



GeoSphere
Austria

Bundesanstalt für
Geologie, Geophysik,
Klimatologie und
Meteorologie

Department Oberflächennahe Geophysik

Kompetenzeinheit Geoelektrik, Radiometrie

Projekt ÜLG-90

Zwischenbericht 2023

***Weiterentwicklung geophysikalischer
Methoden:***

Testsite, GEOMON4D-IP

von

Ottowitz D. und Pfeiler S.

30 S., 14 Abb.

Wien, Jänner 2024



GeoSphere
Austria

BUNDESANSTALT FÜR GEOLOGIE, GEOPHYSIK, KLIMATOLOGIE UND
METEOROLOGIE

STANDORT: NEULINGGASSE 38, 1030 WIEN

PROJEKTLEITUNG:

MAG. DAVID OTTOWITZ (KOMPETENZEINHEIT GEOELEKTRIK, RADIOMETRIE)

STELLVERTRETER: MAG. STEFAN PFEILER (KOMPETENZEINHEIT GEOELEKTRIK,
RADIOMETRIE)

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER

DEPARTMENT OBERFLÄCHENNAHE GEOPHYSIK

KOMPETENZEINHEIT GEOELEKTRIK, RADIOMETRIE

MAG. S. PFEILER	GEOPHYSIK
MAG. ^A B. JOCHUM	GEOPHYSIK/GIS
MAG. A. RÖMER	GEOPHYSIK
MAG. ^A A. ITA	GEOPHYSIK
MAG. ^A S. GRUBER	GEOPHYSIK
DIPL.-ING. PHILIPP HÖGENAUER	GEOPHYSIK
M. HEIDOVITSCH	TECHNIKER

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sei herzlich für die gute Zusammenarbeit gedankt!

Die Projektdurchführung erfolgte im Rahmen des Programms zum Vollzug des Lagerstättengesetzes (VLG) im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung und des Bundesministeriums für Finanzen.

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Projektziele	5
3. Betrieb, Erweiterung – Testsite Pöverding	5
4. Weiterentwicklung Geomon4D-IP	8
5. Weiterentwicklung diverser geophysikalischer Methoden	14
5.1. Methodenevaluierung und Methodenauswahl	15
5.2. Geoelektrik	15
5.2.1. 3D-Effekte.....	15
5.2.2. Lokalisierung/Beurteilung ausgewählter Testobjekte	18
5.3. Bodenelektromagnetik	22
5.4. Bodenradiometrie	23
5.5. Drohnenmessungen	23
6. Ausblick 2024	24
7. Literatur	27
8. Anhang	28

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes ÜLG-78 „GEOTEST“ wurde im Raum Pöverding/Bezirk Melk von 2020 bis 2022 ein geophysikalisches Testgelände (Testsite) installiert. Im Rahmen des Projektes ÜLG-90 werden die bisher durchgeführten geophysikalischen Messungen an der dort installierten Testinfrastruktur fortgeführt und auf gezielte Fragestellungen fokussiert, um die jeweilige Messmethode hinsichtlich Datenakquisition, Auswertung und Interpretation weiterzuentwickeln. Zudem soll die Testinfrastruktur entsprechend den sich ergebenden Anforderungen erweitert werden. Einen zweiten zentralen Punkt in diesem Projekt stellen weitere Entwicklungsschritte beim Geomon4D-IP Messsystem dar. Die Grundlage für die konkreten Schritte der Weiterentwicklung bilden die Erfahrungen, die beim Einsatz des Messsystems bei diversen geophysikalischen Fragestellungen seit Ende des Projekts ÜLG-76 gewonnen wurden. Die Verifizierung der jeweiligen Entwicklungsschritte auf ihre Feldtauglichkeit soll sowohl unter Nutzung der Testinfrastruktur in Pöverding als auch bei Messungen für flankierende (ÜLG) Projekte erfolgen.

2. Projektziele

- Weiterführung und entsprechender Ausbau des geophysikalischen Testgeländes Pöverding (NÖ)
- Erweiterung und Adaptierung des Testgeländes für weitere geophysikalische Methoden bzw. Fragestellungen (z.B. Eigenpotenzial, geoelektrisches Monitoring, etc.)
- Weiterentwicklung des Geomon4D-IP Messsystems inklusive Verifizierung der Entwicklungsschritte mittels Feldtests
- Generierung von Monitoringdatensätzen für induzierte Polaristaion (IP) Messungen als Datengrundlage für die Weiterentwicklung entsprechender IP Auswertesoftware (außerhalb des ÜLG-90)
- Beurteilung diverser Open-Source Software Pakete (z.B. pyGIMLi (Python Geophysical Modelling and Inversion Library), ResIPy, etc.) im Vergleich zu den bisher genutzten Softwareprodukten (z.B. Res2DINV, AGI Earthimager, DC2DPro, etc.) für die Auswertung geophysikalischer Messdaten, Weiterentwicklung der IP-Datenauswertung

3. Betrieb, Erweiterung – Testsite Pöverding

In diesem Kapitel werden die weiteren Ausbaupläne bzw. Adaptierungen des geophysikalischen Testgeländes, basierend auf den Erfahrungen der bisher durchgeführten Messungen, dargelegt. Zudem wird ein kurzer Ausblick auf die mittelfristige bzw. langfristige Nutzung des Areals in Pöverding gegeben.

Neben den räumlichen Möglichkeiten diverse geophysikalische Messmethoden in relativ störungsfreier Umgebung testen zu können, ist der Bereich der Testsite, der sich durch vergrabene Testobjekte (z.B. Stahlplatten (unterschiedliche Lage), Edelstahlfass, Regenfass, etc.) auszeichnet, für das gegenständliche Projekt natürlich von zentraler Bedeutung (Weiterentwicklung/Optimierung der Datenakquisition, Auswertung, Interpretation

geophysikalischer Methoden im Bereich genau bekannter Testobjekte). Die Bewertung der bisher durchgeführten geophysikalischen Messungen (Vorgängerprojekt ÜLG-78) im Bereich der vergrabenen Testobjekte hat gezeigt, dass eine entsprechende Lokalisierung größtenteils möglich ist, allerdings Aussagen über Form und Tiefenlage der Testobjekte deutlich schwieriger zu erzielen sind.

Insbesondere die 2D-Geoelektrik konnte die vorhandenen Objekte, entgegen unseren Erwartungen, nur schwer lokalisieren und eine entsprechende Bewertung der Größe und Tiefe der einzelnen Objekte scheint anhand der bisherigen Ergebnisse unmöglich zu sein. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden im Projektjahr 2023 weitere geoelektrische Messungen durchgeführt. Um eine möglichst hohe Auflösung des Untergrundes zu erreichen wurden hierbei (entgegen den bisherigen Messungen) sehr kleine Elektrodenabstände gewählt (0.25 m) – anhand des verfügbaren geoelektrischen Messsystems sowie der geometrischen Anordnung der Testobjekte kann dieser Elektrodenabstand als unterste Grenze angesehen werden. Zwar konnten mit dieser Messkonfiguration die betrachteten (Testobjekte (liegende Stahlplatte und Kunststoff Regenfass)) lokalisiert werden, allerdings konnten nach wie vor keine klaren Aussagen über Form und Tiefenlage/Tiefenerstreckung der Testobjekte abgeleitet werden. Tests mit theoretischen Modellrechnungen haben zu dem Schluss geführt, dass trotz der sehr kleinen Elektrodenabstände die Auflösung eines 3D-Störkörpers (Definition Störkörper: Bereich mit deutlich abweichenden spez. elektr. Widerstand im Vergleich zum umgebenden Untergrund) mit einer 2D-Messmethode bei den vorliegenden geometrischen Gegebenheiten scheinbar an ihre Grenzen stößt (siehe dazu auch Ausführungen in Kapitel 5.2.2). Es zeigt sich, dass der Einfluss des Störkörpers, trotz des signifikanten Kontrastes der elektr. Leitfähigkeit zwischen Störkörper und dem umgebenden Substrat, aufgrund seiner begrenzten räumlichen Ausdehnung nicht ausreichend ist, um diesen Kontrast mit geoelektrischen Messungen hinreichend genau erfassen zu können. Daher ist bei der Vermessung von räumlich begrenzten Störkörpern mittels 2D Geoelektrik, die laterale Ausdehnung desselben in Bezug zum Messprofil von besonderer Relevanz. Sobald hier entsprechende geometrische Rahmenbedingungen nicht erfüllt sind, ist eine korrekte Bewertung hinsichtlich Form und Tiefenlage von Störkörpern nicht mehr möglich. Um an der Testsite Pöverding mit der Geoelektrik in diesem Zusammenhang (Lokalisierung und detaillierte Beschreibung von Testobjekten) weitere Entwicklungsschritte hinsichtlich optimierter Datenakquisition, Auswertung und Interpretation setzen zu können, erscheinen 2 Lösungsansätze für die folgenden Projektjahre als sinnvoll:

1. Durchführung kleinräumiger 3D-Geoelektrik im Bereich der bereits vorhandenen Testobjekte (derartige Messungen sind im ursprünglichen Projektplan enthalten – basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen werden diese 3D-Messungen entsprechend erweitert)
2. Installation zumindest eines optimalen „2D-Testobjektes“ für die 2D-Geoelektrik (dieses Testobjekt kann dann natürlich auch für andere Messmethoden (z.B. EM) von Interesse sein) – die wohl einfachste Variante wäre hier die Befüllung einer ausreichend langen Künette mit vorzugsweise niederohmigen Material (z.B. Ton/Schluff) inklusive geringmächtiger Bedeckung mit dem Ursprungsmaterial –

andere Optionen mit Metallobjekten in entsprechender Dimension erscheinen vor allem hinsichtlich der zu erwartenden Kosten als nicht umsetzbar.

Die bisherigen EM-Messungen haben (mit Ausnahme des Regenfassens und der vergrabenen Kabel) alle Testobjekte lokalisieren können. Im folgenden Projektjahr wird mit kleinräumigen EM-Messungen versucht werden die Form und die Tiefenlage ausgewählter Testobjekte genau zu quantifizieren. Dafür werden mit dem CMD-Explorer (nur dieses Messsystem kommt für die Ausdehnung und Tiefenlage der Testobjekte in Frage, Details zu dem Messsystem siehe Anhang) verschiedene Formen der Datenakquisition getestet, um herauszufinden, wie eine optimale Auflösung der Testobjekte erreicht werden kann. Es wird erwartet, dass die optimalen Parameter für die Datenakquisition stark vom jeweiligen Testobjekt abhängen. Aus Sicht der EM ist die Installation weiterer Testobjekte nicht notwendig, zumal bereits 2 dickere Stahlplatten zur Verfügung stehen und sobald wie möglich im Bereich des derzeitigen Testfeldes vergraben werden sollen. Die Tiefe und Lage dieser weiteren Testobjekte muss anhand der bisherigen Erfahrungen noch definiert werden, wobei aus derzeitiger Sicht eher eine seichtere Installation (max. 1m Tiefe) in Frage kommen sollte.

Für die Radiometrie, deren Weiterentwicklung schwerpunktmäßig im Projekt „Radio-T“ erfolgt, spielen die bisher installierten Testobjekte ob ihrer Tiefe und Beschaffenheit keine Rolle. Für die Radiometrie werden Bodenproben aus entsprechend relevanten geologischen Einheiten an der Testsite (Container) gelagert und für Testzwecke entlang von Profilen ausgelegt – also ist für die Radiometrie kein weiterer Ausbau der Testinfrastruktur notwendig.

Im ersten Projektjahr erfolgte an der Testsite in Pöverding mit dem Drohnenmesssystem nur ein einziger Test der Elektromagnetik Sonde. Dieser erfolgte manuell (also ohne Drohnenflug) über die vergrabenen Testobjekte und lieferte das gewünschte Ergebnis (erfolgreiche Lokalisierung der für die Elektromagnetik relevanten Objekte). Für Tests der aktuell verfügbaren Drohnensonden erscheint die vorhanden Testinfrastruktur als ausreichend.

