefe konnte aufgrund des niedrigen Pegels nur teilweise erreicht werden. Prinzipiell eignen sich die tieferen Frequenzen sehr gut um die Internstrukturen des Stauers zu visualisieren. In den aktuellen Testmessungen sind aber wegen des geringen Wasserstandes während der Messungen die Profile mit 10 kHz und 12 kHz zu bevorzugen. Profile mit 15 kHz haben zwar die höchste vertikale Auflösung, allerdings ist hier die Dämpfung auch am stärksten und damit ist die Eindringtiefe in die Flusssedimenten gering.

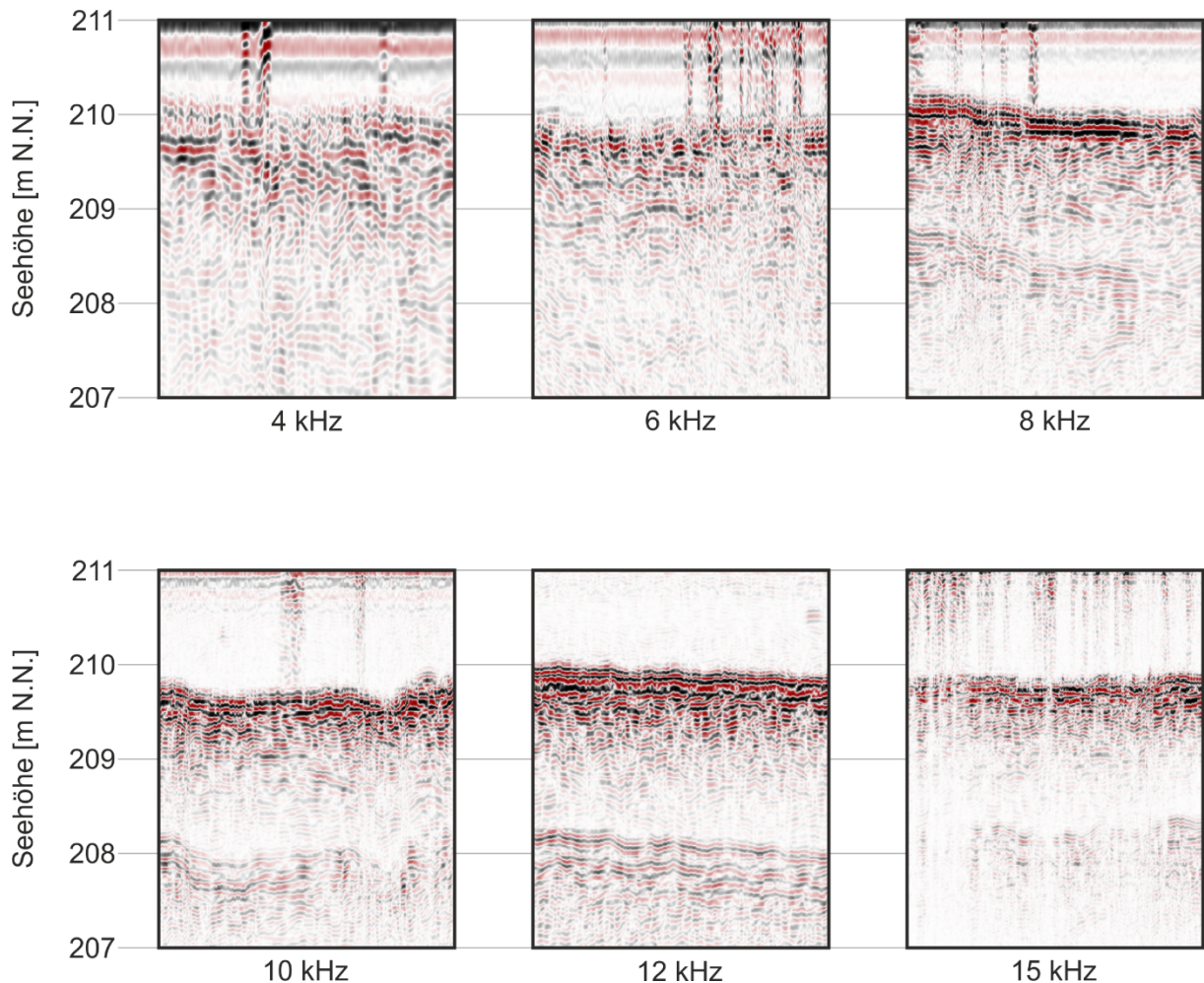


Abbildung 23: Beispiele für unterschiedliche Frequenzen. Die Profile wurden an verschiedenen Positionen akquiriert und zeigen deshalb nicht die gleichen Strukturen.

Von den 31 gemessenen Profilen wurden hauptsächlich die Profile im Bereich des Brunnenfeldes interpretiert. Zusätzlich wurden ausgewählte Einzelprofile hinsichtlich Flusssedimenten und darunter liegendem Stauer interpretiert. Bei dieser Interpretation wurde jedes Profil separat interpretiert, eine Zusammenführung der Einzelinterpretation (Strukturkarten) wurde bisher nicht durchgeführt.

