

*Entwicklung eines feldtauglichen Messgerätes
für Induzierte Polarisationsmessungen auf Basis
der GBA Eigenentwicklung GEOMON 4D*

Projekt ÜLG76

(Projektdauer: 01.07.2017-31.12.2020)

Endbericht 2020

von

RÖMER, A., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., HEIDOVITSCH, M. &

KREUZER G. (Fa. LIFTOFF), MYEONG-JONG YI (KIGAM)

63 S., 60 Abb.

Wien, März 2020

PROJEKTLEITUNG: MAG. A. RÖMER

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER:

MAG. D. OTTOWITZ	GEOPHYSIK
MAG. B. JOCHUM	GEOPHYSIK
M. HEIDOVITSCH	TECHNIKER
DI G. KREUZER (FA. LIFTOFF)	ELEKTROTECHNIKER
MYEONG-JONG YI (KIGAM)	SOFTWARE

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

Die Projektdurchführung erfolgte im Rahmen des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung und des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	2
2. Einleitung und Aufgabenstellung	3
3. Status GEOMON4D-IP/IP Inversion (Dezember 2020)	5
4. Weiterentwicklung des bestehenden geoelektrischen Messsystems zur Messung von IP Effekten (GEOMON4D-IP).....	6
5. ÜLG76 Messkampagnen	25
6. Weiterentwicklung IP SOFTWARE	51
7. GEOMON4D-IP Data Sheet.....	56
8. Literatur	57
9. Bericht KIGAM IP Softwareentwicklung (Myeong-Jong Yi)	58

1. Zusammenfassung

Aufbauend auf den im Juni 2017 bereits vorliegenden ersten Prototyp-für ein GEOMON 4D-IP Messsystem wurde als Ziel des ÜLG-76 Projektes die *Weiterentwicklung des bestehenden geoelektrischen Messsystems GEOMON 4D (Eigenentwicklung der GBA) für Induzierte Polarisationsmessungen im Zeitbereich (TDIP)* definiert.

Die Hard- und Softwareentwicklung des neuen Messsystems GEOMON4D-IP wurde in Zusammenarbeit mit DI Kreuzer (Fa. LIFTOFF), mit dem schon das vorherige Messgerät GEOMON4D entwickelt wurde, durchgeführt. Die Praxistauglichkeit des GEOMON4D-IP Messgerätes (von ersten Prototypen bis schon fast fertigen Messgerätvarianten) wurde im Garten der GBA am (ab 2020 fix installierten) Monitoringprofil zur Untersuchung der längerfristigen Stabilität getestet. Parallel wurde das Messgerät bei Messkampagnen in verschiedenen Projekten, u.a. wurden geoelektrische Messungen im Bereich von ehemaliger Grafitlagerstätten (Zettlitz, Amstall/NÖ) für das MRI-Projekt Explograf durchgeführt, erfolgreich eingesetzt. Die Auswertesoftware für IP Daten, wurde im Rahmen einer Kooperation mit dem koreanischen geologischen Dienst (KIGAM) weiterentwickelt. Ein Modul stellt den Inversionsalgorithmus dar und liefert anhand der mit dem zweiten Modul aufbereiteten Rohdaten ein Modell des spez. elektr. Widerstandes und der Aufladbarkeit des Untergrundes. Die grundlegende Entwicklung des Messsystem GEOMON4D-IP als Feldmessgerät zur Messung von elektr. Widerstand und der Induzierten Polarisation im Zeitbereich konnte mit Projektende erfolgreich abgeschlossen werden. Damit steht das GEOMON4D-IP System für den praktischen Einsatz für IP Messungen im Zeitbereich (TDIP) an der FA Geophysik der GBA standardmäßig zur Verfügung.

Verlängerung ÜLG76 Projekt

Das Projekt ÜLG-76 war in seiner ursprünglichen Konzeption auf 2 Jahre Laufzeit ausgelegt (2017-2019). Während der Laufzeit wurde, um die Projektlaufzeiten auf Kalenderjahr umzustellen, ein zusätzliches ½ Projektjahr eingeschoben, mit der Begründung, dass mit den zusätzlichen Projektmitteln Arbeiten durchgeführt werden, die über die im Rahmenantrag definierten Aufgaben hinausgehen und eine inhaltliche Ergänzung darstellen. Hierbei kam auch der zeitliche Mehraufwand in den Projekten zum Tragen, der sich aus den zum damaligen Zeitpunkt durchgeführten Umstellungen im Projektmanagement der GBA ergab, da hierfür umfangreiche Schulungen und die Einführung einer organisationsübergreifenden Software ("onepoint projects") erforderlich waren. Auf Grund der sich im Projektverlauf abzeichnenden deutlich umfangreicheren Entwicklungsarbeiten für das GEOMON4D-IP Messsystem wurde 2019 der Antrag gestellt, das Projekt ÜLG-76 um ein weiteres Jahr zu verlängern. Der Hauptgrund lag in einer kompletten Neuentwicklung der Steuerplatine des GEOMON4D-IP Gerätes. Dadurch konnten aufgrund einer verbesserten Stromspeisung, einer besseren Auflösung der gemessenen elektrischen Spannung, sowie einer größeren Bandbreite der zu messenden elektrischen Spannung, deutliche Vorteile bei der Messqualität der geoelektrischen Parameter erzielt werden. Damit konnten erst relativ spät belastbaren TDIP Daten für die Weiterentwicklung der IP Software erhoben werden. Als zusätzliches Ziel im Projekt ÜLG-76 wurde die Entwicklung einer Testbox zur Feststellung möglicher Ursachen für ev. vorhandene Signalstörungen festgelegt. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in Kapitel 4 (*zusätzliches Projektziel*).

2. Einleitung und Aufgabenstellung

An der GBA wird seit 2002 in Zusammenarbeit mit der Firma LIFTOFF erfolgreich ein eigenes geoelektrisches Messgerät (Gleichstromgeoelektrik) entwickelt (GEOMON4D), welches eine hochauflösende Aufnahme des elektr. Widerstandes des Untergrunds ermöglicht. Dieses Messsystem ist als Multielektrodensystem konzipiert (mit zumeist 93 Elektroden, es kann aber grundsätzlich eine beliebige Anzahl von Elektroden aufweisen), mit dem innerhalb von relativ kurzer Zeit eine große Anzahl von Messpunkten (4000 Messpunkte in 1.5 h) gemessen werden kann. Die damalige Motivation war ein eigenes Messgerät für geoelektrisches Monitoring zu bauen, weil zu dem Zeitpunkt (2002) ein solches System kommerziell nicht verfügbar war. Ein weiterer Punkt war, bei dem System die Messzeiten deutlich geringer als sonst üblich zu halten, um die Dauer der gesamten Messung an die zu untersuchenden zeitlichen Vorgänge, hauptsächlich Hangrutschungen, anzupassen. Die gerätetechnische Entwicklung wurde über die Jahre weiter verbessert und so wird das Messsystem (GEOMON4D) sowohl als Monitoringstation, als auch als „normales“ Feldmessgerät erfolgreich eingesetzt.

Des Weiteren wird an der FA Geophysik der GBA seit etlichen Jahren in Kooperation mit dem Koreanischen Geologischen Dienst (KIGAM) eine geoelektrische Inversionssoftware entwickelt, deren Routinen speziell die Aufnahmecharakteristika und Datenqualitätsanalysemöglichkeiten des GEOMON4D Systems in die Inversion miteinbezieht (ein Teil des Verfahrens wurde gemeinsam patentiert). Somit steht in der Kombination GEOMON4D und Inversionsverfahren eine angepasste Toolbox zur Aufnahme und Auswertung geoelektrischer Daten zur Verfügung.

Eine Erweiterung der Gleichstromgeoelektrik stellt die Methode der Induzierte Polarisation (IP) dar. Die induzierte Polarisation (IP) ist eine geoelektrische Untersuchungsmethode, bei der die sogenannte Aufladbarkeit/Polarisierbarkeit (engl. chargeability) von Gesteinen berücksichtigt wird. Sie erlaubt die Messung zusätzlicher, vom Gleichstromwiderstand unabhängiger, materialspezifischer elektrischer Parameter und ermöglicht somit weitergehende stoffliche und strukturelle Aussagen (KNÖDEL et al., 2005). Die Methode kann im Zeitbereich (TDIP) oder im Frequenzbereich (FDIP) erfolgen. Einfach gesagt wird bei der TDIP das Abklingverhalten der Spannung nach erfolgter Stromabschaltung untersucht, wohingegen bei der FDIP die Stromeinspeisung mit unterschiedlichen Frequenzen erfolgt und hier die Phasenverschiebung der gemessenen Spannung zur Stromeinspeisung die unterschiedlichen Polarisierungseffekte widerspiegelt. Die Gesamtheit der Vorgänge im Untergrund, die zur induzierten Polarisation beitragen sind zum Teil noch nicht gänzlich geklärt, der überwiegende Teil des gemessenen Effekts lässt sich aber im Wesentlichen auf zwei relativ gut erforschte Phänomene reduzieren (TELFORD et al., 1990):

- die Elektrodenpolarisation – diese wird verursacht durch die Unterschiede zwischen Ionen- und Elektronenleitfähigkeit in Gesteinen mit metallischen oder sulfidischen Beimengungen;
- die Membranpolarisation: Ursache der Membranpolarisation ist die unterschiedliche Mobilität von Ionen im Porenraum der Gesteine. Sie tritt oft an Gesteinen mit kleinen Porenweiten auf. Die von der Membranpolarisation verursachten Messeffekte sind in der Regel um eine Größenordnung kleiner als die bei Auftreten von Elektrodenpolarisation.

Bei vielen Fragestellungen, wo der Untergrund ein ausreichendes Maß an unterschiedlicher Polarisierbarkeit aufweist, können durch die Messung der Aufladbarkeit zusätzliche Abgrenzungen von unterschiedlichen Bereichen des Untergrundes vorgenommen werden. So werden IP Messungen besonders erfolgreich bei der Exploration von sulfidischen Erzen, aber auch zur Detektion von Tonschichten im Untergrund angewandt. **Somit wurde, basierend auf dem bereits vorhandenen Geomon4D Messsystem, als Hauptziel des ÜLG76 Projektes eine entsprechende Erweiterung des Messsystems Geomon4D auf die zusätzliche Messung des IP-Effektes im Zeitbereich (GEOMON4D-IP) definiert.**

Ein großer Vorteil bei der Eigenentwicklung eines solchen Messsystems ist die Möglichkeit eines direkten Zugriffs auf die produzierten Rohdaten, der bei kommerziellen Geräten in den allermeisten Fällen nicht möglich ist. Auch die direkte Einflussnahme in die individuelle Ausgestaltung diverser interner Geräteabläufe, die eine optimale Anpassung an den gewünschten Einsatzbereich ermöglichen, ist ein weiterer großer Nutzen. Im standardmäßigen Einsatz stellt auch die Möglichkeit, dass vom Benutzer Reparaturen durch einen raschen Austausch von einzelnen Messplatinen schnell durchgeführt werden können, einen großen Vorteil gegenüber dem Einsatz kommerzieller Systeme dar. Dies deshalb, da beim Einsatz kommerzieller Systeme, anfallende Reparaturen immer einen meist lang dauernden Prozess (Abbau, Transport, Versand, Reparatur, Wiederaufbau) mit entsprechenden Kosten und somit deutlich längeren Ausfallszeiten von Messungen bzw. Messreihen bei geoelektrischen Monitoring nach sich ziehen.

Ein weiteres Ziel des Projektes ÜLG76 war für die Auswertung (Inversion) von TDIP Daten für den Geoelektrik-Inversionscode („SIP_Time_2DInv7“ und die Prozessingsoftware „ip_data_process“) der Arbeitsgruppe am koreanischen geologischen Dienst (KIGAM) von Dr. Myeong-Jong Yi (vormals Prof. Dr. Jung-Ho Kim, der leider 2019 verstorben ist) spezielle Softwareroutinen für die TDIP Inversion, angepasst an die Eigenschaften des neuen GEOMON4D-IP, zu entwickeln.

Das Projekt ÜLG-76 war in seiner ursprünglichen Konzeption auf 2 Jahre Laufzeit ausgelegt (2017-2019). Ende des Jahres 2019 wurde, auf Grund der Projektentwicklung der Antrag gestellt, das Projekt ÜLG-76 um ein weiteres Jahr zu verlängern und dafür das Projekt ÜLG-75 („tiefe Geoelektrik“) um diesen Zeitraum zu verkürzen, weil dieses Projekt zu diesem Zeitpunkt mit den bis dahin durchgeführten Arbeiten gut abgeschlossenen werden konnte. Als zusätzliches Ziel im Projekt ÜLG-76 wurde die Entwicklung einer Testbox zur Feststellung möglicher Ursachen für ev. vorhandene Signalstörungen festgelegt. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in Kapitel 4 (*zusätzliches Projektziel*). Somit wurde das Projektende für das ÜLG-76 Projekt mit Jahresende 2020 festgelegt. Im vorliegenden Bericht wird zuerst kurz der Status der Hard- und Softwareentwicklung des Messsystems GEOMON4D-IP und somit der Stand zu Projektende des Projektes ÜLG-76 (Dezember 2020) dargelegt. Im Anschluss wird anhand der im Projektantrag definierten einzelnen Projektziele ein ausführlicher Überblick über die Entwicklung des Messsystems GEOMON4D-IP und der Inversionssoftware gegeben. Diese Art der Hard- und Software Eigenentwicklung unterliegt naturgemäß einem ständigen Entwicklungsprozess und ist somit nie wirklich „fertig“ abgeschlossen. Das übergeordnete Ziel, ein im Feldbetrieb einsetzbares Messsystem zur Messung und der anschließenden Inversion von TDIP Daten zu entwickeln, konnte aber mit Abschluss des ÜLG-76 Projektes erreicht werden.