Gegen Ende des ersten Projektjahres wurde vom Grundeigentümer der Testsite Pöverding kommuniziert, dass eine zukünftige Nutzung des Areals für die Produktion von Sonnenstrom (PV-Anlage) im Raum steht. Genaue Informationen zu diesen Ausbauplänen sind zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht vorhanden, aber es wird natürlich versucht, die geophysikalische Testsite im schlimmsten Fall zumindest in einer Minimalvariante nutzbar zu halten. Der Kontakt mit dem Grundeigentümer ist nach wie vor sehr gut und es wurde uns versichert, dass wir beim Vorliegen konkreter Ausbaupläne ehestmöglich informiert werden. Aus diesem Grund werden vorerst auch keine weiteren Installationen von Testobjekten vorgenommen, da nicht absehbar ist, wie lange und in welcher Form die Testinfrastruktur noch nutzbar sein wird. Sollte die Testsite Pöverding im schlimmsten Fall tatsächlich im Laufe des gegenständlichen Projektes aufgelassen werden müssen, dann wird dies wohl mit einer ausreichenden Vorlaufzeit passieren, dass ein entsprechender Ersatz gefunden werden kann. Wieviel Zeit dafür einzuplanen wäre lässt sich schwer abschätzen, allerdings ist bei

Vorliegen eines geeigneten Standortes eine neue geophysikalische Testsite, zumindest in einer Minimalvariante, innerhalb einer überschaubaren Zeitspanne zu realisieren.

4. Weiterentwicklung Geomon4D-IP

Im Projektjahr 2023 stellte den zentralen Punkt bei der Weiterentwicklung des Geomon4D-IP die Erweiterung der Benutzeroberfläche bzw. die Ausweitung der Funktionalität für den Monitoring Betrieb dar. Die wesentlichen Entwicklungsschritte (Software) wurden von der Fa. Liftoff in enger Zusammenarbeit mit dem Projektteam des ÜLG-90 umgesetzt. Die aktuelle Erweiterung ermöglicht vorab die Definition vieler verschiedener Messabläufe mit unterschiedlichen Startzeiten, welche dann vom Geomon4D-IP nach ihrer zeitlichen Abfolge abgearbeitet werden (siehe dazu Beispiele der Benutzeroberfläche in Abbildung 1).

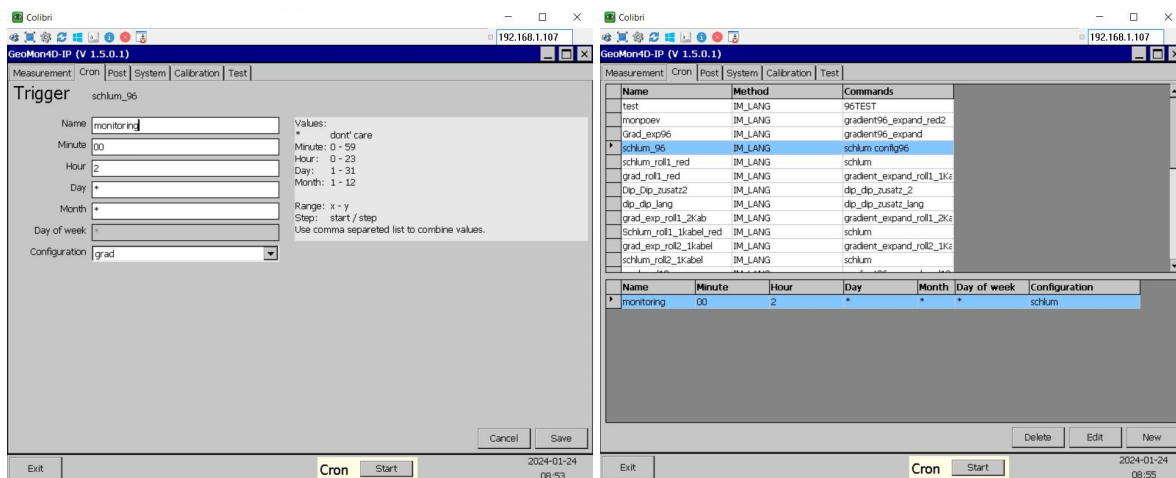


Abbildung 1: links: Eingabemaske für die Definition eines Monitoring Jobs; rechts: Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware im Monitoring Modus für die Auswahl der Messkonfiguration für den jeweiligen Monitoring Job und dessen Aktivierung

Die neuen Monitoringfunktionen wurden vorab von der Fa. Liftoff unter Laborbedingungen umfassend getestet, woraufhin das Softwareupdate auch auf den vorhandenen Feldmessgeräten implementiert wurde. Erste Tests unter Feldbedingungen erfolgten am geoelektrischen Testmonitoringprofil im Garten der Geosphere Austria (Standort Neulinggasse).

Noch bevor alle Tests des Geomon4D-IP für den Monitoring Betrieb abgeschlossen waren, wurde an der Testsite Pöverding ein geoelektrisches Monitoring installiert. Das Monitoring erfolgte in Kooperation mit der aus internen Budgetmitteln finanzierten Kompetenzinitiative Geomonitoring, deren Hauptaugenmerk in diesem Zusammenhang auf der Detektion von Infiltrationsprozessen bzw. Änderungen der Bodenfeuchte mittels Geoelektrik liegt. Daher wurde diese Installation bereits Mitte März realisiert und vorerst mit dem alten Geomon4D Messsystem ausgestattet. Das geoelektrische Monitoringprofil wurde zu einer Hälfte im Wald (dicht gepflanzter Energiewald) und zur anderen Hälfte auf der Wiese installiert (siehe dazu Abbildung 2 und Abbildung 3).

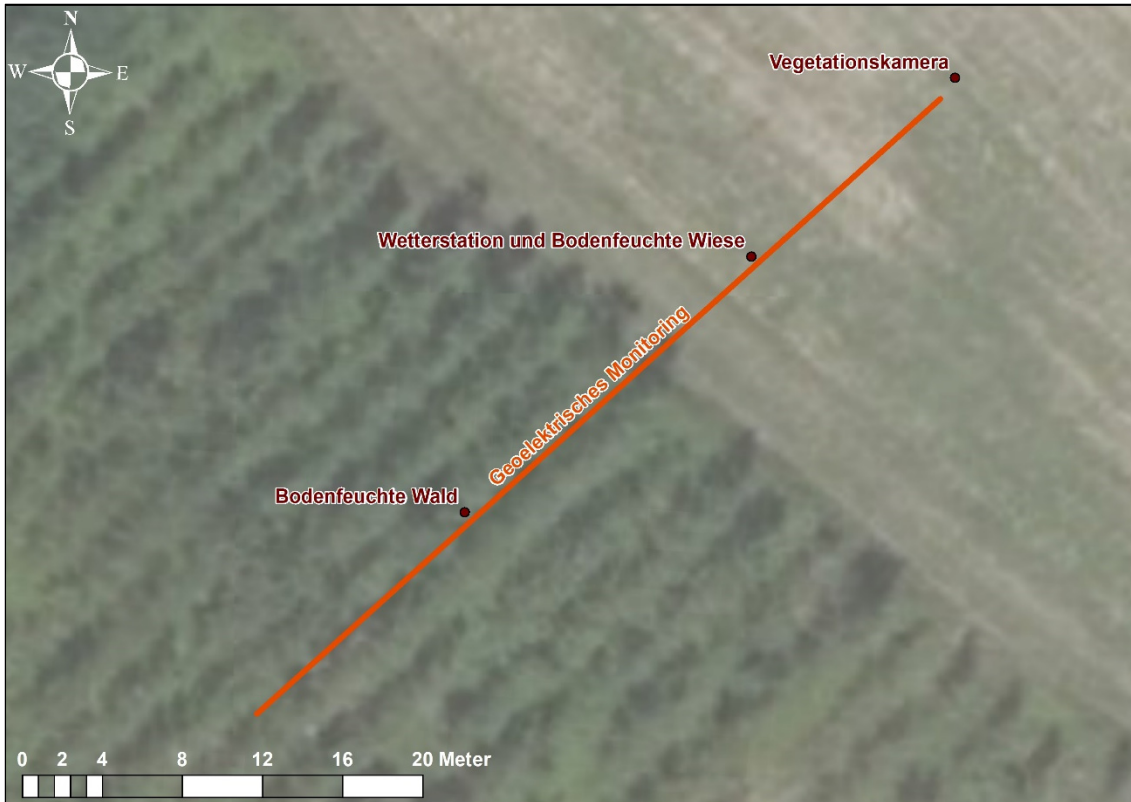


Abbildung 2: Lageplan des Monitoring Aufbaus an der geophysikalischen Testsite Pöverding



Abbildung 3: Situationsfotos des Monitoring Aufbaus, links: Bereich der Vegetationskamera (Blickrichtung SW), rechts: Bereich der Wetterstation (Blickrichtung NO)

Die vordergründige Fragestellung war, ob die unterschiedliche Vegetation einen messbaren Unterschied in der Bodenfeuchte bewirkt (Wasserentnahme durch die dicht gepflanzten Baumreihen) und ob sich dieser auch im spez. elektr. Widerstand bzw. in dessen zeitlicher Änderung nachvollziehen lässt. Daher wurden zusätzlich an zwei Standorten entlang des geoelektrischen Profils diverse Bodensensoren (Bodentemperatur, Bodenfeuchte, etc.)

installiert. Zusätzlich wurde der Monitoringaufbau mit einer Fotomonitoring Station versehen, um alle möglichen Änderungen (Vegetation, etc.) auch visuell zu erfassen (Details zum Monitoringaufbau siehe Lageplan in Abbildung 2). Aus Sicht des Projektes ÜLG-90 waren die grundsätzlichen Ziele dieses geoelektrischen Monitorings einerseits ein unter echten Feldbedingungen durchgeführter Langzeittest des Geomon4D-IP und andererseits die Generierung eines ersten Widerstands-/IP-Monitoringdatensatzes.

Schlussendlich erfolgte die Umstellung des geoelektrischen Monitorings auf das neue Geomon4D-IP System Anfang Juli. Leider wurden knapp danach Probleme bei den Messkabeln festgestellt, wobei ein Kabeltausch aus diversen logistischen Gründen erst Ende Juli erfolgen konnte. Die ursprünglichen Messkabel bzw. deren Kabelstecker wurden durch eindringende Feuchtigkeit und anschließende elektrische Kurzschlüsse und Korrosion vollkommen unbrauchbar (siehe Abbildung 4).

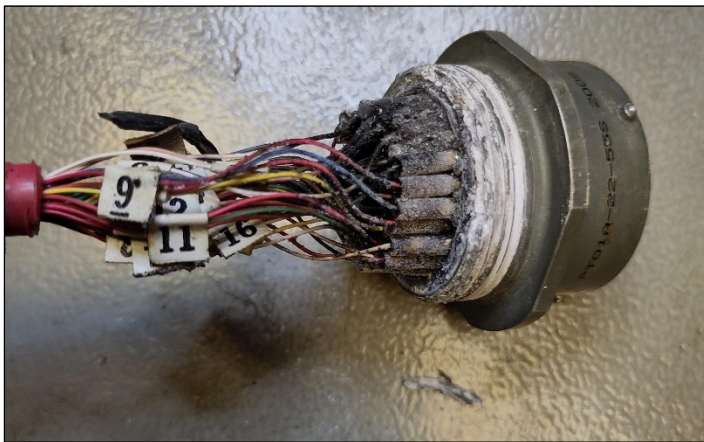


Abbildung 4: Foto vom defekten Kabelstecker - zum Teil durchgeschmorte und stark korrodierte Kabellitzen

Mit dem Geomon4D-IP konnte schlussendlich ein Widerstands-/IP-Monitoringdatensatz mit zufriedenstellender Qualität (aus technischer Sicht) für den Zeitraum 26. Juli bis 14. August generiert werden. Das Geomon4D-IP System funktionierte in diesem Zeitraum einwandfrei und konnte, bis auf die definierten Ausschaltphasen (notwendig aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit elektrischer Energie), jederzeit über eine remote Verbindung erreicht und bei Bedarf entsprechend gesteuert werden.