In den folgenden Bildern (Abbildung 24 bis Abbildung 28) werden einzelne Ausschnitte aus verschiedenen Profilen exemplarisch dargestellt. In diesen Bildern gibt die Karte im rechten unteren Bildrand jeweils die ungefähre Position des Ausschnittes an. Als farbige Linien wurden die Oberkante des Flussbetts (blau) und die Oberkante des Stauers (grün) eingezeichnet, bei den Querprofilen wird zusätzlich die aus den Bohrungsdaten ermittelten Staueroberkanten (orange, strichliert) eingezeichnet. Die Oberkante des Stauers entspricht vermutlich der Unterkante der quartären Flusssedimente. Zusätzlich erkennt man in den Profilen Internstrukturen des Stauers. In den Längsprofilen mit tieferen Frequenzen (höhere Eindringtiefe) sind diese öfters als in Flussrichtung (scheinbar) einfallende Reflektoren erkennbar (z.B. in

Abbildung 24). Die Sedimente dürften in einigen Bereichen sehr geringmächtig sein bzw. teilweise komplett erodiert sein (z.B. Abbildung 25 und Abbildung 26). In den unteren Bildbereichen erkennt man meist ein ähnliches Reflexionsbild wie zwischen Flussunterkante und Sedimentunterkante. Hierbei handelt es sich um Multiplen des Signals, damit sind diese keine echten Strukturen in dieser Tiefe, sondern eine "Wiederholung" der seichteren Strukturen. In den Sedimenten sind die Amplituden oft sehr hoch und die darunter liegenden Strukturen zeigen geringe Amplituden. Hier dürften die seicht liegenden Sedimente, und auch der Stauer selbst, das Signal sehr stark dämpfen.

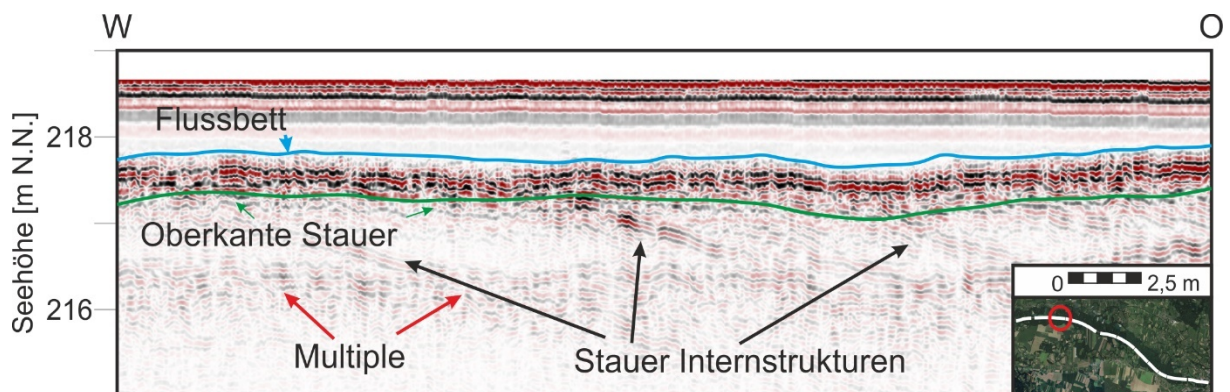


Abbildung 24: Ausschnitt aus dem Längsprofil "Oberlauf_20231019_132351", aufgenommen mit 8kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seicht liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.

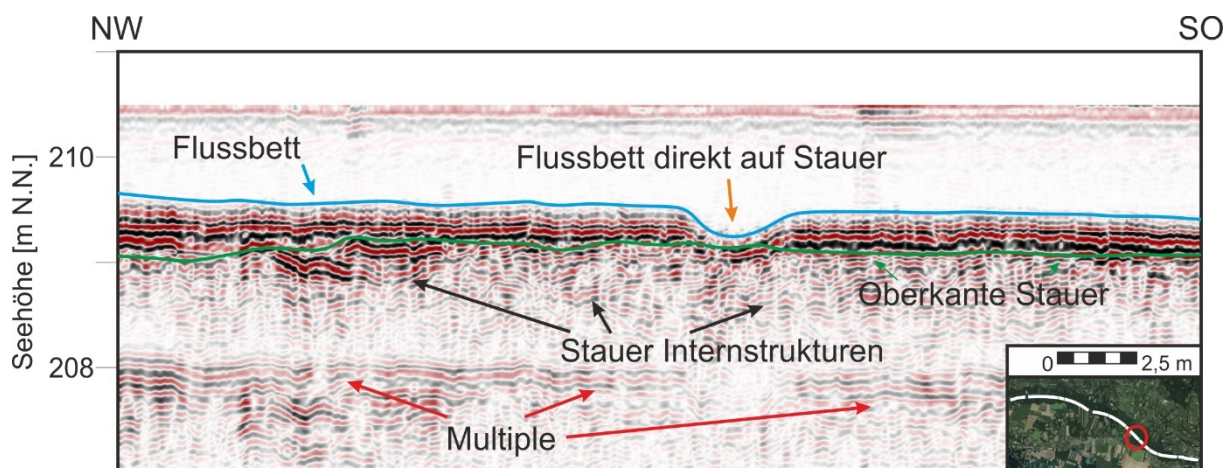


Abbildung 25: Ausschnitt aus dem Längsprofil "Unterlauf_152805", aufgenommen mit 10 kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seicht liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.