3. Status GEOMON4D-IP/IP Inversion (Dezember 2020)

Der aktuelle Status des Messsystems GEOMON4D-IP und der Inversionssoftware kann zum Projektende (Stand Dezember 2020) folgendermaßen zusammengefasst werden:

Neben der Erweiterung um den Messparameter „Induzierte Polarisation“ bringt auch die Messung des elektrischen Widerstandes mit dem neuen System aufgrund einer verbesserten Stromspeisung, einer besseren Auflösung der gemessenen elektrischen Spannung, sowie einer größeren Bandbreite der zu messenden elektrischen Spannung deutliche Vorteile gegenüber dem bestehenden Messsystem. Damit konnte die Datenqualität noch einmal nachdrücklich gesteigert werden. Diese Verbesserung wird in der Gegenüberstellung von Ergebnissen von Geoelektrikprofilen im Kapitel 5 näher ausgeführt.

Das Messsystem GEOMON4D-IP ist als Feldmessgerät zur Messung von elektr. Widerstand und der Induzierten Polarisation im Zeitbereich einsetzbar. Somit konnte das im Projektantrag formulierte Hauptprojektziel, der „Weiterentwicklung des bestehenden geoelektrischen Messsystems GEOMON4D (Eigenentwicklung der GBA) für Induzierte Polarisationsmessungen im Zeitbereich (TDIP)“, erfolgreich umgesetzt werden. Damit steht das GEOMON4D-IP System für den praktischen Einsatz der IP Messungen im Zeitbereich (TDIP) standardmäßig zur Verfügung (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Einsatz des GEOMON4D-IP Messgerätes (Dezember 2020)

Die Auswertung (Inversion) der IP Daten ist mit dem Softwarepaket, bestehend aus den Programmen „ip_data_process“ und „SIP_Time_2DInv7“, das im Rahmen der Kooperation mit KIGAM in den 3.5 Projektjahren entwickelt wurde, möglich. Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung der IP-Software ist in Kapitel 6 dargestellt.

An einer Weiterentwicklung bzw. Verbesserung, sowohl im Bereich der Hard-, als auch der Software wird in nächsten Jahren im Rahmen von anderen Projekten, v.a. anwendungsorientiert weitergearbeitet werden.

4. Weiterentwicklung des bestehenden geoelektrischen Messsystems zur Messung von IP Effekten (GEOMON4D-IP)

In diesem Kapitel soll anhand der im Projektantrag definierten Projektziele eine Chronologie und ein Überblick über die jeweiligen durchgeführten Arbeiten im Bereich der Hard- und Softwareentwicklung gegeben werden. Damit soll auch der damit verbundene Arbeitsaufwand in einem kompakten Überblick dokumentiert werden. Eine vollständige Dokumentation der in den einzelnen Schritten auftretenden Problematiken und deren unterschiedliche Lösungsansätze würde hinsichtlich Komplexität und Umfang den Rahmen dieses Endberichtes übersteigen.

PROJEKTZIEL: *Weiterentwicklung des bestehenden geoelektrischen Messsystems GEOMON4D (Eigenentwicklung der GBA) für Induzierte Polarisationsmessungen im Zeitbereich (TDIP). Das GEOMON4D System, das im Endausbau mit hoher Geschwindigkeit und Auflösung eine Erfassung von TDIP Parametern ermöglicht, soll für den praktischen Einsatz der IP Messungen im Zeitbereich (TDIP) standardmäßig zur Verfügung stehen.*

Aufbauend auf den im Juni 2017 bereits vorliegenden Hardwarekomponenten – ein erster Prototyp für die neue Steuereinheit war bereits entworfen - wurde für die Weiterentwicklung des geplanten neuen GEOMON4D-IP Messgerätes mit diversen Adaptierungen der Hardware, Fehlerbehebungen und Weiterentwicklungen begonnen. Daneben wurde ein grundlegendes Konzept für eine benutzerfreundliche Bedienungsoberfläche und eine Konzeption für die Datenausgabe (Datenformat) geplant.

Bei ersten Tests mit dem Prototyp GEOMON4D-IP wurden zunächst einige grundlegende Probleme bei der Transistorsteuerung beobachtet. Das Problem bestand darin, dass nach der Abschaltung des Stromflusses ein noch vorhandener rückfließender Strom zu beobachten war, der die IP-Messungen massiv beeinflusst. Nach gründlicher Prüfung mittels aufwendigen Messungen am Oszilloskop wurde festgestellt, dass nach dem Abschalten die entsprechenden Transistoren für die Gegenrichtung eine gewisse Stromdurchlässigkeit haben und somit dieser „Stromrückfluss“ über das Gerät zustande kommt. Das Problem mit dem rückfließenden Strom nach der Abschaltung zeigt Abb. 2. Da dies, wie bereits erwähnt, einen unmittelbaren Einfluss auf die gemessene Spannung und somit auf die Messung des IP-Effekts des Untergrundes hat, wurde nach einer technischen Möglichkeit gesucht, dies zu unterbinden. Dieses Problem erforderte ein zeitaufwendiges Neudesign der Konverter-Platine, konnte aber mit einer adaptierten Messabfolge und dem Einbau zusätzlicher Dioden behoben werden.

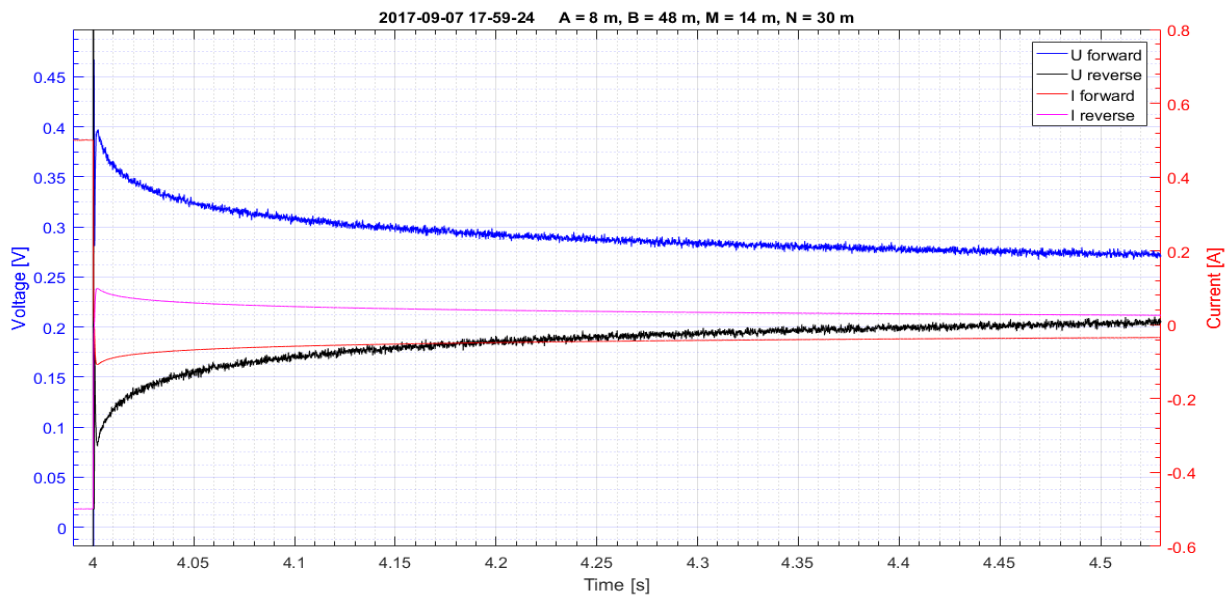


Abb. 2: Darstellung der Rohdaten einer beliebigen 4-Punktanordnung, dargestellt sind Strom und die gemessene Spannung für beide Messrichtungen (forward u. reverse) für eine Zeit von etwa 0.55 s

Bei einer entsprechend hohen Abtastrate des ADC Wandlers (Analog-Digital Converter von Texas Instruments/TI©) zur möglichst vollständigen Rekonstruktion der IP-Abklingkurve entstehen bei den IP-Messungen (v.a. bei längerer Aufnahmedauer) sehr große Datenmengen. Als erster Schritt zur Reduktion der Datenmenge wurde die Teilermöglichkeit des ADC Wandlers genutzt. Damit ließ sich die Datenrate entsprechend reduzieren. Damit wurde aber auch der Dynamikbereich verbessert und es war auch deutlich weniger Rauschen im ADC zu beobachten. Die trotzdem noch beträchtlichen Datenmengen erlaubten es nicht, eine Ausgabedatei mit umgerechneten Werten in ASCII-Codierung schon während der Messung zu erzeugen. Zunächst wurden also die reinen Binärcodes des AD Wandlers abgespeichert. Erst in einem weiteren Schritt erfolgte die Umwandlung und die für die Auswertesoftware passende Formatierung der Daten. Durch die großen Datenmengen kamen entsprechend lange, z.T. nicht praktikable, Rechenzeiten zustande. Dies warf die Frage auf, ob es nicht auch schnellere Prozessormodule gäbe und so konnte nach längeren Recherchen ein leistungsfähigeres Modul mit ähnlich niedrigem Energieverbrauch, das erst neu am Markt verfügbar war, gefunden werden. Ein Umstieg auf dieses neue Modul war zu diesem Zeitpunkt mit vertretbarem Aufwand möglich, da die Platine mit dem älteren Modell erst in der Prototypphase war. Nach Prüfung der angebotenen Softwareunterstützung wurde entschieden, dass ein Umstieg auf das leistungsfähigere Modul erfolgen sollte. Nach Erhalt des ersten neuen Moduls starteten die ersten Hard- und Software-Adaptierungen. Die dafür notwendigen Umbauarbeiten auf den neuen, leistungstärkeren Prozessor, der im ursprünglichen Entwicklungsplan so nicht vorgesehen war, wurde allerdings, wie gesagt, auf Grund der enormen Rechenzeiten beim internen Datenprozessing als sinnvoll erachtet. Abb. 3 zeigt die neue Steuerplatine.

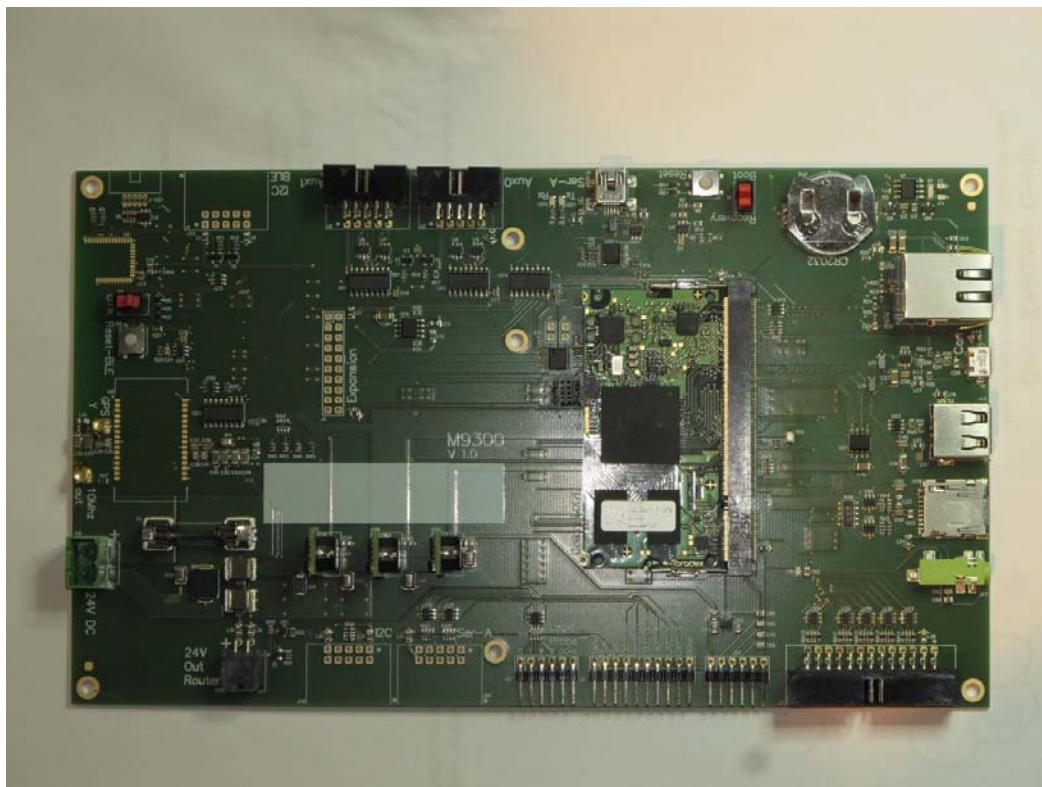


Abb. 3: Steuerplatine NEU.

Um das neue Computermodul nutzen zu können, musste der hardwarenahe Teil der Software umgeschrieben werden. Dabei tauchten zwei schwerwiegende Probleme auf. Das Betriebssystem legte manchmal Pausen ein und erzeugte Fehler bei der priorisierten Aufgabenverteilung. Das zweite Problem betraf die Datenschnittstelle zwischen den beiden Platinen. Der Fehler in der Aufgabenpriorisierung trat auch bei den bis dahin durchgeführten Tests auf, da aber diese zeitlich sehr begrenzt waren, konnte dieses Problem als solches nicht erkannt werden. Vermutlich überlagerten auch andere Probleme zunächst diesen Fehler. Die Fa. Microsoft (©) löste das Problem mit der Aufgabenverteilung recht schnell, die Firma, die das Computermodul baut und auch für die Softwareanpassung des Betriebssystems zuständig ist, schaffte es aber nicht, das Problem zu lösen. So wurde eine von DI Kreuzer (Fa. Liftoff) als Zwischenlösung entwickeltes Softwareprogramm beibehalten, um mit der Entwicklung der endgültigen Platine weitermachen zu können. So erfolgte nach dem Sommer 2018 die erste erfolgreiche Kommunikation beider Systeme (siehe Abb. 4). Nach einigen Schwierigkeiten konnten damit die Daten jetzt zwischen den Systemen korrekt übertragen werden und damit war die Abspeicherung der Daten nun auch schnell genug.