Zwar können die über den gesamten Monitoringzeitraum generierten Daten (siehe kleinen Auszug in Abbildung 5 und Abbildung 6) aufgrund des längeren Ausfalls durch die beschädigten Kabel nicht im erhofften Umfang und vor allem Detailgrad bewertet und interpretiert werden (hinsichtlich Änderung der Bodenfeuchte, Einfluss unterschiedlicher Vegetationsarten, etc.), das wichtigste Ziel für das vorliegende Projekt wurde aber mit dem erfolgreichen Monitoringbetrieb des Geomon4D-IP erreicht. Die neu entwickelten Monitoringfunktionen konnten unter Feldbedingungen über einen ausreichend langen Zeitraum (fixe Monitoringinstallation) auf ihre Zuverlässigkeit getestet werden und es konnte ein mehr als 2 Wochen umfassender Widerstands-/IP-Monitoringdatensatz generiert werden (markiert durch das orange Rechteck in den Zeitreihen von Abbildung 5 und Abbildung 6). Dieser wird für die Weiterentwicklung der 4D-IP Inversion (Kooperation mit KIGAM) genützt.

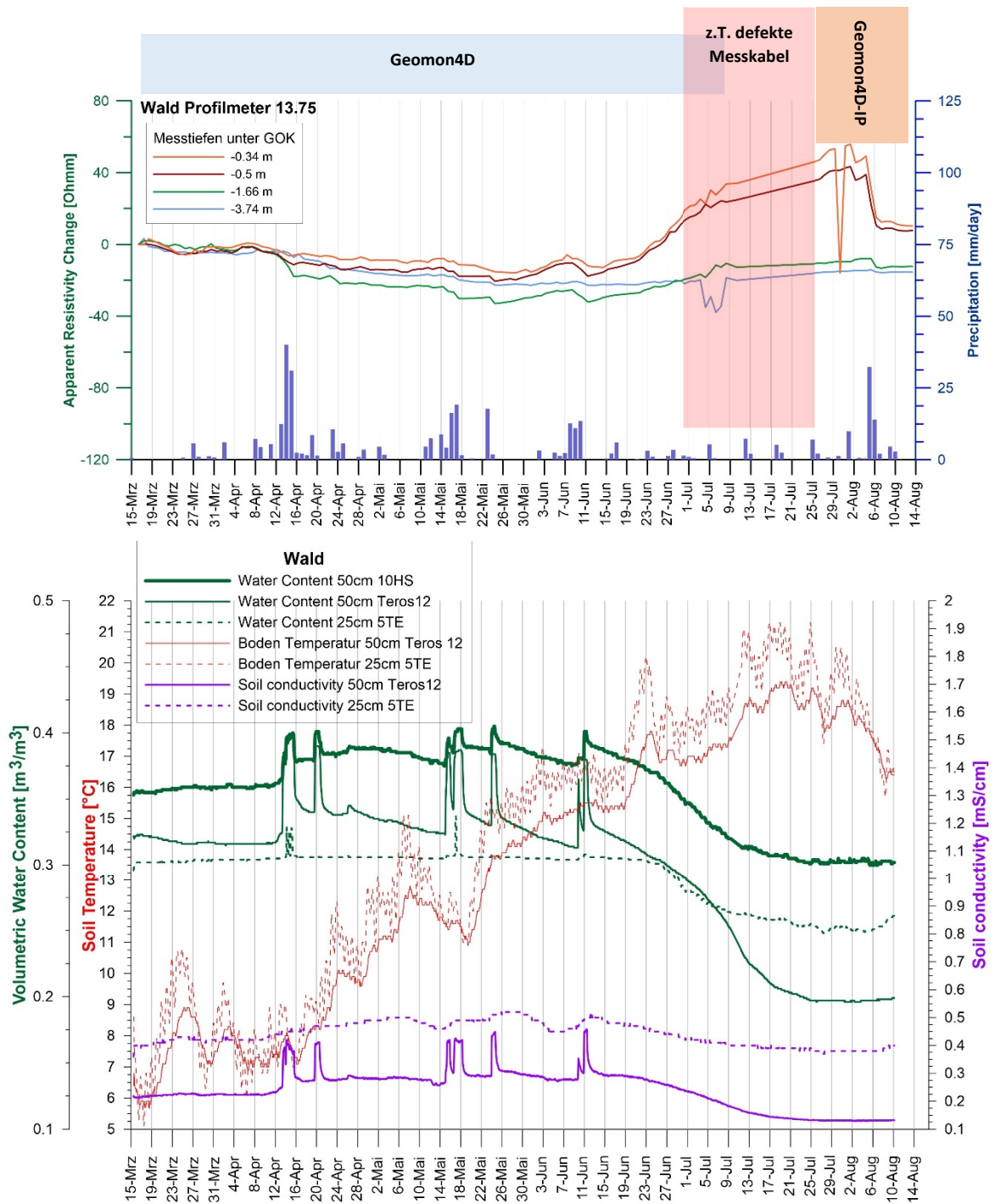


Abbildung 5: Ausgewählte Monitoring Zeitreihen vom Bereich des Energiewaldes; oben: Zeitreihe ausgewählter geoelektrischer Messpunkte bei Profilmeter 13.75 in verschiedenen Tiefen (siehe Legende) mit Tagesniederschlag, die unterschiedlich eingefärbten Rechtecke zeigen welches Messgerät aktiv war bzw. die Zeitspanne, in der die Messkabel z.T. defekt waren; unten: Zeitreihen der installierten Bodensensoren (Details siehe Legende)

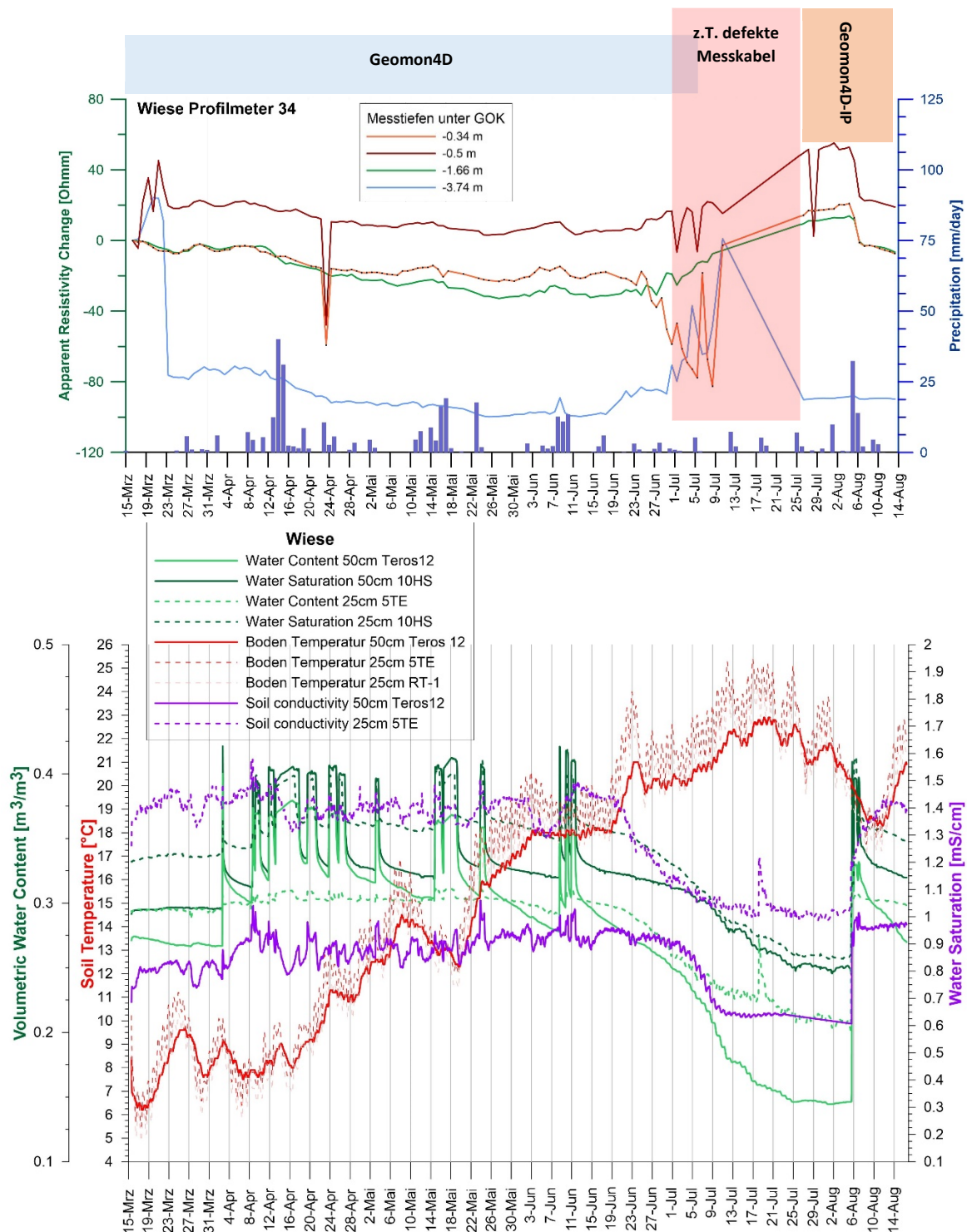


Abbildung 6: Ausgewählte Monitoring Zeitreihen vom Bereich der Wiese; oben: Zeitreihe ausgewählter geoelektrischer Messpunkte bei Profilmeter 13.75 in verschiedenen Tiefen (siehe Legende) mit Tagesniederschlag, die unterschiedlich eingefärbten Rechtecke zeigen welches Messgerät aktiv war bzw. die Zeitspanne, in der die Messkabel z.T. defekt waren; unten: Zeitreihen der installierten Bodensensoren (Details siehe Legende)

Während das alte Geomon4D Messsystem aktiv war, zeigen die geoelektrischen Monitoring Daten in Abbildung 5 und Abbildung 6 nur relativ geringe Änderungen des elektr. Widerstandes (bis auf einen Ausreißer in Abbildung 6 um den 24. April (rote Zeitreihe) –

dieser dürfte auf ein kurzfristiges technisches Problem zurückzuführen sein). Ganz allgemein kann beobachtet werden, dass der elektr. Widerstand mit jedem Niederschlagsereignis abnimmt und bei niederschlagsfreien- bzw. niederschlagsarmen Perioden wieder ansteigt. Dementsprechend verhalten sich auch die aufgezeichneten Bodenparameter „Wassergehalt“ und „elektr. Bodenleitfähigkeit“. Die Bodentemperatur zeigt neben starken kurzfristigen Schwankungen (vor allem bei den Sensoren aus 25 cm Tiefe) auch den langfristigen jahreszeitlichen Trend. Die Bodenfeuchte nimmt ab Ende Juni signifikant ab und zeigt am Standort „Wiese“ eine kurzfristige Zunahme mit dem Niederschlagsereignis vom 5. und 6. August. Gleichzeitig nimmt der elektr. Widerstand für alle dargestellten Messpunkte massiv ab (dieses Ereignis wurde während das neue Geomon4D-IP System aktiv war aufgezeichnet). Interessant hierbei ist, dass die Bodensensoren (Wassergehalt und elektr. Leitfähigkeit) am Standort „Wald“ bei diesem Niederschlagsereignis keinerlei Effekt zeigen. Warum dies so ist, muss noch im Detail betrachtet werden. Eine detaillierte Interpretation und Bewertung des gesamten Monitoring Datensatzes, sofern aufgrund der fehlenden geoelektrischen Messdaten (rot markiertes Rechteck) möglich, wird im Projekt Kompetenzinitiative Geomonitoring erfolgen.

Um den Projektanforderungen des ÜLG-90 vollumfänglich zu entsprechen, ist das Ziel für das kommende Jahr einen weiteren, umfangreicheren Widerstands-/IP-Monitoringdatensatz zu generieren. Ob dies am Standort Pöverding oder an einem anderen vielleicht geeigneteren Standort (in Kooperation mit anderen laufenden Projekten) erfolgen kann, wird noch entschieden.