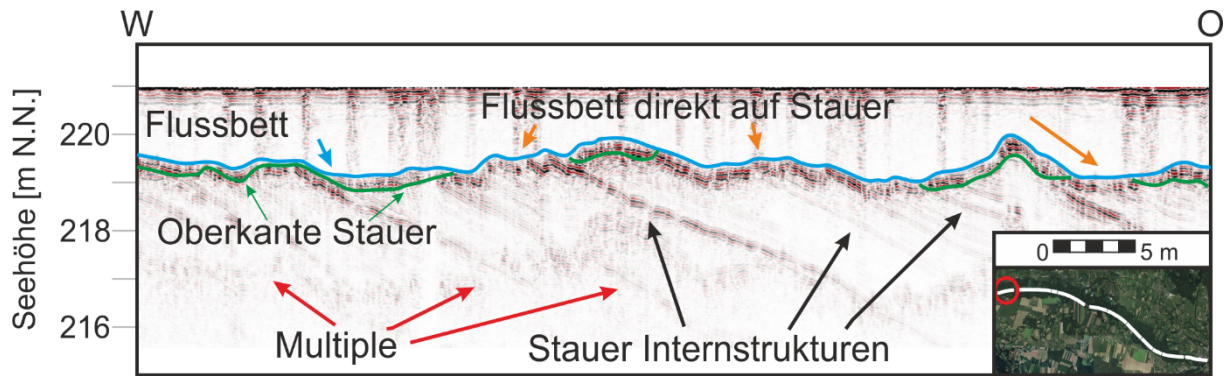


Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Längsprofil "Oberlauf_20231019_130843", aufgenommen mit 10 kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauer wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauer. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.

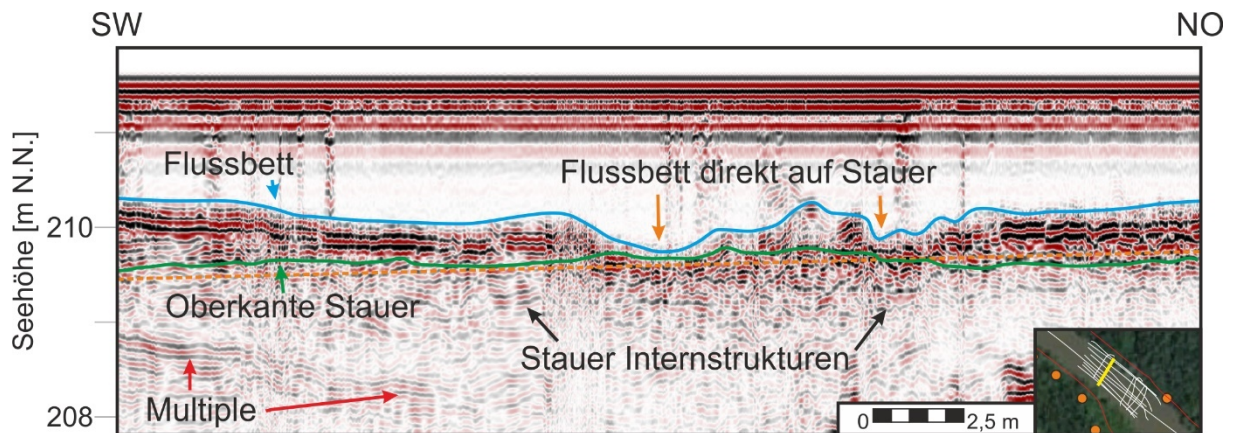


Abbildung 27: Ausschnitt aus dem Querprofil "Quellenzone_quer_150151", aufgenommen mit 8 kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauer wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauer. Die orange, strichlierte Linie zeigt die aus den Bohrungsdaten berechnete Staueroberkante für das ausgewählte Profil. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.