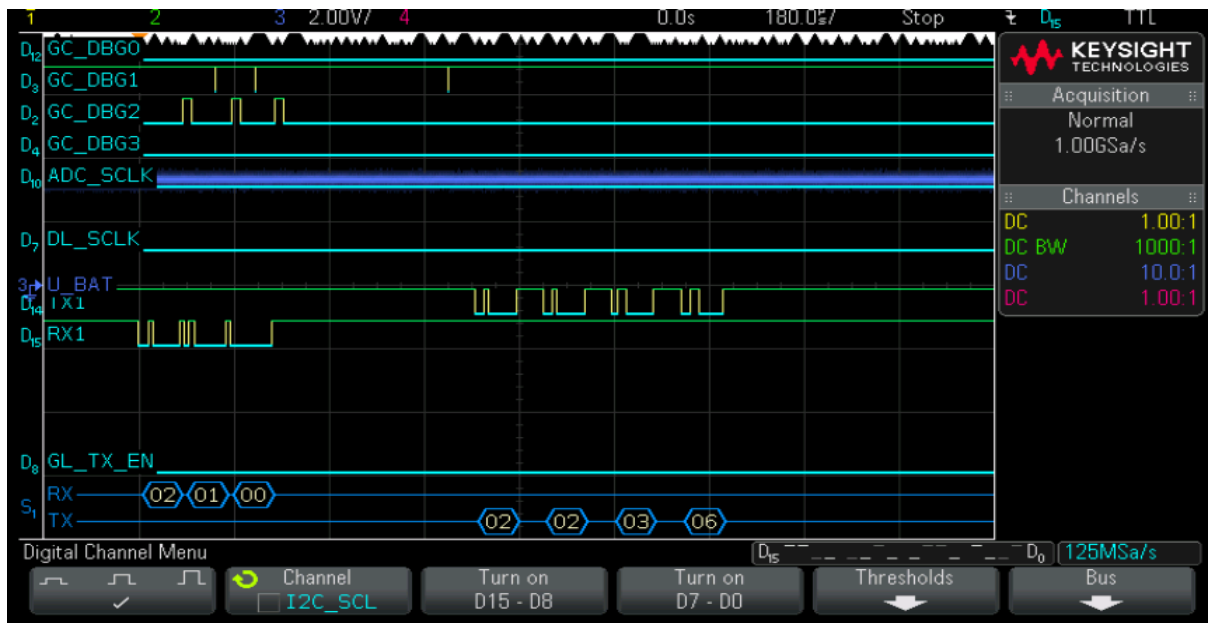


Abb. 4: Screenshot des Oszilloskops. Es zeigt sich, dass das neue Modul deutlich schneller ist (vergleiche dazu S1/Tx (unterster Trace)).

Auf der Sekundärseite wurden im weiteren Entwicklungsverlauf noch neue Ferrithülsen zur Unterdrückung von Störspitzen getestet. Eine Firma hatte ein besser wirksames Material auf den Markt gebracht und die Ergebnisse waren erstaunlich (siehe Abb. 5). Die bisherige RC-Entstörung konnte dadurch weiter optimiert werden, sie erwärmt sich nun weniger, wodurch der Converter nun in Summe einen merklich besseren Wirkungsgrad aufweist.

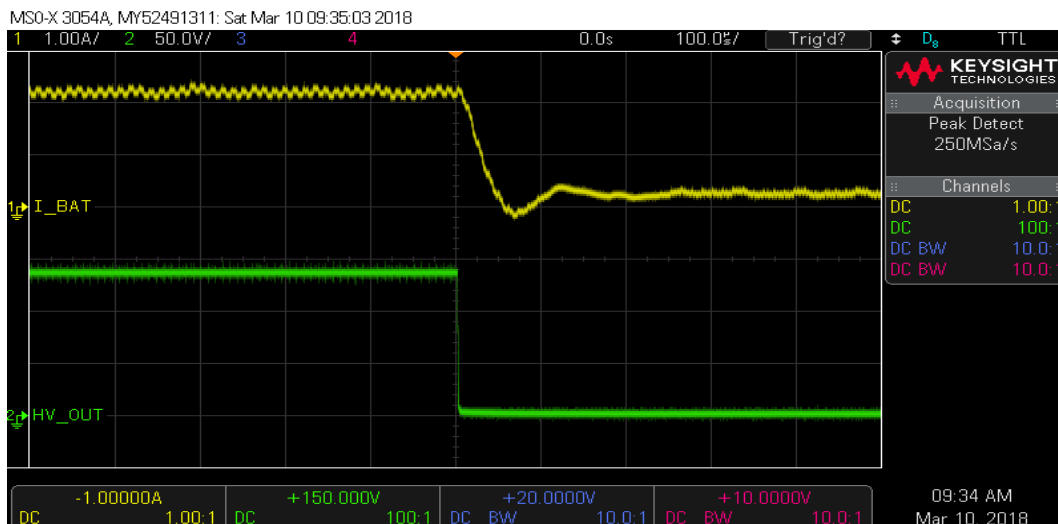


Abb. 5: Oszilloskop Anzeige - Sekundärseite ohne und mit Unterdrückung der Störspitzen.

Letztlich wurde das System mit drei Converter-Platinen, was dem eigentlichen Vollausbau entspricht, bestückt. Es folgten Versuche mit 5 Ohm bis 500 kOhm Lastwiderstand, die allesamt erfolgreich verlaufen sind. Somit war eine erste Steuereinheit von der Hardwareseite für entsprechende IP-Messungen fertiggestellt.

Erste, schon seit Beginn zur oben beschriebenen Entwicklung parallel laufende Feldtests umfassten hauptsächlich den Vergleich mit dem bisherigen geoelektrischen Messsystem GEOMON4D, um die grundsätzliche Funktionalität durch Vergleiche der Messdaten bzw. Auswertergebnisse zu überprüfen. Hierbei wurde anfangs nur Gleichstromgeoelektrik, d.h. der elektr. Widerstand, gemessen. So wurden im Frühjahr 2018 im Garten der GBA, mit dem zu diesem Zeitpunkt noch nicht feldtauglichen GEOMON4D-IP gemeinsam mit dem Entwicklungsingenieur DI Gerhard Kreuzer (Fa. Liftoff) verschiedene Testmessungen durchgeführt. Die Messungen wurden mit 29 Elektroden ausgeführt und erste Messungen des IP Effektes (zu den Impedanz-Messungen) konnten mit verschiedenen Einstellungen getestet werden. Da bei diesem Profil aber praktisch kein IP Effekt zu beobachten war, konnten keine entsprechenden Aussagen hinsichtlich der Qualität der Abklingkurven getroffen werden (siehe Abb. 6). Im ersten Halbjahr 2018 wurde ein Octave (©) Programm erarbeitet, dass zu diesem Zeitpunkt eine Visualisierung der Rohdaten (in ASCII konvertiert) ermöglichte, um die Darstellung auf die unterschiedlichen IP Signale ändern zu können (unterschiedliche Zoom-Faktoren – je nach IP Signal). In dieser Phase war die Software der koreanischen Kollegen vom KIGAM noch nicht im Stande die IP-Daten zu lesen, darzustellen und zu verarbeiten – dieser Schritt erfolgte erst im Jänner 2019.

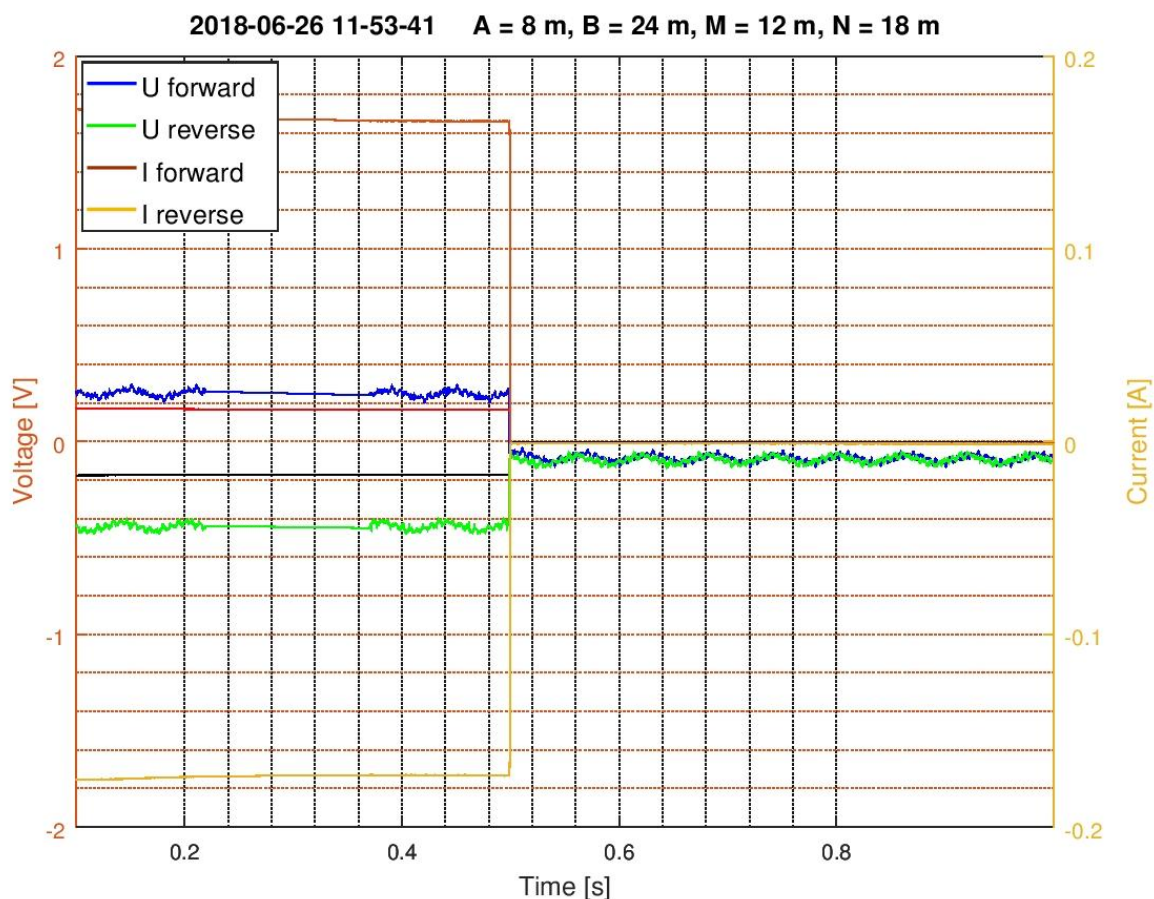


Abb. 6: Beispielhafte Darstellung eines Messpunktes mit einer Stromeinspeisung von 0.5 Sekunden und gleich langer Aufzeichnung der Spannung nach der Stromabschaltung (dargestellt ist die Forward- und Reverse-Messung)

Diese ersten erzielten Ergebnisse waren sehr positiv zu bewerten, da sich die wesentlich bessere Auflösung des neuen Messsystems ($\pm 80V$ im Vergleich zu $\pm 10V$ des älteren GEOMON4D Systems)

direkt an deutlich geringeren Fehlerwerten bei der Dateninversion bemerkbar machte. Somit war die grundsätzliche Funktionalität des neuen Systems unter Feldbedingungen (DC/Gleichstrom-Betrieb) bestätigt. Ein beispielhaftes Ergebnis für eine Impedanz Messung in Garten der GBA ist in Abb. 7 dargestellt.

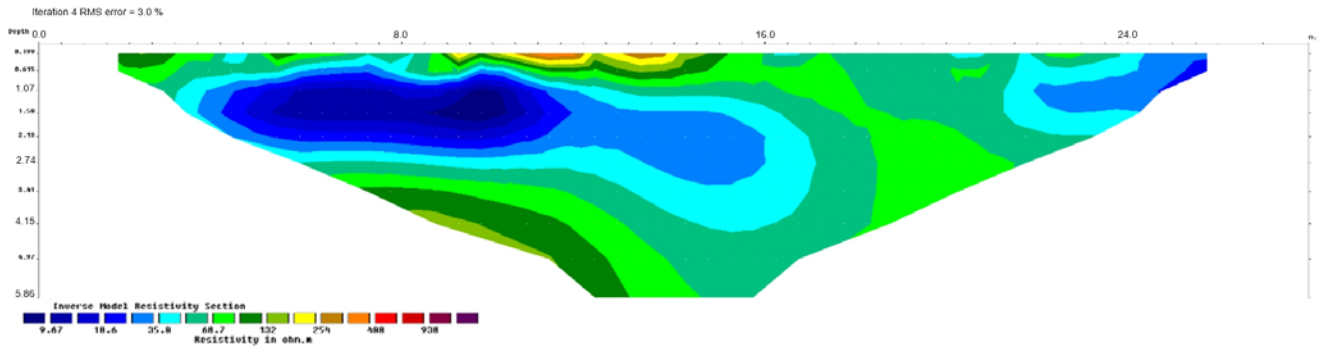


Abb. 7: Inversionsergebnis einer Impedanz Messung im Garten der GBA

Weitere Tests im IP-Betrieb folgten unmittelbar – hier zeigte sich, dass, wie oben beschrieben, noch einige Hardwarekomponenten anzupassen waren, um die Polarisierungseffekte des Untergrundes in entsprechender Form anzuregen und dann auch aufzeichnen zu können. Ein erster Vergleich einer IP Testmessung am Tulbinger Kogl (Sitz der Fa. Liffoff) mit einem kommerziellen Messsystem (AGI Super Sting©) zeigte die Notwendigkeit auf, dass weitere Tests in einem Messgebiet mit stärkeren Polarisierungseffekten erforderlich waren.