Im abgelaufenen Projektjahr wurde ein weiterer wichtiger Entwicklungsschritt des Geomon4D-IP in Angriff genommen und zwar die Erweiterung auf einen alternativen Messablauf, optimiert für die reine Widerstandsmessung (keine Induzierte Polarisation). Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit dem Geomon4D-IP wurde immer klarer, dass ein für reine Widerstandsmessungen optimierter Messablauf notwendig wird. Dieser soll alle Potenzialmesskombinationen eines Stromdipols zusammenfassen und mit nur einer einzigen Stromumschaltung (von „forward“ auf „reverse“) abarbeiten. D.h. der Strom wird in eine Richtung eingeschaltet woraufhin alle Messkombinationen gemessen werden (Spannungsmessung „forward“) und erst danach erfolgt die Umpolung mit anschließender „reverse“ Spannungsmessung aller Messkombinationen. Der große Vorteil dieser Methode ist, neben einer gewissen Verkürzung der Messzeit, vor allem das Reduzieren bzw. annäherndes Eliminieren von unerwünschten Aufladeeffekten (IP) des Untergrundes auf die Widerstandsmessung. Um den neuen Messablauf umzusetzen, wurde gemeinsam mit der Fa. Liftoff ein grobes Konzept erstellt, wie dies in die aktuelle Benutzeroberfläche implementiert werden kann. Der neue Messablauf erforderte einige grundlegende Änderungen in der Steuerungssoftware, wodurch die Umsetzung deutlich mehr Zeit als erwartet in Anspruch genommen hat. Ende 2023 konnte eine Version des neuen, sogenannten „blocked“ Messablaufes (Anpassungen/Verbesserungen auf Basis der Erfahrungen aus Feldeinsätzen sind noch zu erwarten) auf einem der aktuell verfügbaren Messgeräte implementiert werden. Erste Tests sind bereits mit einem positiven Fazit erfolgt, dennoch wird zur Sicherheit noch bis zur finalen Version gewartet, bis auch das zweite Feldmessgerät mit diesem Softwareupdate bestückt wird. Bei den ersten Tests hat sich

genau das erwartete Ergebnis gezeigt, dass nämlich bei reinen Widerstandsmessungen mit dem ursprünglichen Messablauf die gemessenen Widerstandswerte durchwegs kleiner ausfallen. In den meisten Fällen, die sich nur durch eine geringe Aufladbarkeit des Untergrundes auszeichnen, ist dieser Unterschied relativ gering, dennoch führt dies zu einem systematischen Fehler. Vor allem bei heterogener Verteilung der Aufladbarkeit entlang eines Messprofils können dadurch in der Dateninversion durchaus gewisse Artefakte auftreten, die zwar die grundsätzliche Interpretation nicht wesentlich beeinflussen sollten, aber diese durchaus erschweren können. Für IP-Messungen wird natürlich aufgrund des Messprinzips weiterhin der ursprüngliche Messablauf verwendet werden, wobei hier, durch die wesentlich längeren Messzeiten, der oben genannte systematische Fehler bei der Widerstandsberechnung ohnedies entfällt bzw. unbedeutend ist.

Im Zuge der Erweiterung auf den „blocked“ Messablauf wurde eine zusätzliche Funktion des Messgerätes umgesetzt, die eine einfache Messfortsetzung einer unterbrochenen Messung ohne Datenverlust ermöglicht. Bisher konnten die Daten einer laufenden Messung, die durch ein unvorhergesehenes Ereignis unterbrochen wurde (z.B. Störung der Energieversorgung, plötzliche Fehlfunktion des Messsystems mit Systemabsturz, etc.), nur mit viel Aufwand verwertet werden. Zudem konnte eine Messfortsetzung nur mit einer mühsamen manuellen Neuerstellung einer entsprechenden Messdatei erfolgen. Bei der hier realisierten zusätzlichen Funktion wird während der laufenden Messung in regelmäßigen Abständen (30 sec.) eine Datei abgespeichert, die alle wesentlichen Informationen zum aktuellen Messfortschritt beinhaltet. Kommt es nun zu einer unvorhergesehenen Messunterbrechung, greift das Messgerät beim Neustart automatisch auf diese Datei zu und der Anwender kann nun auswählen ob die Messung fortgesetzt werden soll oder die bisher gemessenen Daten in eine finale, „sauber abgeschlossene“ Ergebnisdatei geschrieben werden sollen. So wird gewährleistet, dass trotz Messunterbrechung dem Anwender alle Möglichkeiten offenstehen und vor allem die bisher notwendigen, mühsamen, manuellen Arbeitsschritte entfallen. Vor allem für lange Messzeiten bei IP-Messungen, die oft über Nacht durchgeführt werden, kann nun die Rücksicht auf die maximale Laufdauer des Generators entfallen, da es weder zum Datenverlust kommt noch ist eine Weiterführung der unterbrochenen Messung mit großem Aufwand verbunden. Bisher wurden die Messeinstellung bei derartigen IP-Messungen immer mit ausreichendem Spielraum in Bezug auf die Laufdauer des Generators gewählt. Dies kann in Zukunft gänzlich entfallen.

Beide Systemerweiterungen werden im kommenden Jahr sowohl im ÜLG-90 als auch bei anderen Feldmessungen zwangsläufig getestet und auf ihre Praxistauglichkeit geprüft werden. Etwaige Anpassungen und Verbesserungen werden der Fa. Liffoff zur Umsetzung weitergegeben und werden in eine finale Softwareversion münden, die schlussendlich auf beiden verfügbaren Feldmessgeräten implementiert werden wird (geplant für spätesten Ende 2024).

5. Weiterentwicklung diverser geophysikalischer Methoden

In diesem Kapitel wird als erstes darauf verwiesen, auf welche geophysikalischen Methoden im weiteren Projektverlauf der Fokus gelegt werden soll (Auswahl basierend auf bisher durchgeführten Messungen an der Testite Pöverding, Entwicklungsbedarf der jeweiligen

Methode und ob dieser bereits in anderen laufenden Projekten ausreichende Berücksichtigung findet). Im Weiteren werden alle im Projektjahr 2023 durchgeführten geophysikalischen Messungen und deren Output hinsichtlich Methodenweiterentwicklung angeführt.

5.1. Methodenevaluierung und Methodenauswahl

Mit dem Projektstart wurden alle bisher durchgeführten geophysikalischen Messungen an der Testsite Pöverding einer Evaluierung unterzogen. Auf welche Methoden schlussendlich der Fokus gelegt werden soll, wurde nach mehreren Kriterien festgelegt. Von großer Bedeutung war die Frage in welchem Umfang die jeweilige Methode bei den anfallenden wissenschaftlichen (und auch kommerziellen) Fragestellungen verwendet wird. Zudem wurden geophysikalische Methoden, deren Weiterentwicklung bereits Teil von aktuell laufenden Projekten ist, in ihrer Bedeutung für das ÜLG-90 hintenangestellt. Auf dieser Grundlage hat sich gezeigt, dass der Fokus im ÜLG-90 ganz klar auf die **Geoelektrik** und die **Bodenelektromagnetik** zu legen sein wird. Wobei hier auch Messmethoden wie das **Eigenpotenzial** und **Mise a la Masse** in Zukunft mitbedacht werden sollen. Bei der Geoelektrik muss auch betont werden, dass hier die Weiterentwicklungen rund um das Geomon4D-IP eine wichtige Rolle spielen. In gewisser Weise nachrangig werden im ÜLG-90 die Bodenradiometrie (verfügt über ein eigenständiges Projekt mit gewissem Ausmaß an Weiterentwicklung) und die Drohnenmesssysteme behandelt. Weitere Methoden wie die Bodenmagnetik und das Bodenradar (verfügbar am Standort Hohe Warte) spielen aus derzeitiger Sicht keine Rolle – sollte sich im Projektverlauf hier aber entsprechender Bedarf ergeben, wird natürlich eine erneute Evaluierung erfolgen und bei ausreichenden Projektressourcen können zumindest Teilaspekte von Weiterentwicklungen dieser Methoden im ÜLG-90 angedacht werden.

5.2. Geoelektrik

Im Projektjahr 2023 wurden im Methodenbereich Geoelektrik, neben den Testmessungen, die rein der Geomon4D-IP Weiterentwicklung geschuldet waren (siehe Kapitel 4), auch weitere Aspekte betrachtet. Dies umfasst einerseits den Umgang mit schroffen Geländeformen und die Auswirkung derartiger 3D-Effekte auf die Ergebnisse von geoelektrischen 2D-Messungen und andererseits wurde versucht mit angepassten Messparametern die Lokalisierung bzw. detaillierte Beurteilung der vergrabenen Testobjekte zu optimieren. Zudem wurde einiges an Zeit in das geoelektrische Monitoring investiert, dass allerdings bereits in Kapitel 4 umfassend beschrieben wurde.

5.2.1. 3D-Effekte

Im Rahmen dieses Projektes sollen 3D-Effekte in der 2D-Geoelektrik, die von markanten Geländeformen herrühren, analysiert und bewertet werden. Hierfür wurde an der Testsite Pöverding ein steiler Böschungsbereich als Testobjekt gewählt. Hier soll im Experiment quantifiziert werden welchen Abstand ein geoelektrisches Messprofil, das parallel zur Böschungskante verläuft, haben muss, um störende 3D-Effekte im Inversionsergebnis ausschließen zu können. Aus der Literatur sind hierfür unterschiedliche Abschätzung bekannt (siehe z.B. Hung et al. 2019), wobei mitunter ganz unterschiedliche Einflussfaktoren

berücksichtigt werden müssen. Unsere praktische Erfahrung bei diversen Feldmessungen, bei denen klare Probleme mit 3D-Effekten aufgetreten sind, haben gezeigt, dass sich diese massiv reduzieren, wenn Messpunkte mit großer Pseudotiefe entfernt wurden. Hierfür hat sich die Abschätzung bewährt, dass eine hinreichende laterale Homogenität des Untergrundes zumindest für ein Drittel der Pseudotiefe bestehen muss. Die Einhaltung dieser Abschätzung hat in unserem Erfahrungsbereich gezeigt, dass in Inversionsergebnissen störende 3D-Effekte stark reduziert werden konnten und dadurch eine deutliche Verbesserung der jeweiligen Ergebnisinterpretation erreicht werden konnte. Diese Abschätzung zum 3D-Effekt beruht aber auf keinem systematisch durchgeführten Experiment, sondern lediglich auf den Erfahrungswerten diverser Feldmessungen. Da sich eine Pseudosektion aus sehr vielen Messpunkten mit unterschiedlichen Messtiefen zusammensetzt, stellt sich in der Praxis natürlich auch die Frage, ab welcher Anzahl von Messpunkten, die durch 3D-Effekte beeinflusst sind, ein nennenswerter Einfluss auf das Inversionsergebnis gegeben ist. Dafür eine Abschätzung zu finden soll ein zusätzliches Ziel dieses 3D-Experiments sein. Der Fokus liegt aber klarerweise auf der groben Quantifizierung des notwendigen lateralen Abstandes von Messprofilen zu einer entsprechenden Inhomogenität im spez. elektr. Widerstand (schroffe Geländeform, Störkörper im Untergrund, etc.). Das schlussendliche Ergebnis dieses Experiments soll als praxisorientierte Hilfestellung für die Festlegung von Profillagen bei markanten Geländeformen dienen – es soll schlichtweg die Beurteilung negativer Einflüsse auf die Messdaten durch das Zusammenspiel „markante Geländeform und Messprofilage“ erleichtern.