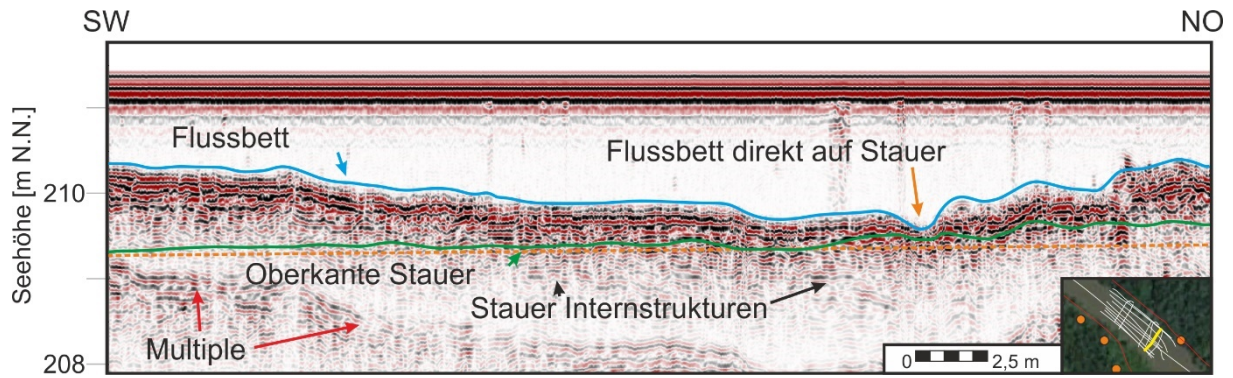


Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Querprofil "Quellenzone_quer_150657", aufgenommen mit 10 kHz In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. Die orange, strichlierte Linie zeigt die aus den Bohrungsdaten berechnete Staueroberkante für das ausgewählte Profil. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.

6 Literatur

Berkold & 21 Coautoren (1997): Geoelektrik. In Knödel K., Krummel H. & Lange G. (Herausg.): Geophysik. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3, 65-367, Springer-Verlag.

Friedel S. (1997): Hochauflösende Geoelektrik - Geoelektrische Tomographie. In: M. Beblo (Herausg.): Umweltgeophysik, 131-151, Berlin.

Greinwald S. & Thierbach R. (1997): Elektrische Eigenschaften der Gesteine. In: M. Beblo (Herausg.): Umweltgeophysik, 89-96, Berlin.

Heine, E. (2017): Multi-Transducer Sediment Echo Sounder for 3D Documentation of Submerged Archaeological Sites - a Case Study at a Prehistoric Pile Dwelling at Lake Mondsee (Austria). FIG Working Week 2017, Helsinki, Finland.

Lange G. & Jacobs F. (1997): Gleichstromgeoelektrik. In Knödel K., Krummel H. & Lange G. (Herausg.): Geophysik. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3, 122-165, Springer-Verlag.

Mundry E. (1985): Gleichstromverfahren. In: Bender F. (Herausg.): Angewandte Geowissenschaften, Band II, 301-338, Stuttgart.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtslageplan der geoelektrischen Profile (rot) und Sub-Bottom Profiling Daten (blau). Die vorhandenen Bohrungen sind mit gelben Kreissymbolen und Kontrollprofile der Multibeam Daten mit roten Kreisen eingetragen.	4
Abbildung 2: Geologische Bohrprofile der Bohrungen A3, B11 und B12 auf der österreichischen Seite der Mur.....	5
Abbildung 3: Kontrollprofil 13A der digitalen Vermessung der Grenzmur, Flusskilometer 115,358, in der Nähe der Geoelektrikprofile und der SBP-Daten des gegenständlichen Pilotprojektes.....	6
Abbildung 4: Lage des Kontrollprofils 13A in der Nähe der slowenischen Ortschaft Apače	6
Abbildung 5: Lageskizze des Messgebietes mit der Lage der geoelektrischen Profile (rot).	9
Abbildung 6: Ausschnitte aus dem Profilverlauf der Profile 3 (links) und 1 (rechts).....	12
Abbildung 7: Geodätische Vermessung an Profil 5.	12
Abbildung 8: Profilkreuzung der Profile 5 und 6. Rechts im Bild ein Brunnen des Brunnenfeldes Apače.....	13
Abbildung 9: Messaperatur am Profil 4.	13
Abbildung 10: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 1. Elektrodenabstand 8 m.	15
Abbildung 11: Inversionszwischenergebnis der Wenner Messung (oben) und Dipol-Dipol-Messung (unten) des Profils 2. Elektrodenabstand 8 m.	15
Abbildung 12: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 3. Elektrodenabstand 5 m.	15
Abbildung 13: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 4. Elektrodenabstand 6 m.	16
Abbildung 14: Inversionszwischenergebnis der Wenner-Messung (oben) und Dipol-Dipol-Messung (unten) des Profils 5. Elektrodenabstand 6 m.	16
Abbildung 15: Inversionszwischenergebnis der Dipol-Dipol-Messung des Profils 6. Elektrodenabstand 2 m.	16
Abbildung 16: Interpretation der Geoelektrikprofile 1, 2 und 3 auf der österreichischen Seite der Mur.	18
Abbildung 17: Interpretation der Geoelektrikprofile 4, 5 und 6 auf der slowenischen Seite der Mur.	18
Abbildung 18: Montage des Messsystems Innomar SES2000 auf das Messboot.....	19
Abbildung 19: Vorbereitungen für die Messungen an der Slipstelle in Ratzenau	20
Abbildung 20: Start der Messungen auf Höhe der Slipstelle bei Ratzenau und Beginn der Messungen flussabwärts.....	21