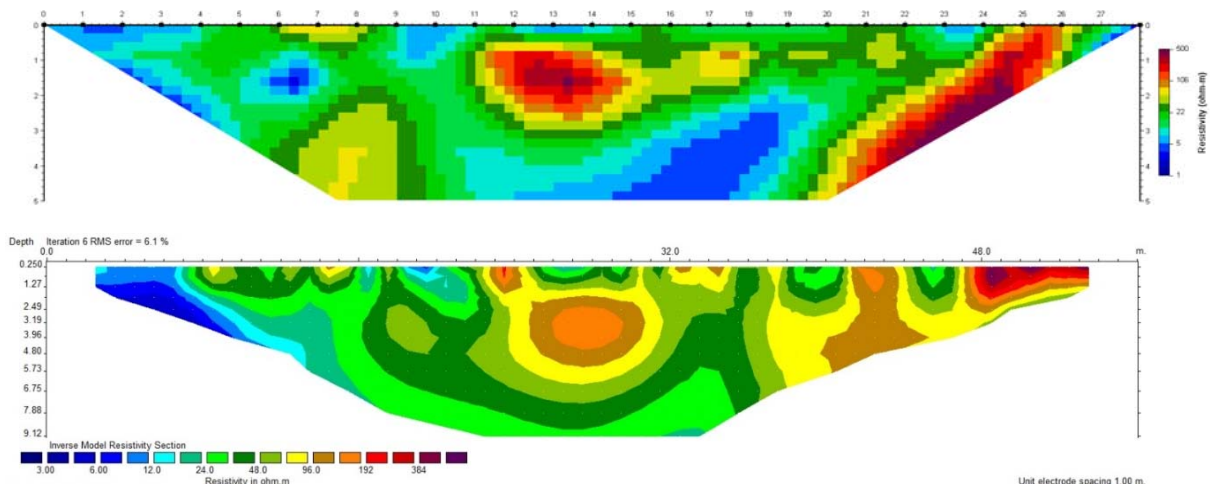
Nach weiteren ausgiebigen Tests und am Oszilloskop dokumentierten Stromabschaltungen (ohne Rückfluss eines Reststroms) am Tulbinger Kogl, wurde eine Testmessung in Amstall (NÖ) durchgeführt. Das Testprofil wurde in einem zuletzt aktiven Abbaubereich eines, mittlerweile aufgelassenen Grafitbergbaus Amstall (Waldviertel, NÖ) installiert. Hier war anzunehmen, dass zumindest Teilbereiche des Messprofils direkt den noch vorhandenen Restgrafitkörper überstreichen (Situationsfotos siehe Abb. 8) und somit eine entsprechende IP Antwort zu erwarten war.



Abb. 8 Situationsfotos der Testmessung Amstall, Foto der Abbaugrube mit eingezeichneten Profilverlauf (oben), Prototyp GEOMON4D-IP inklusive Oszilloskop und Notebook (unten)

Die Ergebnisse der Testmessungen in Amstall (NÖ) zeigten, dass die Messungen mit dem neuen GEOMON4D-IP Prototyp durchaus vergleichbar mit den Ergebnissen des kommerziellen AGI Super Sting© sind. Abb. 9 zeigt diesen Vergleich der Inversionsergebnisse, nämlich des spezifischen elektrischen Widerstandes (Darstellungen 1 u. 2 von oben) und des IP Effektes (Darstellungen 1 u. 2 von unten). Die Auswertung erfolgte mit unterschiedlichen Inversionsprogrammen.

Elektr. Widerstand



Elektr. Aufladbarkeit

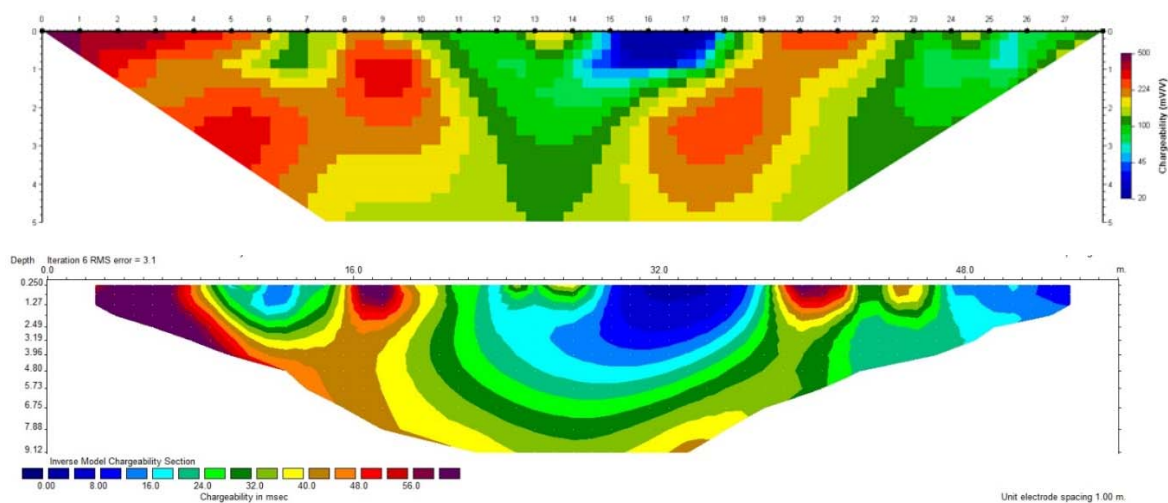


Abb. 9: Vergleich des Inversionsergebnisses des GEOMON4D-IP mit dem kommerziellen AGI Super Sting®, spezifischer elektrischer Widerstand (Darstellungen 1 u. 2 von oben) und die elektrische Aufladbarkeit (Darstellungen 1 u. 2 von unten), zu beachten: unterschiedliche Messeinstellungen und unterschiedliche Inversionssoftware, die Farbverteilung ist nicht identisch

In Summe haben die erfolgten Testmessungen (hier anhand von den oben beschriebenen 2 Beispielen exemplarisch dargestellt) zur Entwicklung des IP-Messgerätes insofern maßgeblich beigetragen, als dass auf deren Basis ganz klar messtechnische Mängel und/oder Schwächen des jeweiligen Gerätestatus identifiziert und somit entsprechend an deren Behebung gearbeitet werden konnte. Schlussendlich konnten bei der letzten Testmessung in Amstall erstmals zuverlässige TDIP-Daten generiert werden. Somit war die grundsätzliche Funktionalität des neuen Systems unter Feldbedingungen (DC – Betrieb) bestätigt.

Schließlich konnte im November 2018 der Prototyp mit der endgültigen Computerplatine ausgestattet werden. Zusätzlich wurde ein zweites Prototyp-System gebaut, zwar noch mit einer Evaluationsplatine, Feldmessungen waren aber damit grundsätzlich möglich.

Ende März 2019 war eine der Evaluationsplatine entsprechende Hauptplatine (siehe Abb. 10) des neuen Messgerätes mit den Neuerungen soweit fertig.

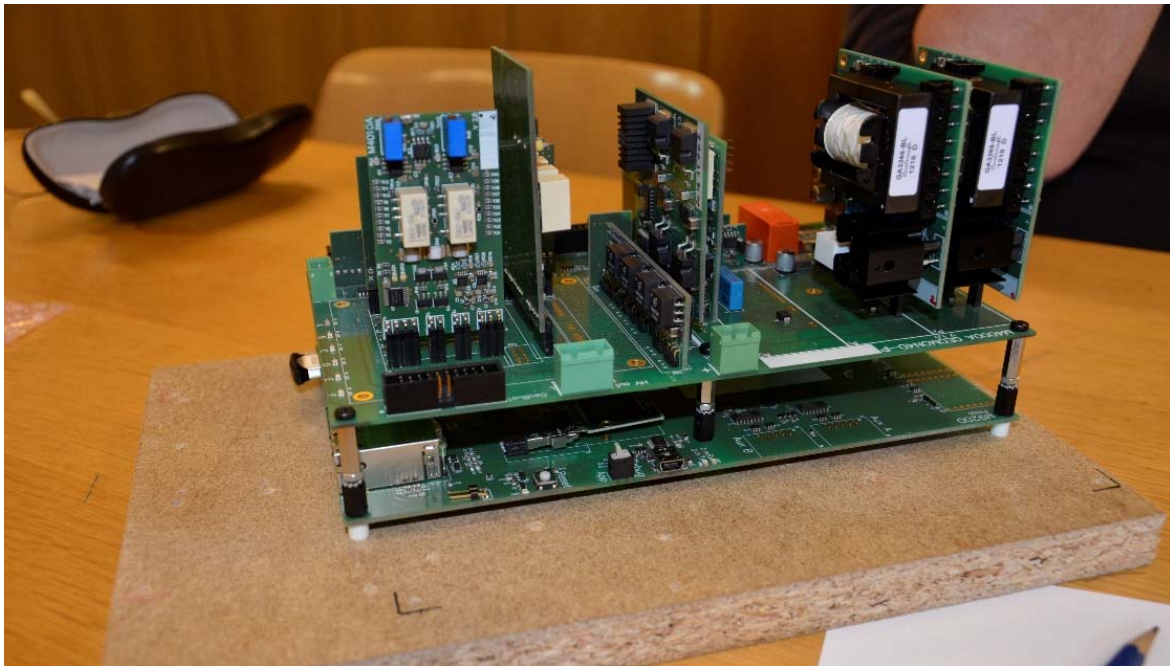


Abb. 10: Fertiggestellte Hauptplatine mit dem neuen Computermodul

Nach weiteren umfangreichen Testmessungen bis Oktober 2019 (siehe Kapitel 5) wurde entschieden, zur IMBK-Herbstsitzung um eine Verlängerung des Projektes bis Ende 2020 anzusuchen. Der Hauptgrund für das Ansuchen der Verlängerung war, dass über den Sommer bis Herbst 2019 die ersten relevante TDIP Daten gemessen, evaluiert und weiterverarbeitet werden konnten. Um weitere Erfahrungen hinsichtlich möglicher auftretender Hard- und Softwareprobleme zu sammeln und v.a. mehr TDIP Daten als Grundlage für die Weiterentwicklung der IP Auswertesoftware zu generieren, wurde (inkl. der Definition eines weiteren Projektzieles/*Entwicklung einer Testbox*) um die Verlängerung bis Ende 2020 angesucht, die im Herbst 2019 vom für die Vergabe von VLG-Mittel zuständigem IMB Komitee genehmigt wurde.

Im Frühjahr 2020 wurde ergänzend eine Zusatzplatine für die Aufzeichnung der notwendigen elektrischen Spannung bei der konstanten Stromeinspeisung (hauptsächlich für eine verbesserte Feldtauglichkeit des Messsystems) entwickelt. Durch diese zusätzlichen Messdaten soll ein Maximum an Information für den Benutzer zur Verfügung stehen, um so die bestmöglichen Messeinstellungen für die vorliegenden Untergrundverhältnisse vornehmen zu können. Es geht hierbei vor allem um eine ausgewogene Einstellung zwischen maximalen Einspeisestrom und der dafür notwendigen elektrischen Spannung. Zuvor wurde nur der Einspeisestrom aufgezeichnet, wodurch natürlich nicht ersichtlich war, welche elektrische Spannung (im Falle des Erreichens des maximalen Einspeisestroms) angelegt wurde. Diese Informationslücke erschwerte die optimale Anpassung der Messparameter und konnte mit dem Einsatz der Zusatzplatine beseitigt werden. Zudem erleichtern die zusätzlichen elektrischen Spannungsdaten die Fehleranalyse bei Fehlfunktionen des Messsystems. So kann es vorkommen, dass trotz unterschiedlicher

Übergangswiderstände bei den Stromelektroden, das Messsystem einen konstanten (maximalen) Einspeisestrom anzeigt. In diesem konkreten Fall lässt sich eine Fehlfunktion des Messsystems nur anhand der aufgezeichneten elektrischen Spannung bei der Stromeinspeisung ausschließen – indem die elektrische Spannung unterschiedliche Werte aufweist. Sollte dies nicht der Fall sein, muss eine Fehlfunktion vorliegen. Dieses Beispiel soll zeigen in welcher Weise diese zusätzliche Information bei der Bewertung der Funktionalität des Messsystems im Feldeinsatz helfen kann.

PROJEKTZIEL: *Umsetzung des als Prototyp entwickelten neuen geoelektrischen Messgeräts in ein feldtaugliches Equipment.*

PROJEKTZIEL: *Design der spezifischen Außenanschlüsse und Einbau des Messgerätes in ein praxistaugliches Casing. Konzept für entsprechende Stromversorgung.*

Der Prototyp des Messgeräts GEOMON4D-IP sollte in ein für den Feldeinsatz taugliches Gehäuse eingebaut werden. Wichtig war, dass das Gehäuse eine ausreichende Stabilität mit einem möglichst geringen Gewicht aufweist, damit ein Einsatz auch im unwegsamen Gelände möglich ist. Im Vergleich zum Vorgängermodell des Messgeräts (GEOMON4D), das aus zwei relativ schweren Einzelteilen besteht, konnte die ganze Hardware nun in einem Gehäuse untergebracht werden.

Anhand der genauen Maße der nun fertig gestellten Hauptplatine (d.h. des gesamten Messmoduls inkl. Messplatinen), konnte der Einbau in ein feldtaugliches Gehäuse vorbereitet werden. Es wurde die optimale Position für den Einbau der Platine direkt am vorbereiteten Gehäuse definiert (siehe Abb. 11). Zudem musste der Verlauf der kompletten Verkabelung, das Design der spezifischen Außenanschlüsse und ein Konzept für eine entsprechende Stromversorgung festgelegt werden (Abb. 12). Der Einbau und die finale Verkabelung der einzelnen Komponenten in das feldtaugliche Gehäuse erfolgten im April 2019 (Abb. 13).