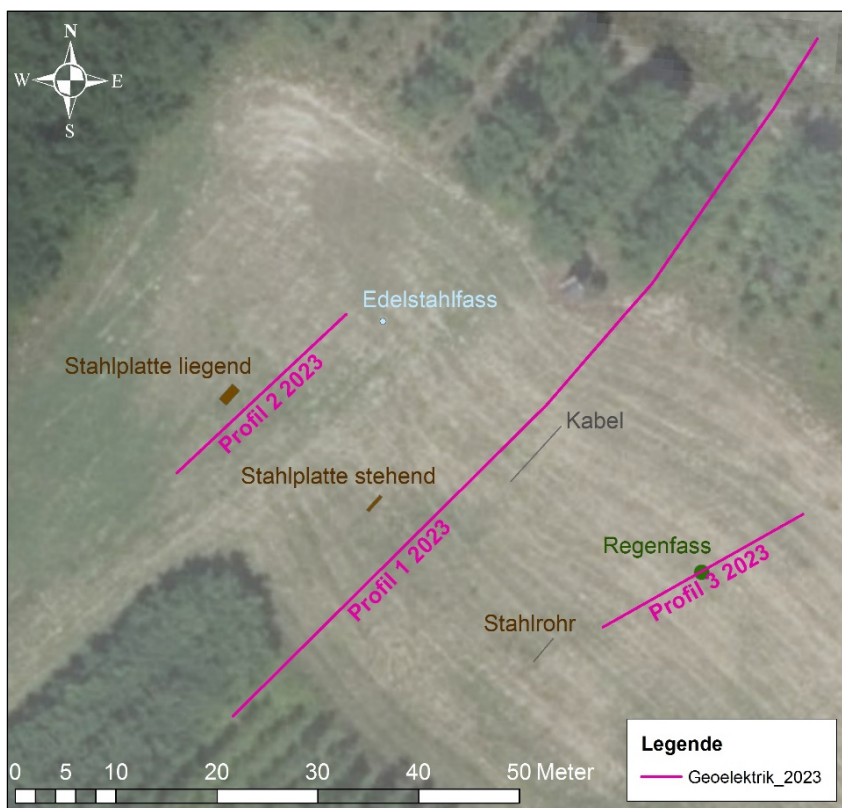


Abbildung 7: Lageplan der geoelektrischen Messprofile 2023 inklusive Position der vergrabenen Testobjekte

Als erster Schritt wurde am 09. März 2023 ein geoelektrisches Messprofil über die dafür ausgewählte Böschungskante an der Testsite in Pöverding gelegt (siehe Lageplan (Profil 1 2023) in

Abbildung 7 und Situationsfotos in Abbildung 8). Damit sollte vor allem gezeigt werden, dass sich der Böschungsbereich für das 3D-Experiment eignet, da ein möglichst gleichmäßiger Aufbau des Untergrundes ab einer gewissen Tiefe unter GOK im Bereich der Böschungskante notwendig ist.



Abbildung 8: Situationsfotos des geoelektrischen Messprofils "Profil 1_2023"; links: Bereich der Profilmitte mit Blickrichtung NO, rechts: Bereich der Böschungskante mit Blickrichtung NO (Profilanfang)

Das Messprofil wurde mit einem gleichmäßigen Elektrodenabstand von einem Meter und einer Gesamtelektrodenanzahl von 93 realisiert (Profillänge 92 m, max. Eindringtiefe ca. 15 m). In Abbildung 9 ist das schlussendliche Inversionsergebnis von Profil 1 2023 als Modell des spez. elektr. Widerstandes dargestellt. Aus Sicht des 3D-Experiments ist entscheidend, dass vor allem im durch das rote Rechteck markierten Untergrundbereich möglichst gleichbleibende Widerstandsverhältnisse vorliegen, d.h. keine markanten Widerstandsanomalien vorhanden sind. Dies kann anhand des vorliegenden Ergebnisses bestätigt werden. Die Änderungen des spez. elektr. Widerstandes die oberhalb des markierten roten Rechteckes auftreten (Tiefe zwischen 0 – 5 m unter GOK), sollten für das 3D-Experiment keine Rolle spielen, wenn davon ausgegangen wird, dass die durch die Böschung beeinflussten Messpunkte nur jene mit größeren Pseudotiefen sein werden.

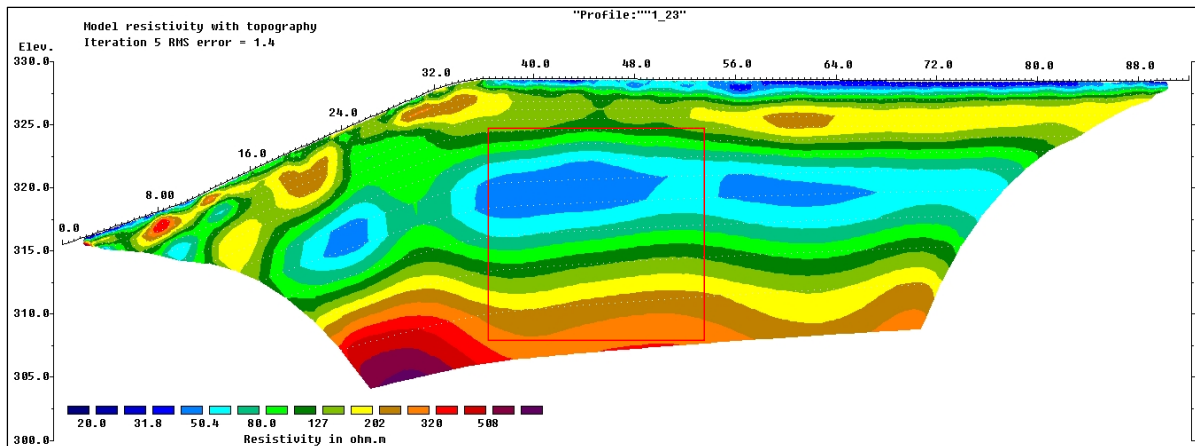


Abbildung 9: Inversionsergebnis dargestellt als Modell des spez. elektr. Widerstandes von Profil 1 2023; rotes Rechteck markiert den Bereich der für das 3D-Experiment eine möglichst gleichbleibende Widerstandsstruktur haben sollte

Der nächste Schritt in diesem Experiment wird die Umsetzung von zumindest 3 Messprofilen in unterschiedlichen lateralen Abständen zur Böschungskante sein, die natürlich rechtwinklig zu Profil 1 2023 verlaufen werden. Der Schnittpunkt mit Profil 1 2023 sollte sich möglichst in der Profilmitte der neuen Profile befinden. Die lateralen Abstände zur Böschungskante werden vorerst so gewählt, dass in einem Messprofil der 3D-Effekt sicher auftritt (unmittelbare Nähe zur Böschungskante), in einem weiteren dieser ausgeschlossen werden kann (ausreichende Distanz zur Böschungskante) und ein weiteres Messprofil soll genau den dazwischenliegenden Bereich abdecken. Ob zusätzliche Messprofile für die Abschätzung der minimal notwendigen lateralen Distanz zur Vermeidung von 3D-Effekten notwendig sein werden, wird sich anhand der Ergebnisse dieser ersten 3 Messprofile zeigen.

Die Umsetzung dieser Messprofile ist für 2024 geplant und soll die Datengrundlage für eine grobe Bewertung derartige 3D-Effekte liefern.

5.2.2. Lokalisierung/Beurteilung ausgewählter Testobjekte

Die Ergebnisse mehrerer geoelektrischer Profile, die bereits im ÜLG-78 Projekt (vor Beginn des ÜLG-90 Projektes) über die installierten (vergrabenen) Testobjekte durchgeführt wurden, haben kaum nennenswerte Anomalien gezeigt. Folge dessen konnten auch keinerlei Aussagen über die Form, Dimension und Tiefe der Testobjekte getroffen werden. Die besagten Profile wurden allesamt mit einem Elektrodenabstand von einem Meter durchgeführt. Mit diesem Wissen, dass scheinbar eine deutlich höhere Auflösung des Untergrundes notwendig ist, um die Testobjekte in den Ergebnissen sichtbar zu machen, wurde der Elektrodenabstand diesmal auf 0.25 m reduziert. Dies stellt für das vorliegende Messsystem mit einer maximalen Elektrodenanzahl von 93 das unterste Limit dar, da ansonsten die notwendige Eindringtiefe zur Erfassung der Testobjekte nicht mehr ausreichend wäre.

Am 29. März erfolgte die Messung des geoelektrischen Profils „Profil 2 2023“ in NO Richtung über die flach liegende Stahlplatte. Am 10. Mai erfolgte die Messung des Profils „Profil 3 2023“ in SW Richtung direkt über das Regenfass (siehe Abbildung 7 für die Lage der beiden Profile und Abbildung 10 für entsprechende Situationsfotos).



Abbildung 10: Situationsfotos der geoelektrischen Messprofile "Profil 2 2023" (links) und "Profil 3 2023" (rechts)

Beide Ergebnisse (siehe Abbildung 11) sind hinsichtlich Aussagekraft bezüglich der Testobjekte nicht sehr überzeugend. Trotz des sehr kleinen Elektrodenabstandes konnten weder die Stahlplatte noch das Regenfass in einer Form erfasst werden, dass deren Dimension und Tiefenlage eindeutig zu bestimmen wäre. Zwar sind die jeweiligen Bereiche deutlich mit einer Widerstandsanomalie gekennzeichnet, allerdings lässt sich kaum eine andere Interpretation, als dass sich in diesem Bereich ein leitender bzw. nichtleitender Störkörper befindet, tätigen. Bei der Stahlplatte fällt auch auf, dass die dazugehörige niederohmige Anomalie hier deutlich zu seicht erscheint. Ein zusätzliches Problem bei dieser Messung war auch ein suboptimaler Profilverlauf (siehe Lageplan in Abbildung 7; der Grund waren Unstimmigkeiten in der GNSS-Messung)), wodurch die Stahlplatte um etwa einen Meter lateral verfehlt wurde – auf jeden Fall befand sich die Stahlplatte im Wirkungsbereich der Messung und sollte dadurch einigermaßen erfasst worden sein. Es wäre aber denkbar, dass sich dadurch die doch sehr große Diskrepanz zwischen Tiefenlage der Stahlplatte und Tiefenlage der beobachteten Widerstandsanomalie erklären lässt. Um dies restlos zu klären, wäre ein weiteres Messprofil, das genau über die Stahlplatte verläuft wünschenswert. Sollte sich im Projektjahr 2024 im Zuge einer Messkampagne in Pöverding der notwendige zeitliche Spielraum ergeben, wird diese zusätzliche geoelektrische Messung durchgeführt werden.

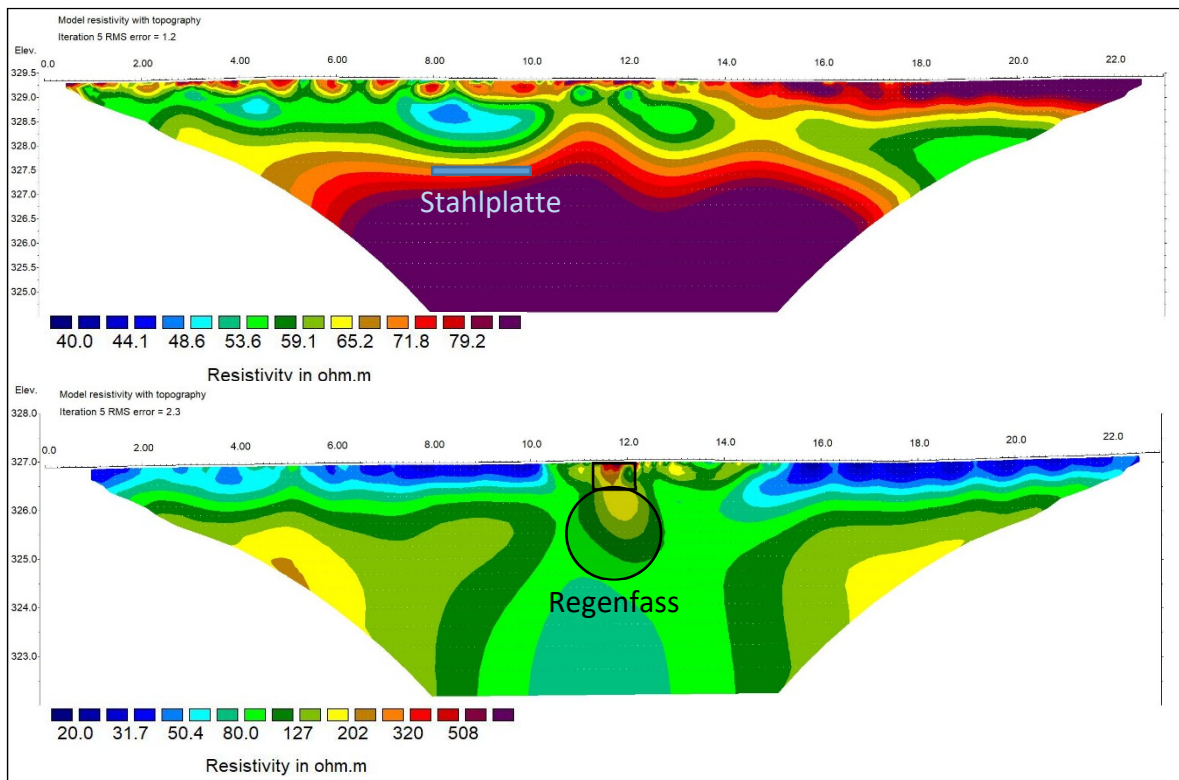


Abbildung 11: Inversionsergebnisse dargestellt als Modell des spez. elektr. Widerstandes von Profil 2 2023 (oben) und Profil 3 23 (unten) mit unterschiedlichen Farbskalen und den ins Ergebnisbild projizierten Testobjekten