Abbildung 21: Messgebiet der Sub Bottom Profiling Messungen, sowie Detailansicht des Testgebiets im Bereich des Brunnenfeldes Apače. Koordinaten in UTM 33N	22
Abbildung 22: Slipstelle in Bad Radkersburg.....	23
Abbildung 23: Beispiele für unterschiedliche Frequenzen. Die Profile wurden an verschiedenen Positionen akquiriert und zeigen deshalb nicht die gleichen Strukturen.	26
Abbildung 24: Ausschnitt aus dem Profil "Oberlauf_20231019_132351", aufgenommen mit 8kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.	27
Abbildung 25: Ausschnitt aus dem Profil "Unterlauf_152805", aufgenommen mit 10 kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.....	27
Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Profil " Oberlauf_20231019_130843", aufgenommen mit 10 kHz In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.	28
Abbildung 27: Ausschnitt aus dem Profil "Quellenzone_quer_150151", aufgenommen mit 8 kHz. In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. Die orange, strichlierte Linie zeigt die aus den Bohrungsdaten berechnete Staueroberkante für das ausgewählte Profil. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.....	28
Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Profil " Quellenzone_quer_150657", aufgenommen mit 10 kHz In blauer Farbe ist die Oberkante des Flussbettes eingezeichnet, die Oberkante des Stauers wurde in grüner Farbe kartiert. Die roten Pfeile zeigen