Die Stromversorgung des neuen Messsystems GEOMON4D-IP sollte im Standardfall mittels Stromgenerator erfolgen (also 230 V, 50Hz Wechselspannung). Da das Messsystem für den aktiven Betrieb eine Gleichspannung von 24-28 V benötigt, musste im feldtauglichen Gehäuse ein entsprechender Stromkonverter eingebaut werden. Hierbei war es vor allem wichtig ein entsprechend dimensioniertes und auch energieeffizientes Gerät auszuwählen. Aufgrund des geringen verbleibenden Platzangebots im unteren Teil des Gehäuses wurde der Stromkonverter im Deckelbereich untergebracht (siehe Abb. 13).

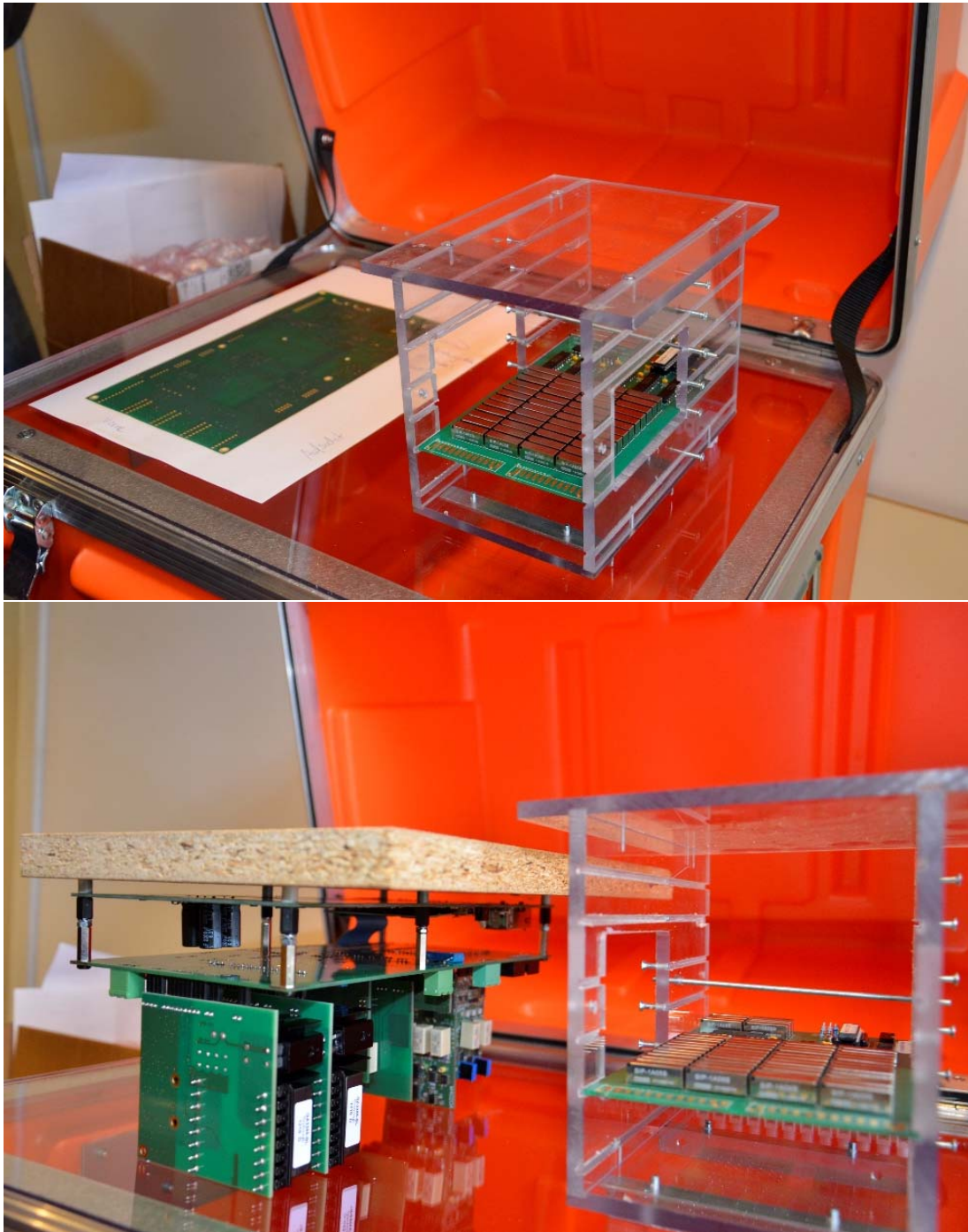


Abb. 11: Optimale Positionierung der beiden Hauptteile des neuen Messsystems in das neue Messgehäuse

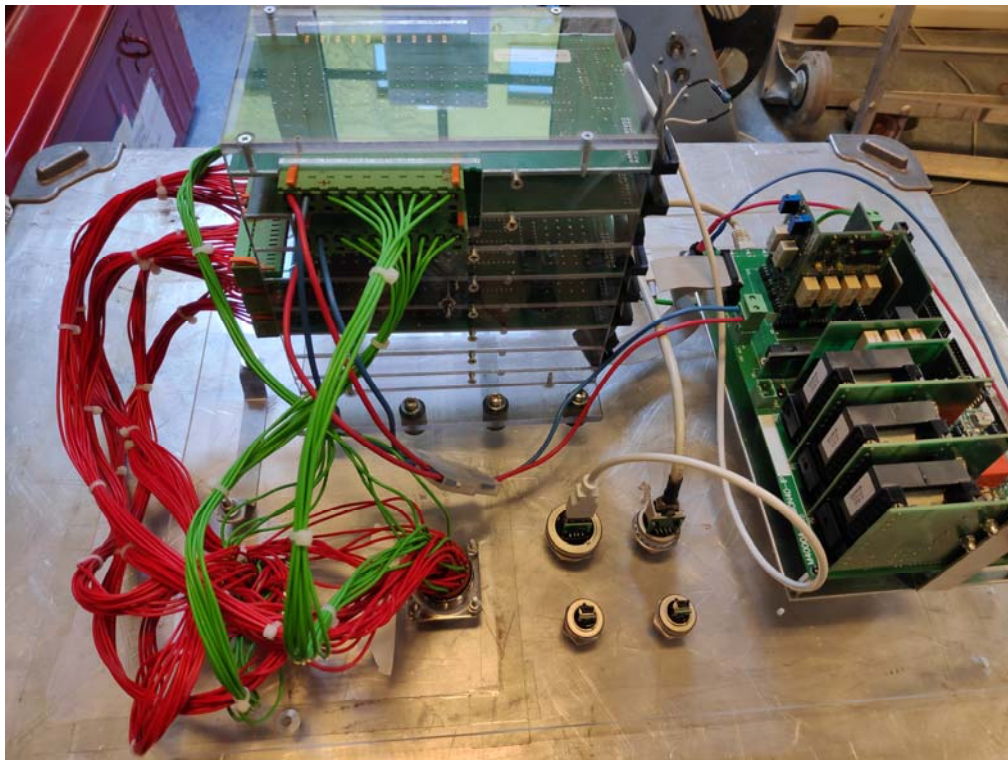


Abb. 12: Plexiglasplatte mit den Hauptkomponenten des neuen Messsystems inklusive vollständiger Verkabelung



Abb. 13: Fertiges Messgehäuse des GEOMON4D-IP

Zusätzliches PROJEKTZIEL: Entwicklung einer Testbox

Als Ergänzung zum GEOMON4D-IP Messgerät wurde eine eigene Testbox für spezielle Tests, aus folgenden Überlegungen entwickelt:

In Gebieten mit entsprechender Infrastruktur (Bahnlinien, Hochspannungsleitungen, etc.) kommt es im Zuge von geoelektrischen Messungen immer wieder zu Problemen mit der Datenqualität. Zwar können am GEOMON4D und GEOMON4D-IP die einzelnen Samples analysiert und so zumeist die Ursache für die Signalstörungen gefunden werden, allerdings wäre es wünschenswert, parallel zur Messung mit einem unabhängigen Messgerät (z.B. Voltmeter oder Oszilloskop) die von den Elektroden kommende elektrische Spannungen direkt messen zu können. Abgesehen von einer genaueren Untersuchung von Signalstörungen, kann damit auch eine etwaige Fehlfunktion des Messgerätes leichter ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurde eine Testbox (Abb. 14) konzipiert und entsprechend gebaut. Diese kann, ohne die eigentliche Messung zu beeinflussen, zwischen Messgerät und Elektroden geschaltet werden. Neben der Möglichkeit diese Testbox zwischenschalten und eine laufende Messung mit einem alternativen Messgerät (Voltmeter, Oszilloskop) zu beobachten bzw. aufzuzeichnen, wurde auch eine einfache Messgerätestoption integriert. Diese besteht aus einer 1.5 V Spannungsquelle, die an beliebige Spannungseingänge des Messgerätes angeschlossen werden kann und somit eine einwandfreie Funktionalität der Spannungsmessung überprüft werden kann. Zudem wurde für den Test der Stromeinspeisung ein elektrischer Widerstand eingebaut, der bei den gegebenen Ausgangsspannungen einen für Feldmessungen üblichen Stromfluss gewährleistet. Somit können auch alle Ausgänge der Stromeinspeisung und natürlich die Stromeinspeisung selbst einfach und schnell kontrolliert werden. Vor allem für das neue GEOMON4D-IP war diese Testbox sehr wichtig, da vor allem in der ersten Phase des normalen Feldeinsatzes einige Unklarheiten und Probleme auftraten. Diese konnten schnell und effizient entweder vor Ort im Feld (Zwischenschaltung bei der Messung) oder mit der Messgerätestoption im Labor gelöst werden. Dadurch wurde die Fehlersuche und Fehlerbehebung deutlich erleichtert. Zusätzlich kann diese Testbox auch bei sehr starken Störsignalen, deren Ursprung nicht bekannt ist, eingesetzt werden.

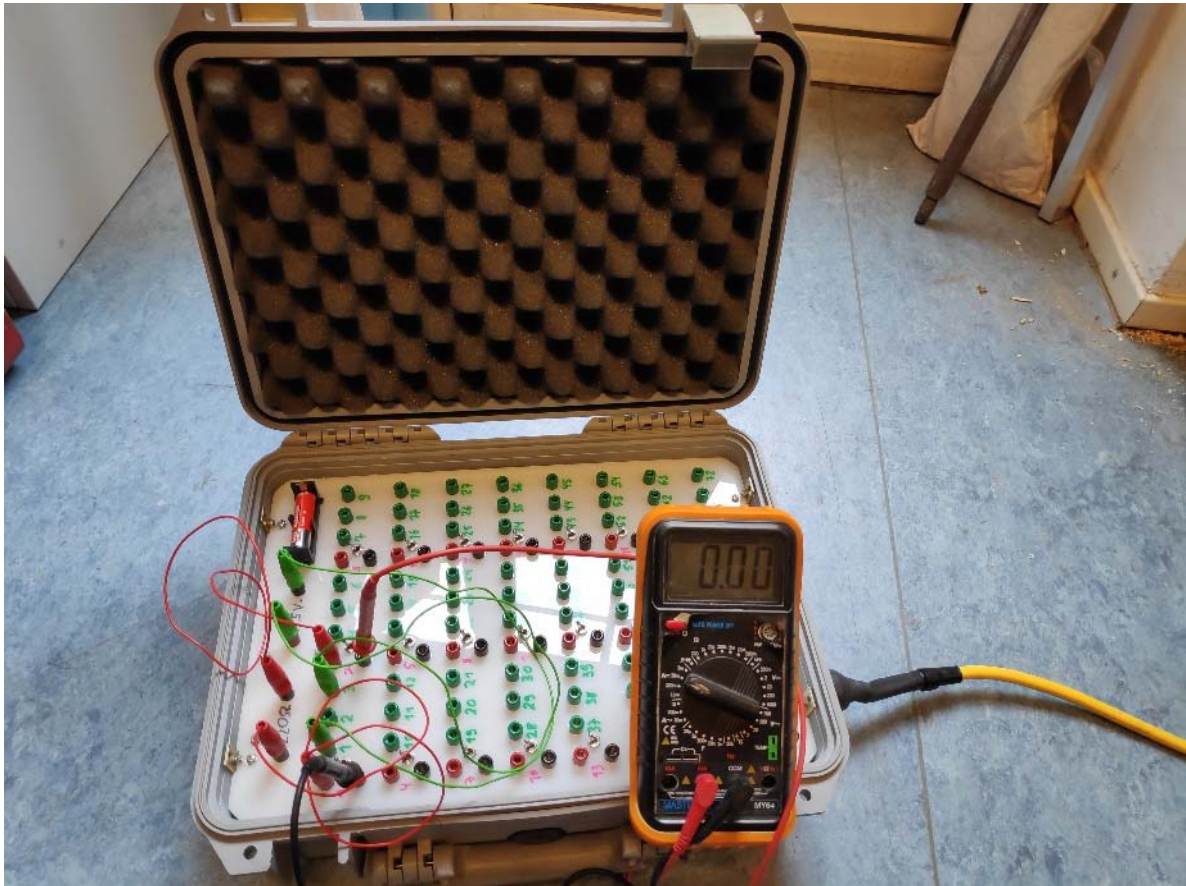


Abb. 14: Testbox für die Reparatur und Wartung geoelektrischer Messgeräte

PROJEKTZIEL: *Entwicklung einer benutzerfreundlichen Steuerungssoftware für den Feldeinsatz. Durch die Eigenentwicklung der Bedienungssoftware ist es möglich, spezifische Anforderungen für die Messprozedur zu entwickeln, die über die Möglichkeiten von kommerziellen Systemen hinausgehen.*

Parallel zur oben beschriebenen Hardwareentwicklung wurde die temporäre Bediensoftware soweit entwickelt, dass anfänglich jederzeit Testmessungen (nur Widerstand oder auch IP) durchgeführt werden konnten. Testmessungen unter normalen Feldbedingungen sollten sowohl etwaige Schwachstellen in der Hardware des Messgerätes aufzeigen, als auch zur finalen Entwicklung der Benutzeroberfläche beitragen, indem wichtige Erfahrungen gesammelt werden, welche Informationen bzw. Optionen bei der Bedienung des Gerätes verfügbar sein sollen.