Für beide Messungen gilt aber das Grundproblem, dass versucht wird ein 3-D Objekt mit einer 2-D Messung zu erfassen (siehe dazu auch die allgemeinen Ausführungen in Kapitel 3). Hier tritt dann vor allem bei nicht ganz oberflächennahen Messpunkten das Problem auf, dass der eingespeiste elektrische Strom auch um das vergrabene Testobjekt herumfließt (vor allem beim Regenfass, das ein Objekt mit sehr hohem elektr. Widerstand darstellt), wodurch für diese Punkte das Testobjekt kaum noch eine Rolle spielt. Um dies zu bestätigen, wurde für das Messprofil über das Regenfass eine einfache Modellrechnung mit der Software Re2DMod durchgeführt. Hier ist zu beachten, dass der modellierte Störkörper (Regenfass) tatsächlich eine „unendliche“ Ausdehnung in lateraler Richtung (Richtung der Zeichnungsebene) aufweist (siehe dazu obere Darstellung in Abbildung 12), d. h. es entspricht, im Gegensatz zu den realen Verhältnissen, dem Optimalfall für eine 2D-Messung. Das Ergebnis der Modellrechnung zeigt, dass die Form und Ausdehnung des Störkörpers, trotz Hinzufügen eines gewissen Rauschpegels, sehr deutlich zum Vorschein kommt (siehe Abbildung 12).

Vergleicht man das Ergebnis der Modellrechnung mit dem Ergebnis von Profil 3 2023, dann wird klar, dass nur auf der Oberfläche (max. die ersten 50 cm) das Regenfass einigermaßen abgebildet wird (starker Widerstandskontrast zur Umgebung). Der tiefere Bereich des Regenfasses zeigt sich nur in sehr abgeschwächter Form, was sich in den nur geringen Widerstandsunterschieden zum umliegenden Untergrundbereich widerspiegelt (siehe untere Darstellung in Abbildung 11). Zudem wird der Effekt mit der Tiefe immer schwächer wodurch (im Vergleich zur Modellrechnung) keine klare Aussage zur Tiefenausdehnung des Regenfasses möglich ist.

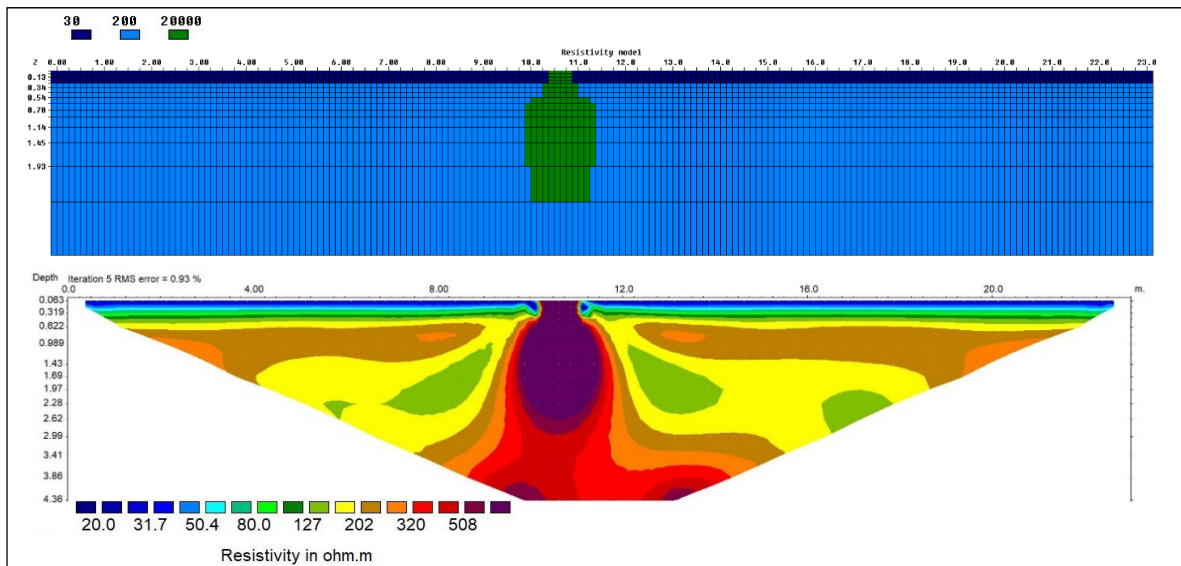


Abbildung 12: Einfaches 2D-Widerstandsmodell konstruiert in Anlehnung an die Untergrundsituation von Profil 3 2023 (oben), Inversionsergebnis als Modell des spez. elektr. Widerstandes berechnet auf Basis der vom 2D-Modell theoretisch erstellten Messdaten (inklusive 5% weißes Rauschen)

Bei der Installation der Testobjekte wurde eigentlich angenommen, dass sich diese durch die starken elektr. Widerstandskontraste zum umliegenden Untergrund doch recht deutlich abbilden sollten und dass Aussagen über deren Form und Tiefe möglich sein sollten. Mit den hier durchgeführten geoelektrischen Messprofilen (aufgrund der geometrischen Gegebenheiten minimaler Elektrodenabstand) wurde gezeigt, dass zwar eine Detektion der Testobjekte möglich ist, aber eben keine weiterführende Interpretation hinsichtlich Form und Tiefenausdehnung. Aus derzeitiger Sicht liefern nun weitere geoelektrische Messprofile in der vorliegenden Form über die Testobjekte keinen Mehrwert mehr, allerdings können aus den bisherigen Daten durchaus interessante Schlüsse gezogen werden. Für den praktischen Einsatz der 2D-Geoelektrik wird hier recht klar dargelegt, dass eine entsprechende Erfassung von Widerstandskontrasten im Untergrund nur bei ausreichender lateraler Ausdehnung dieser Untergrundbereiche (im Vergleich zur Länge des Messprofils) möglich ist. Wenn dies nicht gewährleistet ist, kann es zu erheblichen Fehlinterpretationen der Ergebnisse kommen – im Prinzip handelt es sich hier um Fehlinterpretation aufgrund von störenden 3-D Effekten. Damit wird gezeigt welche große Bedeutung die optimale Profillage sowie Profillänge hat, wenn für eine gewisse Fragestellung diese störenden Effekte minimiert werden sollen. Zudem ist klar, dass möglichst viele Vorinformationen über den Untergrund die Auswahl für eine optimale Profillage deutlich erleichtern. Aus den hier ausgeführten Überlegungen ergibt sich noch ein weiteres sehr wichtiges Fazit und zwar, dass eine detaillierte Interpretation von sehr kleinräumigen Widerstandsanomalien im Inversionsergebnis (die ev. das Resultat der oben genannten Problematik sind) nur unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll ist (z.B. gesicherte Vorinformationen über Ausdehnung und Streichen der anomalen Widerstandsbereiche im Untergrund).

Wie bereits in Kapitel 3 dargelegt, ist das klare Ziel für den weiteren Projektverlauf, mittels kleinräumiger 3D-Messungen eine optimierte Erfassung der aktuell vorhandenen Testobjekte zu erreichen. Die eher geringe Erfahrung mit derartigen 3D-Messungen wird hier einiges an Entwicklungsarbeit erfordern, zumal erste Pläne für derartige Messungen auch

den kombinierten Einsatz von zwei Messsystemen (Geomon4D und Geomon4D-IP) vorsehen. Damit soll das mit der 3D-Messung erfassbare Volumen des Untergrundes deutlich erweitert werden. Inwiefern dies in effizienter Form (also auch für den standardmäßigen Feldeinsatz) umsetzbar ist, sollen erste Messungen im Projektjahr 2024 zeigen.

Ein zweites Ziel, aus Sicht der Geoelektrik, wird die Installation eines echten 2D-Testobjektes sein (siehe Ausführungen in Kapitel 3), wodurch entsprechende Tests und Optimierungen für die 2D-Geoelektrik erfolgen können.

Langfristig wird vor allem die Entwicklung eines Workflows für den Einsatz einer entsprechenden 3-D Geoelektrik interessant sein, da dies zur Bestimmung kleinräumiger Untergrundstrukturen bei unterschiedlichen Fragestellungen große Vorteile bringen könnte.

5.3. Bodenelektromagnetik

Im ersten Projektjahr wurde eine umfangreiche flächige Messung mit dem CMD-Explorer von der Firma GF Instruments (siehe Anhang) im Bereich der vergrabenen Testobjekte durchgeführt. Das Hauptziel dieser Messungen war einerseits eine möglichst genaue Lokalisierung der Testobjekte zu erzielen und andererseits klar zu bestimmen welche Testobjekte keinerlei Signatur in den EM-Daten hinterlassen. Abbildung 13 zeigt beispielhaft einen ausgewählten Parameter der EM-Messung (Inphase 2 in parts per thousand [ppt]) für alle gemessenen Punkte. Die Testobjekte „Stahlplatte liegend“, „Stahlplatte stehend“ und das „Edelstahlfass“ kennzeichnen sich durch deutlich erhöhte Messwerte dieses Parameters. Im Gegensatz dazu sind das „Regenfass“ und das „Kabel“ anhand diese EM-Parameters nicht lokalisierbar. Das „Stahlrohr“ zeigt einen sehr schwachen Einfluss, wobei hier auch noch zusätzlich eine Richtungsabhängigkeit erkennbar ist. Die zentral und rechtwinklig über das Stahlrohr verlaufende Messlinie zeigt den signifikantesten Effekt. Die generierten Messdaten wurden keiner Dateninversion unterzogen, da damit die Sichtbarkeit der Testobjekte verringert wird und somit die genaue Lokalisierung erschwert wird.

Im nächsten Schritt (Projektjahr 2024) wird bei zumindest zwei Testobjekten, die sich in den Signalen deutlich abbilden, ein kleinräumiges Raster definiert, dass dann mit verschiedenen Messgerät Konfigurationen (unterschiedliche Spulenlage, mit und ohne Stacking, etc.) gemessen wird. Die Bewertung der Aussagekraft der nachfolgenden Dateninversion hinsichtlich der Abbildbarkeit des jeweiligen Testobjektes, soll dann klare Präferenzen für entsprechende Messgerät Konfigurationen liefern. Damit soll eine grobe Anleitung für die Wahl der optimalen Messgerät Konfiguration unter bestimmten geometrischen Bedingungen (Lage, Form, Tiefe des zu erwartenden Störkörpers) geschaffen werden.