Bereiche mit Multiplen der seichter liegenden Strukturen und die schwarzen Pfeile zeigen Internstrukturen des Stauers. Die orange, strichlierte Linie zeigt die aus den Bohrungsdaten berechnete Staueroberkante für das ausgewählte Profil. In der rechten unteren Ecke wird die ungefähre Position des Ausschnittes angegeben.....	29

Tabellenverzeichnis

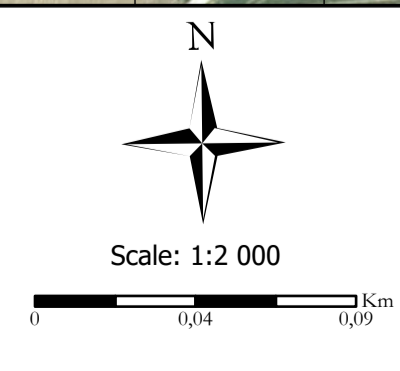
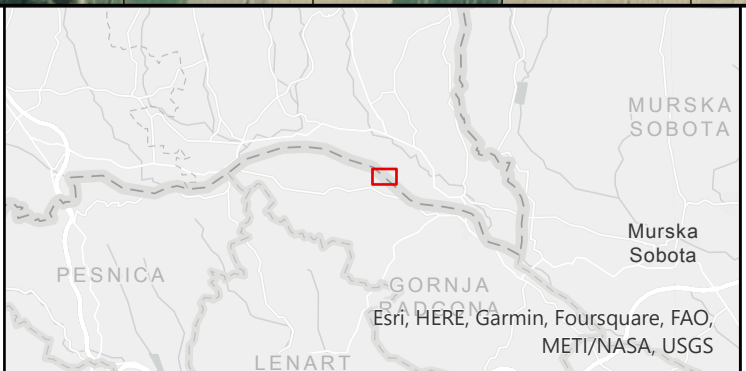
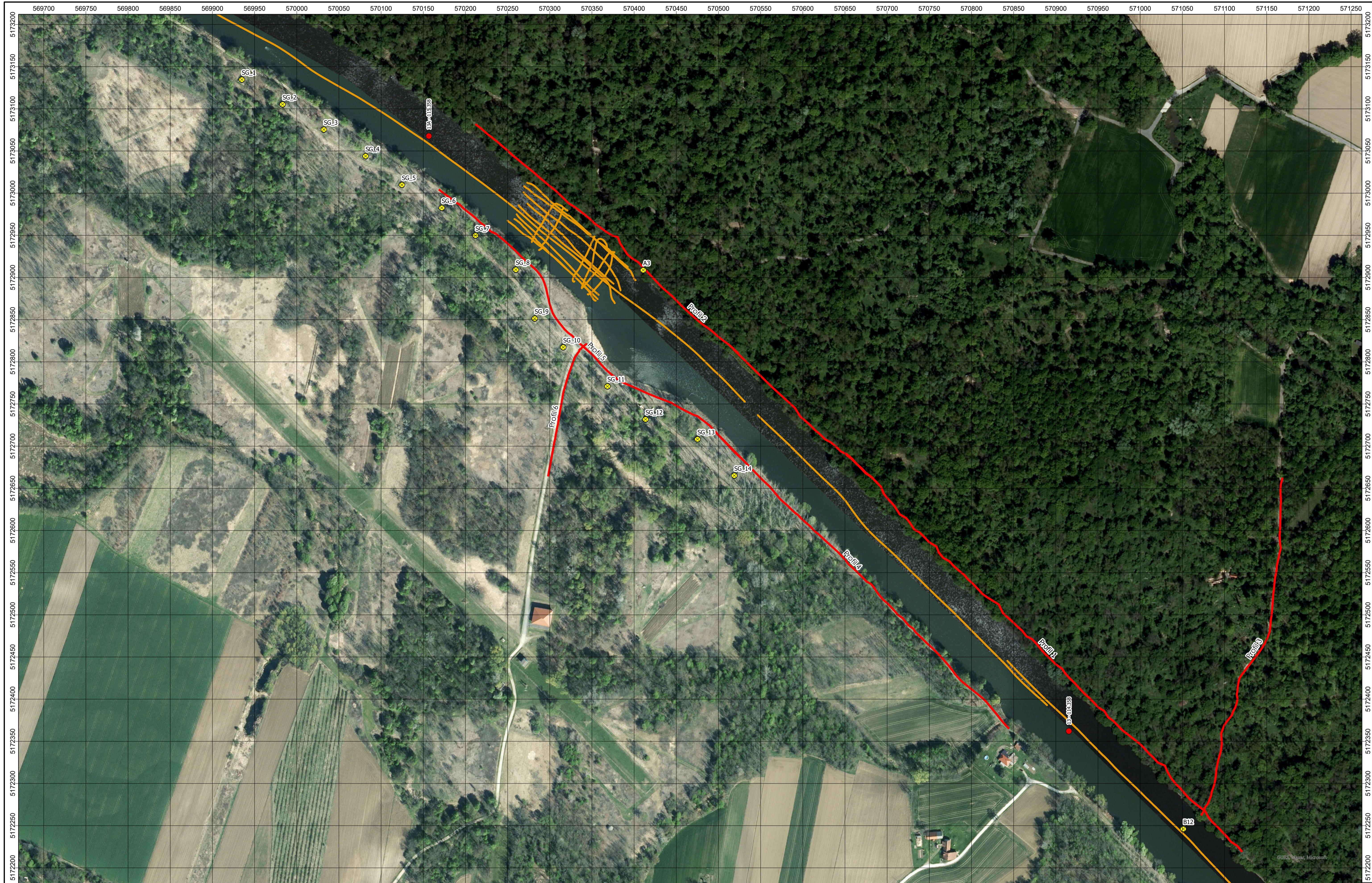
Tabelle 1: Übersicht der Bohrungen auf österreichischer und slowenischer Seite der Mur, von denen die Referenzseehöhe für geoelektrischen und SBP Daten für den (miozänen) Stauer verwendet wurden.	5
Tabelle 2: Typische spezifische elektrische Widerstandsbereiche für wasserführende Lockersedimente, Festgesteine und Wässer (zusammengestellt aus Berktold et al. (1997), Greinwald & Thierbach (1997) und Mundry (1985)).....	7
Tabelle 3: Messfortschritt bei der "Dipol-Dipol" und „Wenner“ Elektrodenkonfiguration (A und B speisen den Strom ein, M und N messen die Spannung). Durch Vergrößerung der Elektrodenauslage nimmt die Erkundungstiefe zu. Siehe hierzu auch Mundry, 1985.....	10
Tabelle 4: Zusammenfassung der „Eckdaten“ der Profile 1 bis 6.....	11
Tabelle 5: Inversionsdaten der geoelektrischen Auswertung	14
Tabelle 6: Zusammenfassung der gemessenen Sub-Bottom Profiling Daten. Es wurden insgesamt 14.368,24 m SBP-Daten aufgenommen.....	24