Die Bedienungssoftware wurde dahingehend weiterentwickelt, dass, zusätzlich zur Bedienung über Kommandozeilen-Eingabe eine erste Version der graphischen Benutzeroberfläche fertiggestellt wurde. Man kann nun direkt über die grafische Benutzeroberfläche diverse Einstellungen (teilweise über Pull-down-Menüs) für die gewünschte Messung tätigen (Abb. 15).

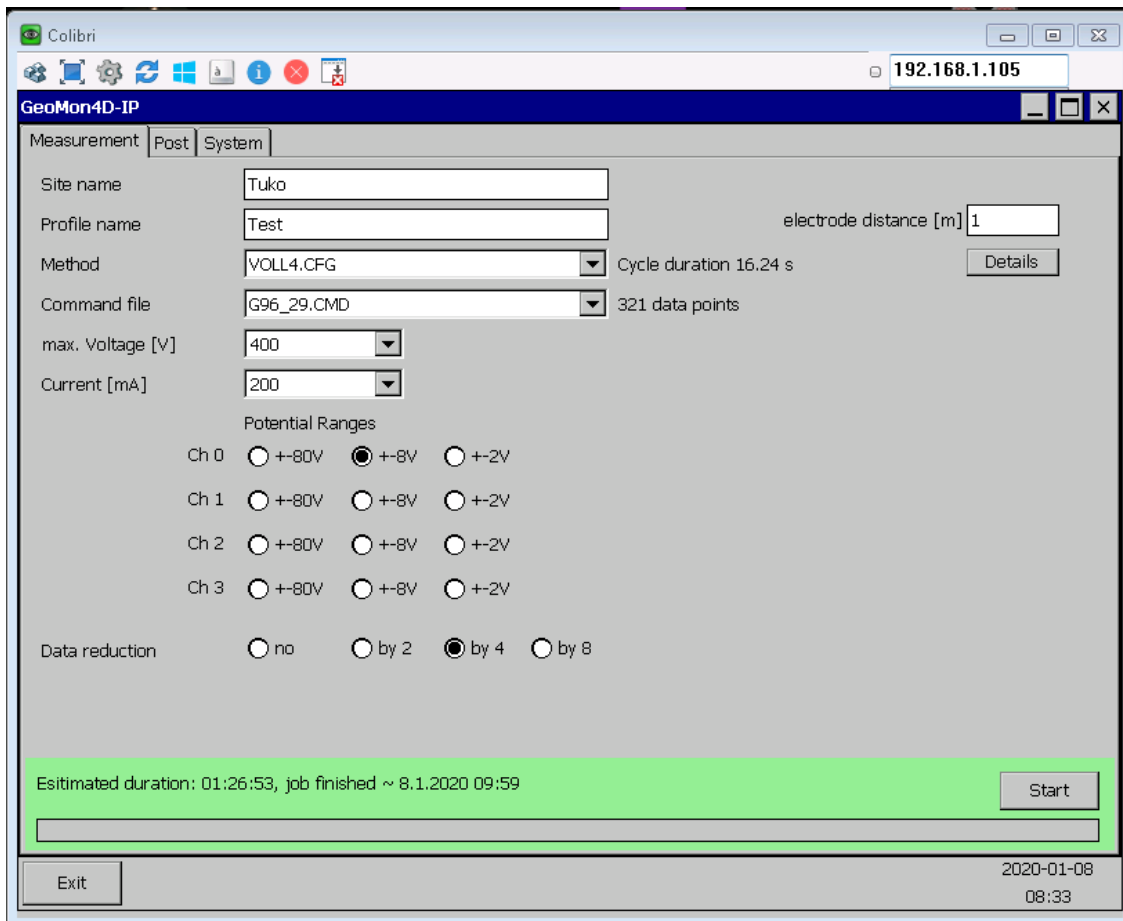


Abb. 15: Screenshot Bedienungs Oberfläche 1

IP-Messungen laufen oft über mehrere Stunden, daher wird aus der Dauer eines Messzyklus und der geplanten Zyklusanzahl die Dauer der Messung berechnet und diese vor dem Start angezeigt.

Der Ablauf eines Zyklus (Einspeisen, Messen usw.) kann vollkommen frei gestaltet werden und wird in einer Konfigurationsdatei (xxx.cfg) als Textdatei mit einfachen Kommandos definiert. Damit man bei der Erstellung vieler verschiedener Messzyklen nicht den Überblick verliert, können die Befehle visualisiert dargestellt werden (Abb. 16). Unter der Grafik wird später zusätzlich noch eine tabellarische Darstellung folgen. Die cfg-Datei steuert den Ablauf für jeden einzelnen Messpunkt. Die Gesamtheit der Messpunkte, die einen ganzen Messdatensatz ausmachen, werden in einer cmd-Datei (cmd=command) definiert, die alle zu messenden Elektrodenquadrupole beinhaltet. Hier können mittels Texteditor beliebige Messpunktfolgen erstellt werden. Um die bereits mit dem alten GEOMON4D angewendeten und dadurch erprobten Messpunktfolgen weiter zu verwenden wurde ein kurzer Workflow entwickelt der eine schnelle (auch feldtaugliche) Formatumwandlung der alten cmd-Dateien erlaubt.

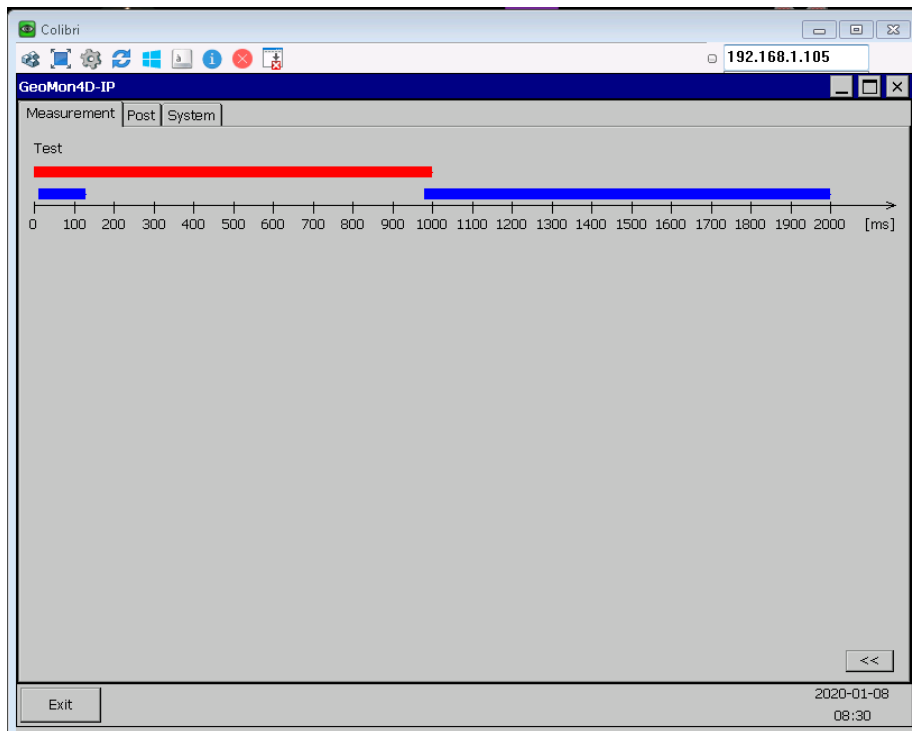


Abb. 16: Screenshot Bedienungsfläche 2

Am Anfang mussten die Rohdaten nach der Messung direkt am Messgerät mittels Postprozessing (Abb. 17), gesteuert über die Bedienungsfläche, umgewandelt werden.

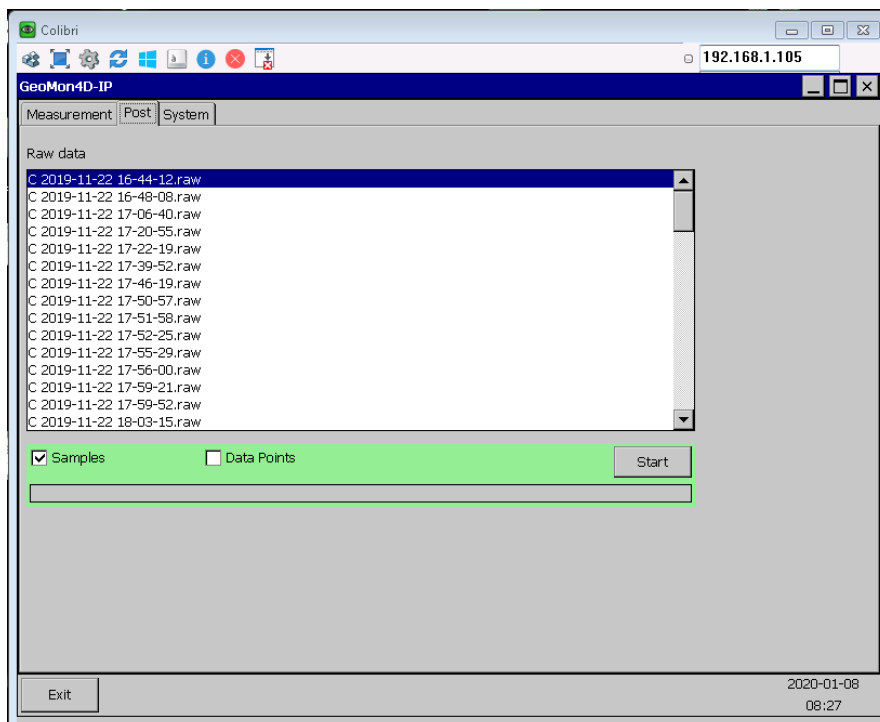


Abb. 17: Screenshot Bedienungsfläche 3

Zur allgemeinen Information und zur Kontrolle werden diverse Gerätedaten tabellarisch angezeigt, es stehen auch Testfunktionen zur Verfügung (Abb. 18).

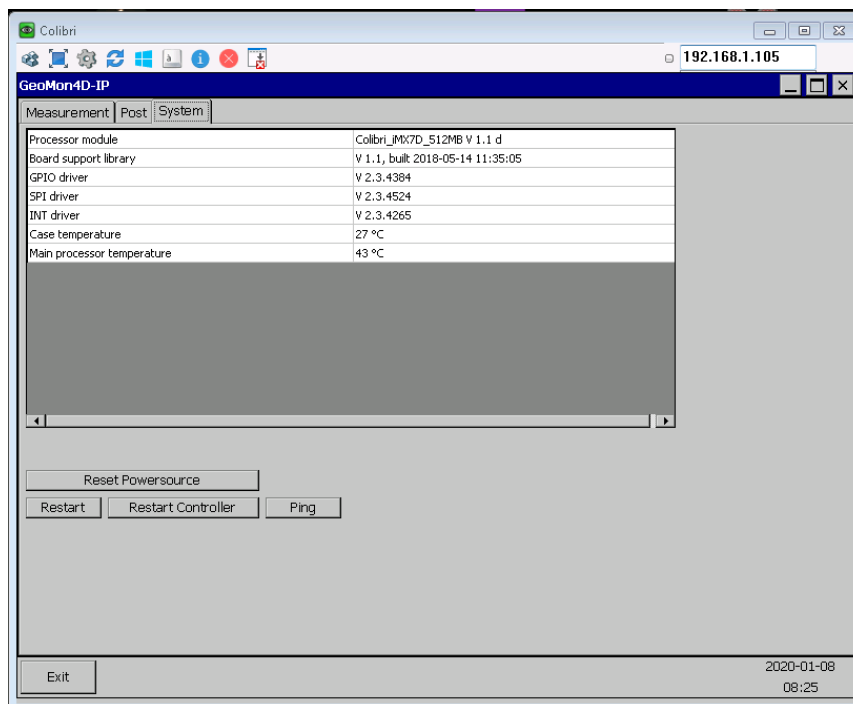


Abb. 18: Screenshot Bedienungsfläche 4

Neben diversen Adaptierungen der Bedienungsfläche hat sich bei diversen Testmessungen gezeigt, dass trotz der Umstellung auf einen leistungsfähigeren Prozessor, die Umwandlung der Rohdaten in diverse ASCII-Dateien (Samples, Res2DInv, Statistik, etc.) direkt am Messsystem, viel zu zeitaufwendig ist – zumal während der Umwandlung keine Messung möglich ist. Der zeitliche Aufwand der Datenumwandlung bewegt sich etwa bei einem Drittel der eigentlichen Messzeit, was bei langen IP-Messungen, die durchaus 3 Stunden dauern können, etwa einer Stunde entspricht. Aus diesem Grund war es unumgänglich eine entsprechende Lösung zu finden. Hierfür wurde das ursprüngliche Umwandlungsprogramm adaptiert, sodass es auch am Feldnotebook eingesetzt werden kann und eine Zeitersparnis von fast 90% mit sich bringt. Zudem wurden einige weitere Funktionen hinzugefügt, sodass zum Beispiel gleich nach der Umwandlung die Samples jedes einzelnen Messpunktes grafisch betrachtet und bewertet werden können (siehe Abb. 19 und 20). Nun stellt sich der Ablauf nach einer fertigen Messung so dar, dass das Rohdatenfile (Binärformat) mittels LAN-Kabel (WLAN Modul wurde beim Prototyp schon getestet und wird mittelfristig auch beim Feldmessgerät verfügbar sein) und FTP-Zugang vom Messgerät kopiert und dann mit der Konvertierungssoftware weiterverarbeitet wird. Währenddessen kann somit am Messgerät bereits eine neue Messung gestartet werden. Sobald die Datenkonvertierung beendet ist, stehen verschiedene ASCII Dateien (Samples, Datendatei (Res2DInv), Check-Datei (zeigt offensichtlich fehlerhafte Messpunkte (Elektroden) an)) bereit und können der weiteren Datenauswertung zugeführt werden. Ein Beispiel für einen entsprechend erstellten Dateiordner ist in Abb. 21 dargestellt. Im entsprechenden Subordner „samples“ sind die vollständigen Sample-Dateien zusammengefasst. Die Konvertierungssoftware wurde so konzipiert, dass sich die Namensgebung der erstellten Dateien und Ordner an den ursprünglich getätigten Eingaben in der Bedienungsfläche („Site name“, „Profile name“) richtet und zusätzlich das Datum und die Uhrzeit der Messung integriert wird. Somit kann jede Datei klar der entsprechenden Messung

zugeordnet werden, sodass es zu keinerlei Verwechslungen kommen kann. Vor allem bei mehreren Messungen an einem Standort am selben Tag zeigt sich der Vorteil dieser automatischen und eindeutigen Namensgebung, da nicht zwingend ein Protokoll zu den erfolgten Messungen geführt werden muss.