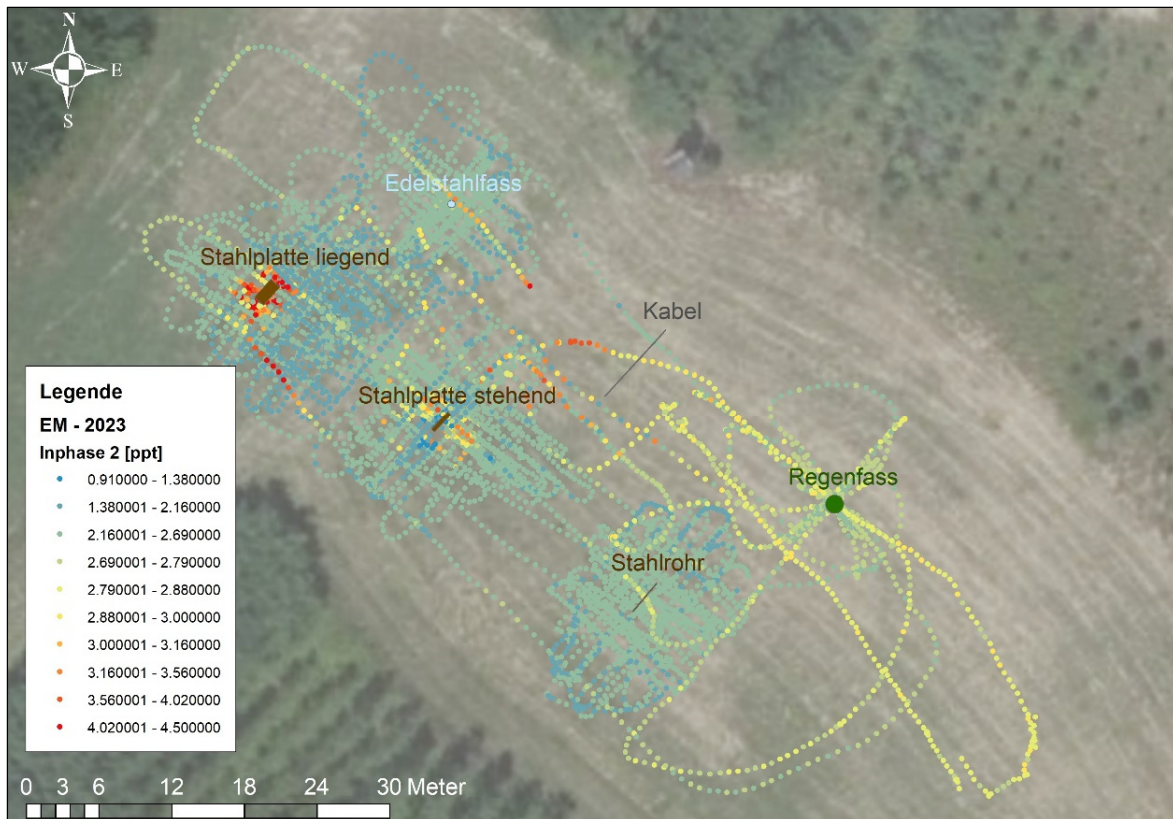


Abbildung 13: Lageplan der EM-Messpunkte 2023 und der vergrabenen Testobjekte, die Messpunkte werden als Inphase 2 in parts per thousand (ppt) farbcodiert dargestellt

5.4. Bodenradiometrie

Im Projektjahr 2023 wurde mit der Bodenradiometrie nur eine Messung an der Testsite Pöverding durchgeführt. Hierfür wurden die vor Ort in Kisten gelagerten unterschiedlichen Gesteine entlang eines Profils ausgelegt, dass dann mit dem Bodenradiometriesystem gemessen wurde. Die Analyse und Bewertung der Ergebnisse erfolgt im Projekt RadioT.

5.5. Drohnenmessungen

Im September 2023 wurden auf dem Gelände der geophysikalischen Testsite in Pöverding Testmessungen mit dem Prototyp des drohnen-gestützten EM-System durchgeführt. Der prinzipielle Aufbau des Messsystems besteht aus einer stationären Transmitterspule zur Erzeugung eines elektromagnetischen Primärfeldes im Untergrund sowie einer, auf einer Drohne montierten Receiverinheit, welche die 3 Komponenten des Sekundärfeldes mit einer Abtastrate von 75 kHz erfasst. Die rechteckige Transmitterspule wurde mit den Abmessungen 40 x 75 Metern auf ebenem Untergrund so ausgelegt, sodass der Bereich der vergrabenen Testobjekte umfasst wird (siehe dazu Lageplan in Abbildung 14). Die Einspeisung des Primärfeldes mit einer Frequenz von 1 kHz bzw. 10 kHz wurde mithilfe eines digitalen Verstärkers realisiert. Die Receiverinheit wurde, um den gesamten Ablauf zu vereinfachen, per Hand entlang von vordefinierten Messlinien im Bereich der vergrabenen Testobjekte geführt (keine Drohne). Die Testmessungen wurden erfolgreich abgeschlossen, die vorläufige Analyse der Rohdaten zeigt ein deutliches Signal der Einbauten am Testgelände.



Abbildung 14: Lageplan der EM-Drohnenmessung an der Testsite in Pöverding (Messlinien Receivereinheit in grün, ausgelegte Transmitterspule in violett)

6. Ausblick 2024

Wie bereits in den einzelnen Kapiteln dargelegt, werden im Projektjahr 2024 entsprechend den Arbeitspaketen die offenen Fragestellungen weiterverfolgt.

Ein wichtiges Ziel für den Bereich „Betrieb/Erweiterung der Testsite Pöverding“ ist die möglichst zeitnahe Klärung der Frage hinsichtlich der mittel- bis langfristigen Nutzbarkeit des Testgeländes in Zusammenhang mit den Ausbauplänen des Grundeigentümers (Stichwort: PV-Anlage). Je nachdem wie hier die Entscheidung sein wird, werden dann weitere Schritte gesetzt (Erweiterung/Neuausrichtung der Testsite, falls in Pöverding eine andere Fläche dafür zugewiesen werden sollte).

Im Bereich der Weiterentwicklung des Geomon4D-IP wird 2024 ein Schwerpunkt auf den Tests der bisher umgesetzten Entwicklungsschritte gelegt. Zudem ist das Ziel die Generierung eines weiteren umfangreichen Widerstands-/IP-Monitoringdatensatz entweder in Pöverding oder an einer anderen für flankierende Projekte relevanten Lokation. In diesem Zusammenhang soll ein vorhandener Bausatz des Geomon4D-IP (Ersatzteile) zu einem Geomon4D-IP System speziell für den Monitoringbetrieb zusammengestellt werden – d.h. das System wird in ein geeignetes Gehäuse verbaut und es werden die für den Monitoringbetrieb relevanten Stecker Verbindungen vorgesehen (z.B. Stromversorgung über Batterien, gespeist durch Brennstoffzelle oder Solarpanel). Ein wichtiger Entwicklungsschritt 2024 wird die Erweiterung auf einen maximalen Systemeingangstrom von 13 A (bei 24 V) sein, wobei hier entsprechende Tests hauptsächlich auf die Standfestigkeit der davon betroffenen elektronischen Bauteile abzielen werden. Dies wird hauptsächlich durch die Fa. Liftoff im Labor erfolgen. Der Einsatz dieses maximalen

Eingangstroms wird dann unter passenden Bedingungen natürlich auch im Feldeinsatz getestet werden.

Im Bereich der Weiterentwicklung geophysikalischer Methoden wird weiterhin der Fokus auf der Geoelektrik und der Bodenelektromagnetik liegen. Bei der Geoelektrik soll zumindest eine erste kleinräumige 3D-Messung zur Umsetzung kommen. Das Experiment hinsichtlich der Abschätzung von 3D-Effekten im Bereich der Böschungskante soll im Projektjahr 2024 abgeschlossen werden (hierfür sind zumindest 3 Messprofile notwendig). Eine zusätzliche (wahrscheinlich längerfristige) Untersuchung soll sich mit der Frage beschäftigen, ob die bei Feldmessungen häufig beobachteten, z.T. massiven niederohmigen Anomalien im Bereich von Straßenquerungen mit der winterlichen Salzstreuung erklärt werden können. Dazu wird an der Testsite Pöverding in einem kleinen Bereich Salz (in geringen Mengen) aufgebracht woraufhin in diesem Bereich in größeren zeitlichen Abständen geoelektrische Messungen erfolgen sollen. Es ist vollkommen klar, dass kurzfristig ein starker Effekt auf den spez. elektr. Widerstand des Untergrundes besteht. Dies haben schon diverse Beregnungsversuche mit Salztracer in anderen Projekten gezeigt (siehe dazu z.B. ÖAW-Projekt „Shallow Interflow“, Markart et al., 2013). Was bei den bisherigen Versuchen natürlich nicht betrachtet wurde ist, für welche Zeitspanne dieser Einfluss des Salzes auf den spez. elektr. Widerstand nachweisbar ist. Wie stark ist diese Zeitspanne von zusätzlichen Faktoren wie der generellen Bodenbeschaffenheit, Niederschlagsereignissen, etc. abhängig? Bei einer ersten Literaturrecherche konnten diesbezüglich einige Anhaltspunkte gefunden werden, die aber dennoch keinen eindeutigen Schluss hinsichtlich des Einflusses auf eine geoelektrische Messung erlauben. Daher scheint es lohend zu sein, diese Fragestellung mit einem möglichst realitätsnahen Experiment zu betrachten. Mit den hier gewonnenen Erkenntnissen werden zwar die bei Straßenquerungen auftretenden niederohmigen Anomalien nicht beseitigt, mit einer experimentell untermauerten Erklärung dafür ist aber der Ergebnisinterpretation dennoch enorm geholfen. Ein wichtiger Punkt im Projektjahr 2024 soll auch die Entwicklung eines semiautomatischen Workflows für die Auswertung von IP-Messungen darstellen. Bei IP-Messungen werden aktuell die umfangreichen Rohdaten (Sample Daten) des Geomon4D-IP für die weitere Verarbeitung in mehreren Schritten unter Einbeziehung verschiedener Softwarecodes verwendet. Diese Arbeitsschritte sind relativ aufwendig und zeitintensiv bis ein fertiger Datensatz für die Inversionsrechnung vorliegt. Für die finale Datenauswertung im Büro sind gewisse Auswerteschritte, die mitunter recht aufwendig sind und manuellen Input erfordern, dennoch unumgänglich. Der hier zu entwickelnde Workflow soll vor allem dafür gedacht sein, eine möglichst rasche Schnellauswertung im Feld zu ermöglichen. Dadurch kann im Feld leichter über etwaige Anpassungen der Messeinstellungen entschieden werden bzw. generell beurteilt werden, ob weitere IP-Messungen, die deutlich zeitaufwändiger als reine Widerstandsmessungen sind, im entsprechenden Messgebiet sinnvoll sind.

Bei der Bodenelektromagnetik sollen im kommenden Projektjahr mit dem CMD Explorer kleinräumige hochauflösende Messungen im Bereich von zumindest 2 Testobjekten durchgeführt werden. Die Messungen werden auf einem feinmaschigen Raster mit unterschiedlichen Messeinstellungen (kontinuierlich, punktweise, etc.) durchgeführt. Mit der darauffolgenden Inversion (es wird versucht, die Daten mit der Software Res3DInv 3-

dimensional auszuwerten) sollen anhand des berechneten Modells des spez. elektr. Widerstandes die optimalen Messeinstellungen hinsichtlich der Beurteilung des Testobjektes bestimmt werden. Diese Erkenntnisse können direkt als Grundlage für die Planung entsprechender Messungen für vergleichbare Fragestellungen herangezogen werden.

Im Bereich Bodenradiometrie und Drohnenmesssystem sind aktuell im Rahmen dieses Projektes für 2024 keine nennenswerten Aktivitäten geplant.