Wissen das in die Tiefe geht

Geo5 GmbH Ingenieurbüro, 8700 Leoben, Roseggerstraße 17
FN 435764 f, Landesgericht Leoben, UID-Nummer: ATU69656525, DVR-Nr.: 4014832.

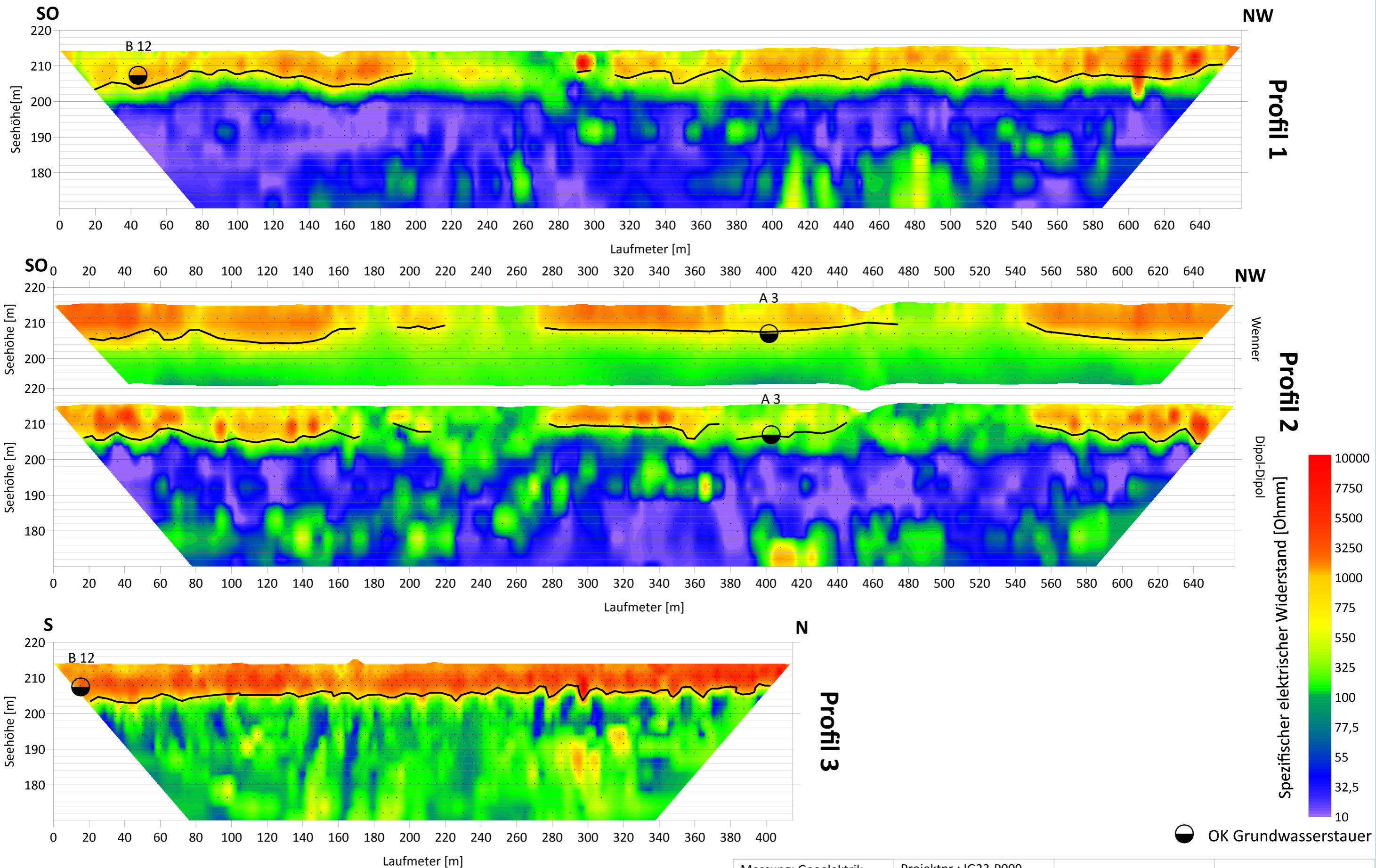
office@geo-5.at
www.geo-5.at



Legend	
●	Kontrolprofil
X	Pegel
—	Geoelektrikprofil
—	SubbottomProfiles

Land STMK Grenzmur	
Project number: IG23-P009	11/2023
Method: Geoelektrik/SBP	
Date: 09./10.2023	Editor: BIH
Operator: BIH	
Device: AGI SuperSting	Editor: BIH
Mur_Lageplan.agx	
Anlage: 1	