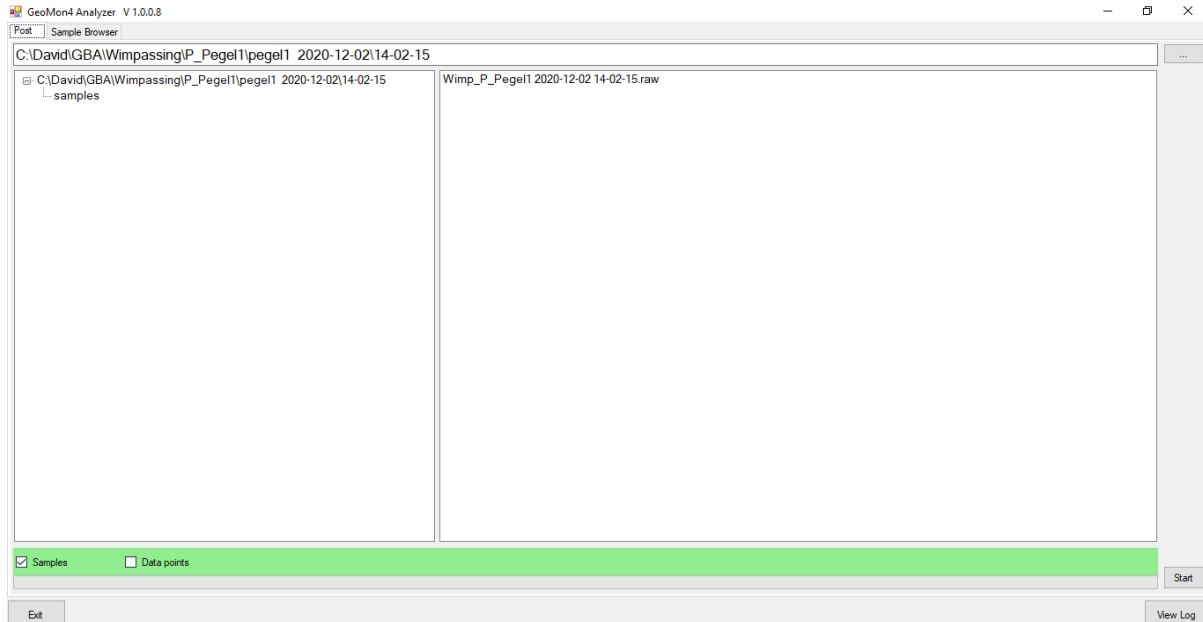


Abb. 19: Screenshot der Konvertierungssoftware – Darstellung des Postprocessing Bereichs

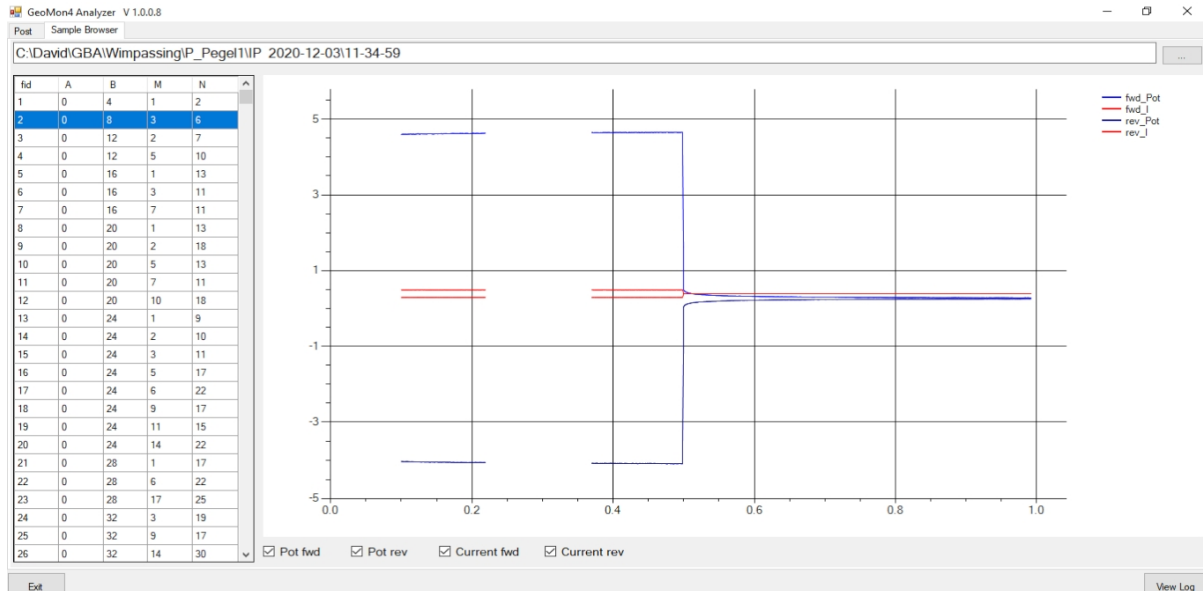


Abb. 20: Screenshot der Konvertierungssoftware – Darstellung des Bereichs für die Sample Betrachtung/Analyse

Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
samples	24.02.2021 14:04	Dateiordner	
IP 2020-12-03 11-34-59_chk_1	03.12.2020 12:20	Grapher Worksheet	1 KB
IP 2020-12-03 11-34-59_ip_1	03.12.2020 12:20	Grapher Worksheet	95 KB
IP 2020-12-03 11-34-59_r2inv_1	03.12.2020 12:20	Grapher Worksheet	56 KB
IP 2020-12-03 11-34-59_stat_1	03.12.2020 12:20	Grapher Worksheet	290 KB
Wimp_P_Pegel1_IP 2020-12-03 11-34-59	03.12.2020 12:12	RAW-Datei	155,662 KB

Abb. 21: Screenshot des von der Konvertierungssoftware erstellten Ordners im Windows Explorer; Auflistung der verschiedenen .dat-Dateien, des Rohdatensatzes (.raw-Datei) und des Subordners mit den gesammelten Sample Dateien.

5. ÜLG76 Messkampagnen

In diesem Kapitel wird eine Dokumentation der wesentlichsten Messkampagnen zeitlich geordnet präsentiert. Entsprechend den unten angeführten Projektzielen konnte durch Vergleiche der GEOMON4D-IP Messdaten bzw. Auswertergebnissen mit Daten und Ergebnissen des geoelektrischen Messsystems GEOMON4D bzw. anderer Messgeräte die grundsätzliche Funktionalität bzw. die Datenqualität zum jeweiligen Entwicklungsstand evaluiert und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse für die weitere Geräteentwicklung genutzt werden.

PROJEKTZIEL: Ausführliche Tests mit GEOMON4D-IP Prototyp hinsichtlich der Qualitätsanforderung bezüglich Messung elektr. Widerstand und IP Parameter (Messgenauigkeit, Auflösungsgenauigkeit, Reproduzierbarkeit, Definition von Messzyklen, etc.).

PROJEKTZIEL: Vergleichsmessungen mit bestehendem Messsystem GEOMON4D (Vergleich elektr. Widerstand) bzw. Vergleich mit anderem IP Messgerät (STING) für IP Parameter an verschiedenen Standorten.

Tulbinger Kogel/Garten GBA / Dezember 2017 - Dezember 2018

Wie zuvor in Kapitel 4 beschrieben, fanden bereits ab Fertigstellung des ersten Prototyps laufend Testmessungen mit diesem und im Weiteren mit den zusätzlich, parallel entwickelten Prototypen statt. Diese Testmessungen wurden am Tulbinger Kogel bei der Fa. Liftoff und im Garten der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt. Diese Analysen wurden in erster Linie als Einzelmessungen zur grundsätzlichen Überprüfung der korrekten Stromspeisung und Spannungsmessung mit parallelen Messungen am Oszilloskop (vgl. Abb. 4 und Abb. 5) durchgeführt. Ein exemplarisches Beispiel einer Testmessung im Garten der GBA, wo bereits eine ganze Sektion gemessen werden konnte, ist in Abb. 7 dargestellt.

Garten GBA / April 2019

Im April 2019 wurde eine erste Testmessung im Garten der GBA (feldtaugliche Messkiste) – gemeinsam mit DI Gerhard Kreuzer (genaue Erklärung der Bedienung mittels Command Fenster) durchgeführt (Situationsfoto siehe Abb. 22).

Gleichzeitig wurden auch Vergleichsmessungen mit dem GEOMON4D gemacht, um die Ergebnisse des neuen Gerätes zu verifizieren.

Zusätzlich wurde zum Vergleich der Widerstandsmessung auch im Bereich der IP versucht einen Vergleich mit einer IP Messung des Messgerätes AGI Sting© herzustellen. Aufgrund unterschiedlicher Einstellungen und Verwendung unterschiedlicher Auswertesoftware kann der Vergleich nur qualitativ erfolgen (siehe Abb. 23 (elektr. Widerstand) und Abb. 24 (Aufladbarkeit)). Die grobe Anomalienverteilung der Aufladbarkeit stimmt recht gut überein – dies war ein erster Hinweis, dass die Aufzeichnung des IP-Effektes grundsätzlich funktioniert und sinnvoll ist.



Abb. 22: Situationsfoto im Garten der GBA beim Testen des neuen Messsystems

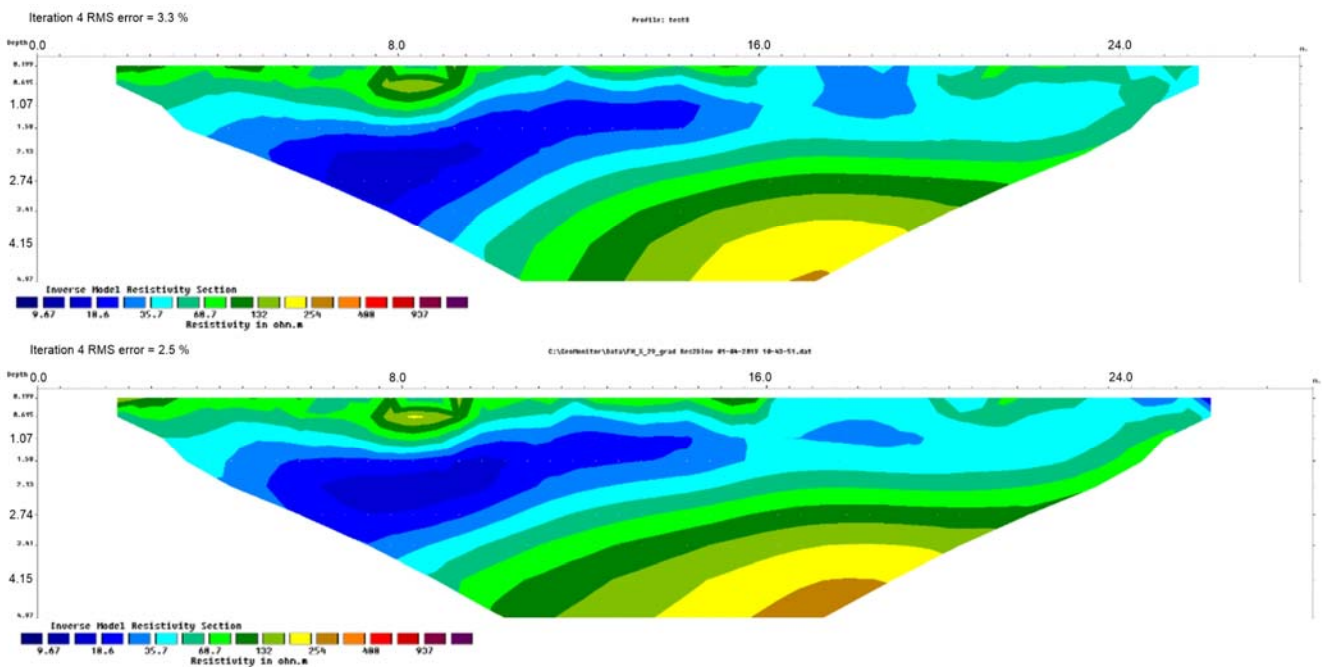


Abb. 23: Ergebnis der Widerstandsmessung mit GEOMON4D-IP (oben) und GEOMON4D (unten)