7. Literatur

Hung Y-C, Lin C-P, Lee C-T, Weng K-W. 3D and Boundary Effects on 2D Electrical Resistivity Tomography. Applied Sciences. 2019; 9(15):2963. <https://doi.org/10.3390/app9152963>

Markart G., Römer A., Bieber G., Pirkl H., Klebinder K., Hörfarer C., Ahl A., Ita A., Jochum B., Kohl B., Meissl G., Motschka K., Ottowitz D., Schattauer I., Sotier B., Strasser M., Suntinger K., Winkler E., ÖAW-Projekt/Nationalkomitee Hydrologie Österreich (IHP): Abschätzung der Bandbreiten von Fließgeschwindigkeiten des oberflächennahen Zwischenabflusses in alpinen Einzugsgebieten, Endbericht 3. Projektjahr, März 2013, <http://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576%200x002dfd06.pdf>

Für weiterführende Literatur wird auf den Projektantrag verwiesen.

8. Anhang

Gleichstromgeoelektrik

Bei der geoelektrischen Messmethode wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen. Die gängigsten geoelektrischen Feldmessungen bedienen sich meist einer linearen, symmetrischen Elektrodenkonfiguration in sog. 4 Punktanordnung, wobei die Außenelektroden den Strom einspeisen und die Innenelektroden die Potentialdifferenz messen. Das Prinzip einer herkömmlichen geoelektrischen Tiefensondierung besteht darin, durch Variation des Außenelektrodenabstandes verschiedene Tiefen zu erfassen.

Um die zweidimensionale Aufnahme des Untergrundes zu ermöglichen, wurden Mitte der 90-er Jahre Multielektrodenanordnungen entwickelt, die aus einer Messeinheit und bis zu 256 automatisch steuerbaren Elektroden bestehen. In der Folge wird von einer Steuereinheit automatisch durch Zusammenschalten der entsprechenden Tiefensondierungen bis zum maximal möglichen Außenelektrodenabstand gemessen (Skizze Abbildung A)

C_1, C_2 Stromeinspeisepunkte,

V_1, V_2 Potentialmesselektroden

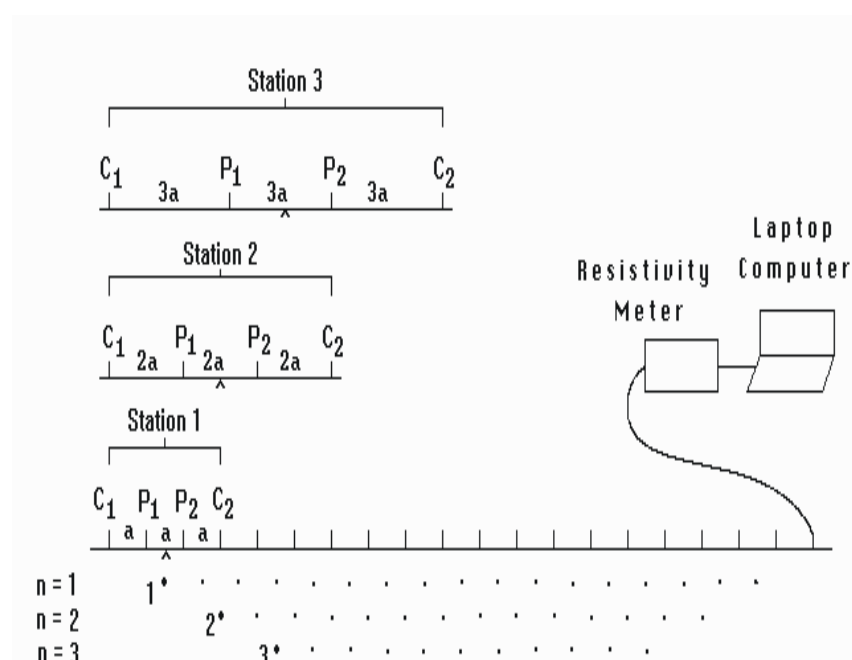


Abbildung A: Messprinzip der Multielektroden Geoelektrik

Die Messergebnisse selbst werden zur Qualitätskontrolle in Form einer sog. „Pseudosektion“ dargestellt, wobei die gemessenen scheinbaren Widerstände gegen den jeweiligen Elektrodenabstand („Pseudotiefe“) aufgetragen werden. Als Auswertung wird eine zweidimensionale Inversion nach der Methode der finiten Differenzen durchgeführt, wobei der Untergrund in rechteckige Blöcke aufgeteilt wird, welchen durch einen Algorithmus die zu den Messwerten bestmöglich passenden Widerstandswerte zugewiesen werden. Aus den Pseudowiderständen wird mit einem Inversionsverfahren ein Modell der Widerstands-Tiefenverteilung berechnet. So erhält man den Widerstandsaufbau des Untergrundes (Skizze siehe Abbildung B). Das Ergebnis sind Profilschnitte, wobei die Darstellung der Topographie entlang der Profile berücksichtigt werden kann.

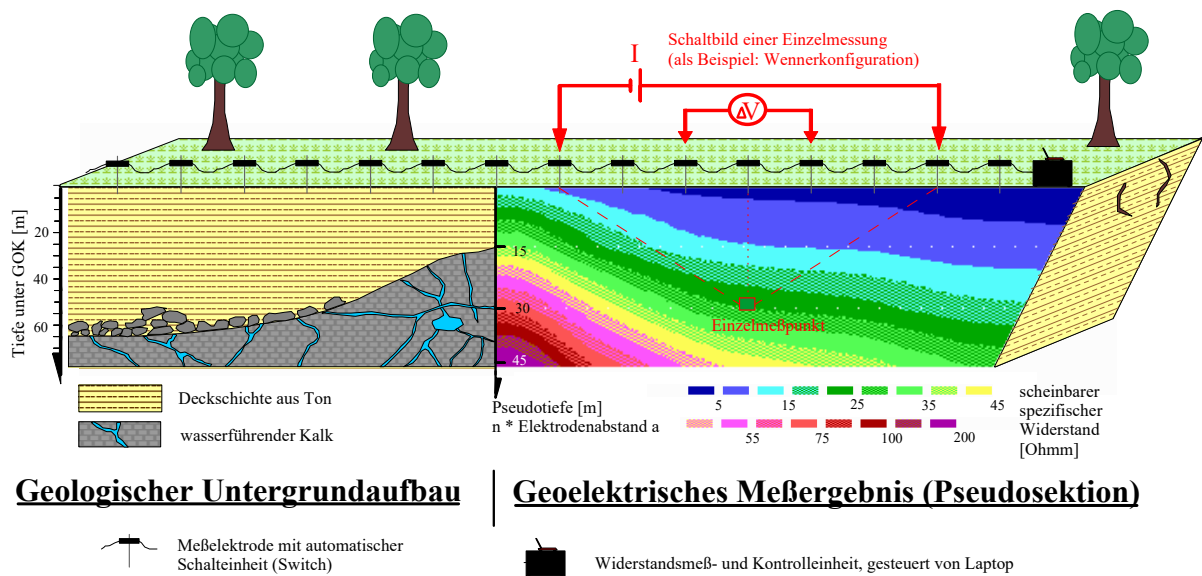


Abbildung B: Prinzip einer zweidimensionalen Aufnahme mit einem Multielektrodensystem

Bei dem hier verwendeten Gerät handelt es sich um eine Eigenentwicklung der Geosphere Austria (Gerätespezifikation siehe in den folgenden Tabellen).

Geomon4D-IP v 1.0 08/2020

Hersteller: Geosphere Austria (vormals Geologische Bundesanstalt)

Data sheet

Potentialbereich	+/-80V	+/-8V	+/-2V
Eingangswiderstand [M Ω]	400	400	400
Auflösung [mV]	1	0.1	0.025
Gleichtaktspannung [V]	+/-400	+/-400	+/-400
Maximale Eingangsspannung [V]	+/-400	+/-400	+/-400
Grenzfrequenz [kHz]	8	8	8
Abfallzeit [μ s] max.	200	200	200
Toleranz	< 1%	< 1%	< 2%

ADC	
Abtastrate [sps]	15000, 7500, 3750, 1875 (umschaltbar)
Auflösung	24 Bit
Simultan erfasste Kanäle	6
Eingangsbereich [V]	+/-4
Eingänge	differentiell

Spannungsversorgung	
Minimale Spannung [V]	21.6
Maximale Spannung [V]	30
Maximaler Strom [A]	10
Ruhestrom [mA] max.	200

Stromgenerator	
Maximale Spannung [V]	+/-400
Maximaler Strom [mA]	+/-750
Maximale Leistung [W]	200
Wirkungsgrad	87%
Abfallzeit [μ s] max.	2
Auflösung [mA]	1
Toleranz	5%

Elektromagnetik

Bei der elektromagnetischen Messmethode wird induktiv mittels 2er Spulen (Sende- bzw. Empfangsspule) ebenfalls die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im

Untergrund gemessen.

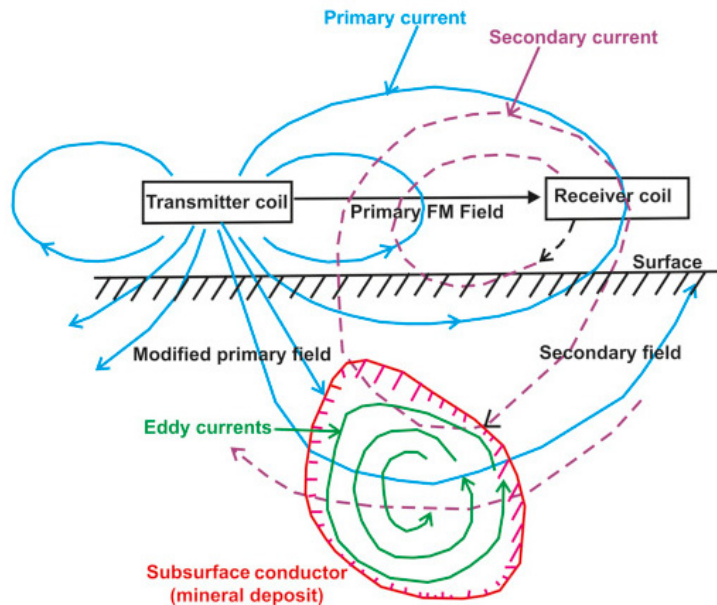


Abbildung C: Messprinzip der elektromagnetischen Messung

Im Projektjahr 2023 des ÜLG-90 wurde das Messgerät CMD Explorer der Fa. GF Instruments eingesetzt.

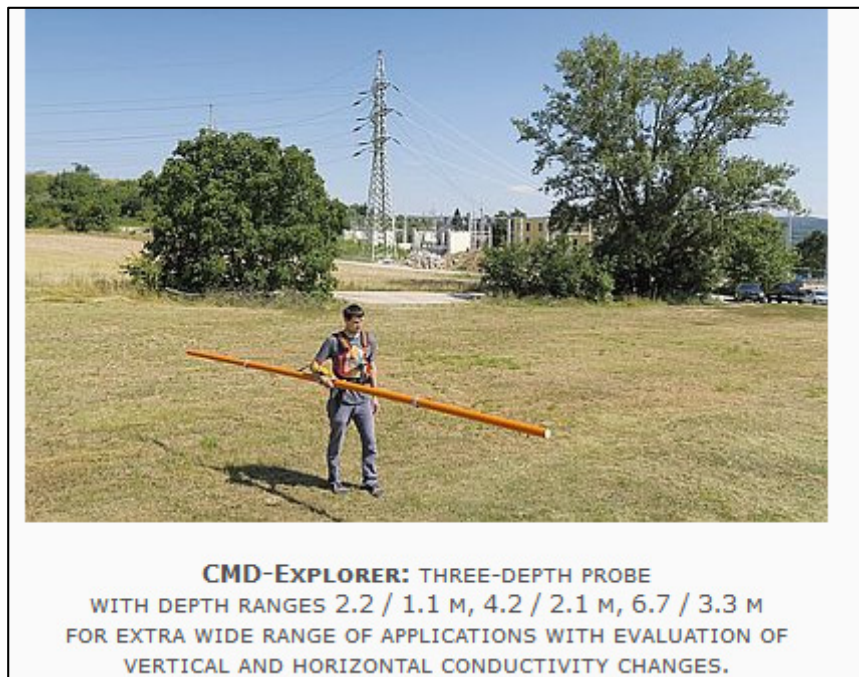


Abbildung D: Messinstrument CMD-Explorer mit Spezifikationen