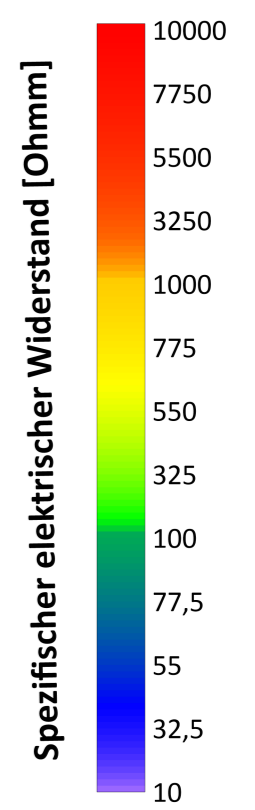
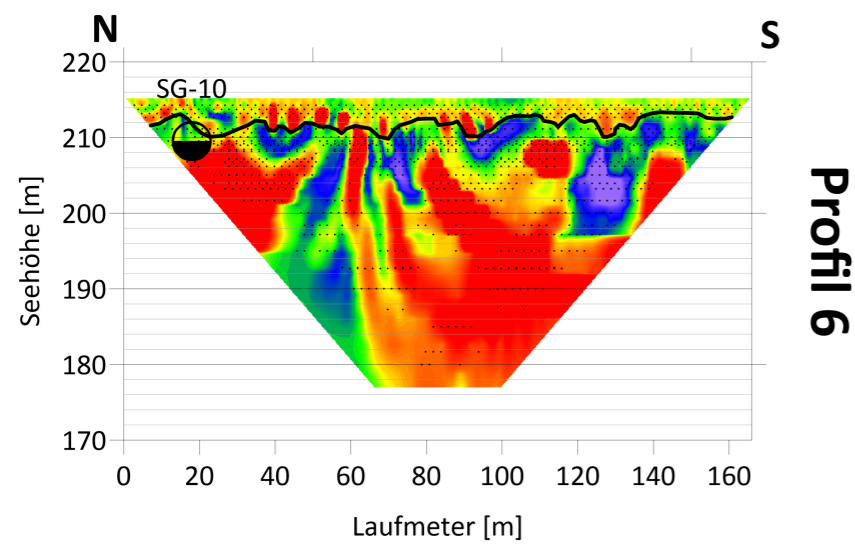
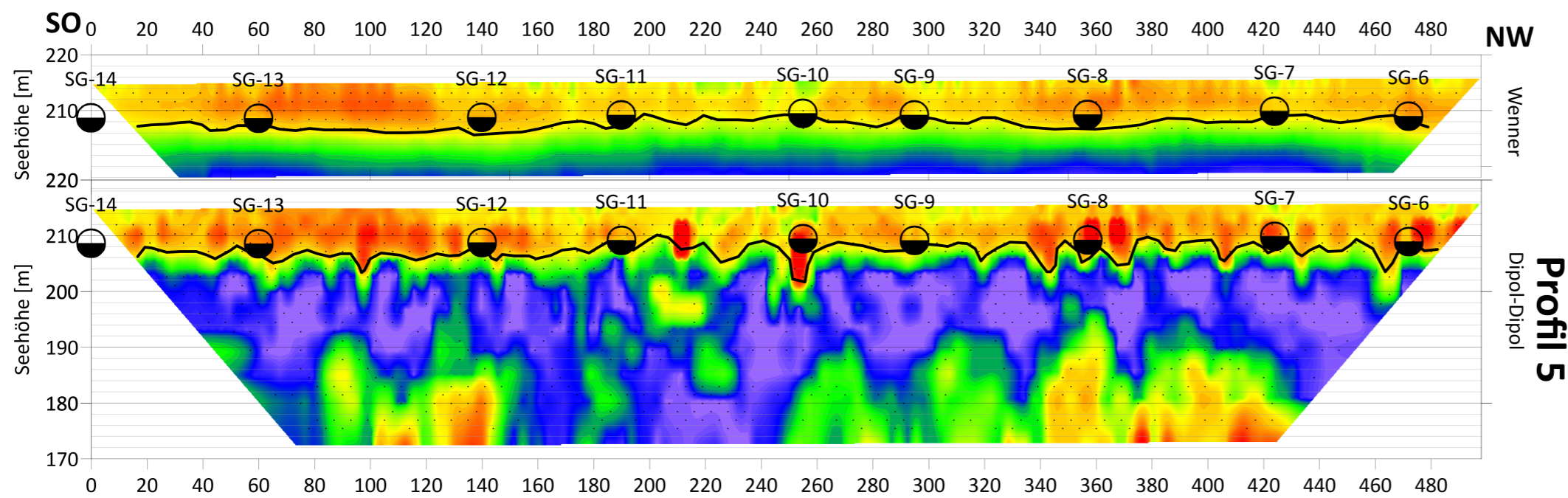
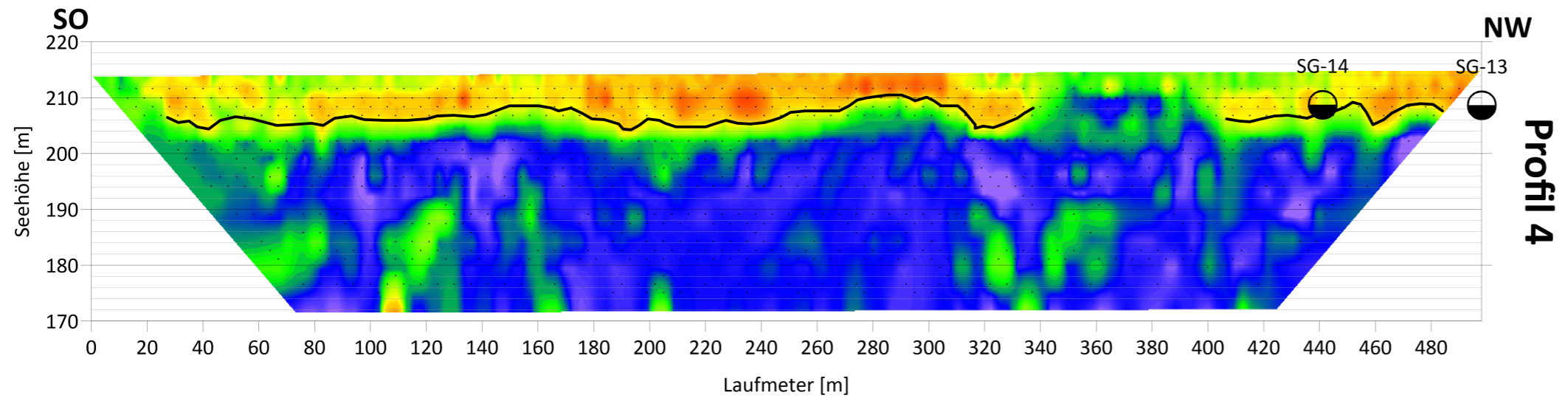




Messung: Geoelektrik	Projektnr.: IG23-P009
Datum: 09/10.2023	Maßstab: 1:2000/1000
Operator: BIH	Stand: 11.2023
Bearbeit.: BIH	Anlage: 2
Messinstrument:	File: Mur123.srf
AGI SuperSting	www.geo-5.at

**Land STMK
Geoelektrik**

Überhöhung 2:1



○ OK Grundwasserstauer

Überhöhung 2:1

Messung: Geoelektrik	Projektnr.: IG23-P009
Datum: 09/10.2023	Maßstab: 1:2000/1000
Operator: BIH	Stand: 11.2023
Bearbeit.: BIH	Anlage: 3
Messinstrument:	File: Mur456.srf
AGI SuperSting	www.geo-5.at

**Land STMK
Geoelektrik**