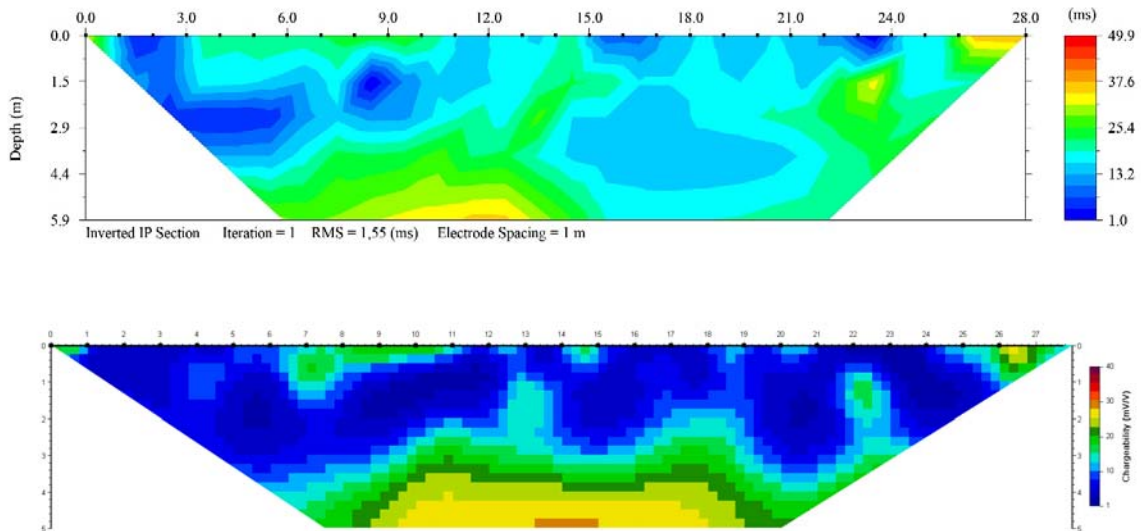


Abb. 24: Inversionsergebnis der IP-Messung mit dem AGI Sting (oben) und dem GEOMON4D-IP (unten)

Wolfsegg am Hausruck (OÖ) / April 2019

Da im Rahmen des FWF Projektes „Hydroslide“ Interesse an IP Messdaten im Bereich eines (geoelektrischen) Monitoring Standortes in Wolfsegg am Hausruck vorlag, wurden im Zeitraum 10.04.-11.04.2019 Testmessungen mit dem Messgerät GEOMON4D-IP an besagter Monitoring Station angesetzt (Abb. 25). Leider war der Einsatz mit dem GEOMON4D-IP aufgrund von neuartigen, technischen Problemen nicht erfolgreich und es konnten keine brauchbaren Daten akquiriert werden.

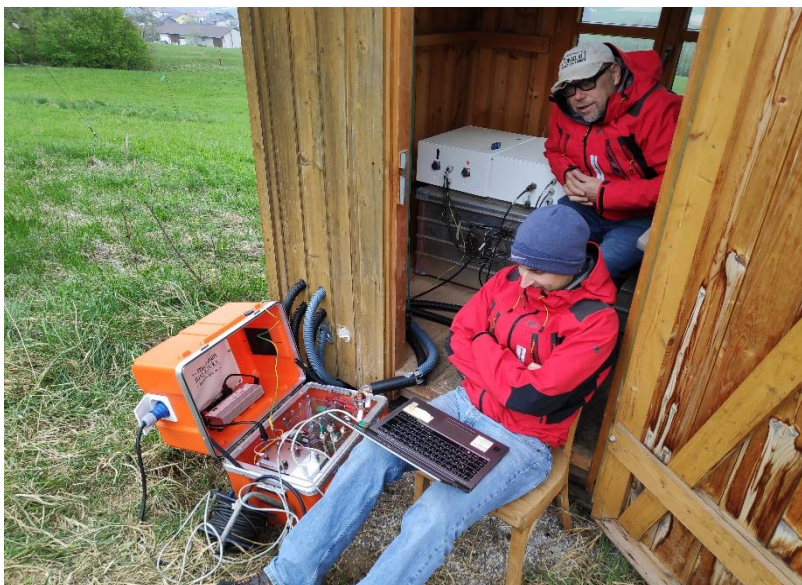


Abb. 25: GEOMON4D-IP beim Testeinsatz in Wolfsegg am Hausruck

Garten GBA / April 2019

Aufgrund der Probleme in Wolfsegg am Hausruck wurden am 15.04.2019 weitere Testmessungen im Garten der GBA durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass ab einer gewissen Stromspeisung (ca. 200mA) das Messgerät nicht mehr funktionierte. Zum Teil sind auch sporadische Fehler bei der Datenkonvertierung aufgetreten, wodurch der jeweilige Datensatz nicht analysiert werden konnte und damit verloren war. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wurde das Messgerät für eine Fehleranalyse zur FA. Liftoff (DI Kreuzer) gebracht. Es wurde ein Timing-Problem im System festgestellt, dass das hängenbleiben verursachte.

Garten GBA / Juni 2019

Nach intensiven Tests der Komponenten in der feldtauglichen Messbox am Tulbinger Kogel (bei FA. Liftoff (DI Kreuzer)) wurde dann, in Vorbereitung für eine Feldmessung in Zettlitz, ein letzter Test im Garten der GBA am 18.06.2019 durchgeführt. Diese Testmessungen waren schlussendlich erfolgreich, wie sich anhand der Ergebnisse in Abb. 26 erkennen lässt. Diese drei Messungen erfolgten in kurzer zeitlicher Abfolge und zeigen hinsichtlich der Ergebnisse eine nahezu perfekte Übereinstimmung, was die korrekte Funktionsweise des Messsystems bestätigt. Zudem wurde wenige Tage zuvor mit dem alten Messsystem an gleicher Position ein vergleichbares Ergebnis erzielt.

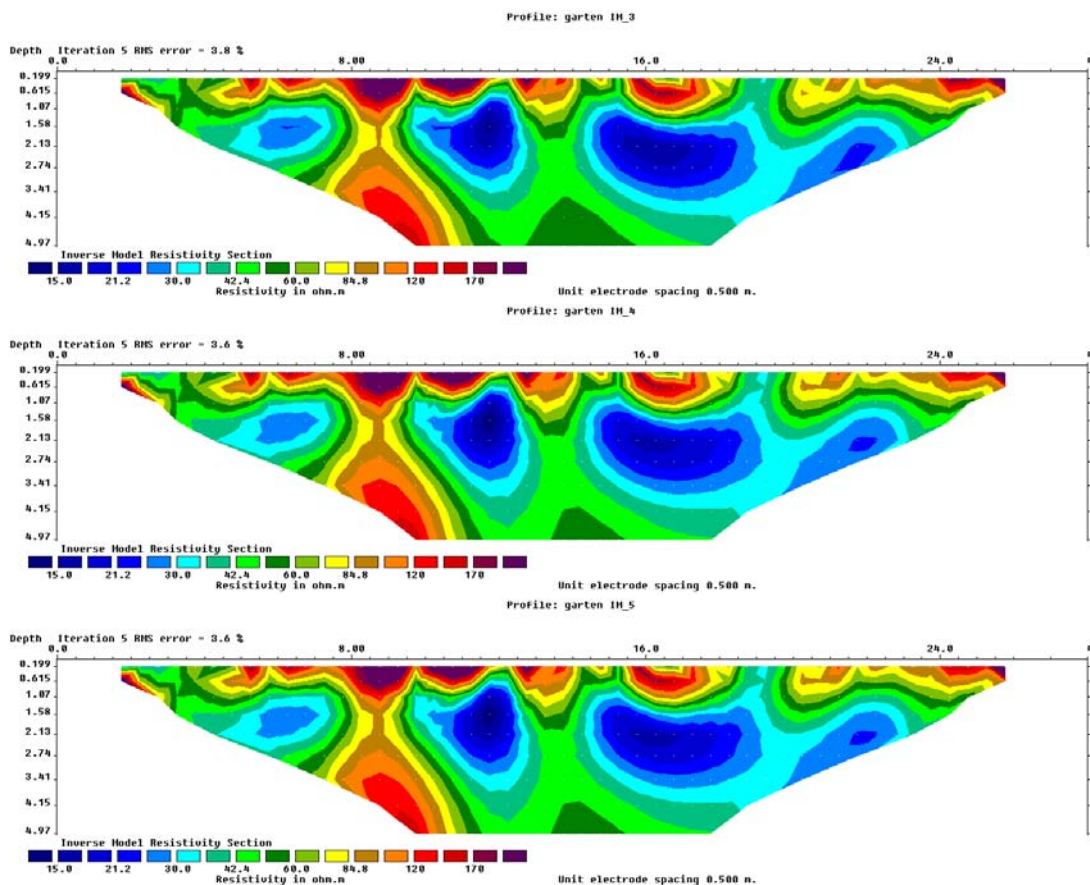


Abb. 26: 3 Ergebnisse der Widerstandsmessung im Garten der GBA mit dem GEOMON4D-IP; die Messungen erfolgten in unmittelbarer zeitlicher Abfolge

Zettlitz (NÖ) / Juni 2019

Bei dieser Messkampagne wurden in Summe 2 geoelektrische Profile in verschiedenen Aufstellungen und Messkonfigurationen umgesetzt. Gemessen wurde mit dem Messgerät AGI Sting©, dem GEOMON4D und dem GEOMON4D-IP. Die Messungen erfolgten jeweils über geologisch kartierte Bereiche mit erhöhtem Grafitanteil – wodurch ein deutlicher IP Effekt zu erwarten war bei gleichzeitig niedrigen spez. elektr. Widerstand. Mit den Messgeräten AGI Sting© und GEOMON4D konnten diese Eigenschaften des Untergrundes auch relativ gut verifiziert werden (siehe Abb. 27 und 28 als beispielhafte Inversionsergebnisse von Profil 5).

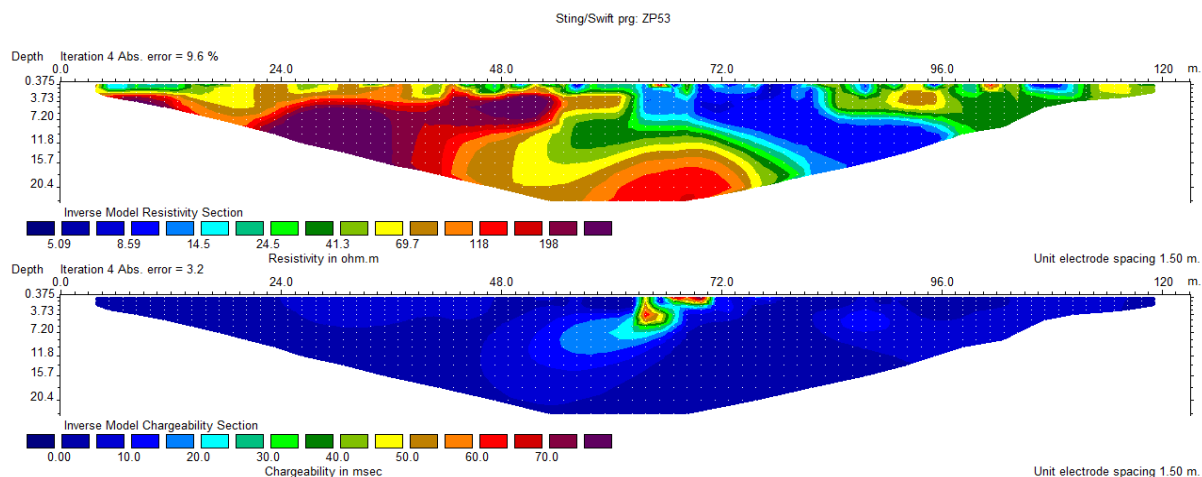


Abb. 27: Inversionsergebnis von Profil 5 gemessen mit dem AGI Sting© im IP Modus (0.5 Sekunden Messzykluseinstellung); spez. elektr. Widerstand (oben), Chargeability (unten)

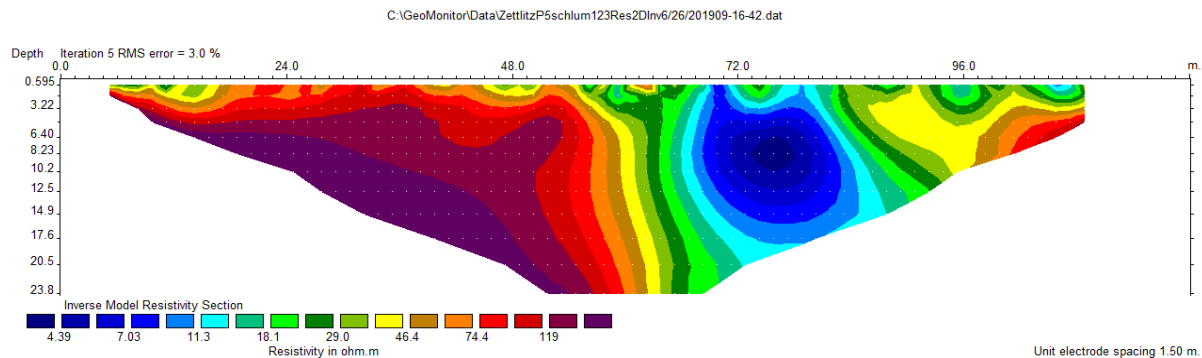


Abb. 28: Inversionsergebnis von Profil 5 (GEOMON4D) – nur spez. elektr. Widerstand

Wie man am Vergleich von Abb. 27 und 28 sieht, zeichnet sich der grafitreiche Bereich vor allem im elektr. Widerstand ganz deutlich als Minimum ab. Interessanterweise ist der IP-Effekt nicht sehr klar ausgeprägt bzw. ist nur auf einen Teil der deutlichen Widerstandsanomalie beschränkt.

Leider konnten mit dem GEOMON4D-IP keine brauchbaren Vergleichsdaten generiert werden. Nur ein kleiner Teil der ersten Messung (bei Profil 4) hat funktioniert, da hier ab einem bestimmten Zeitpunkt ein Stromrelais beschädigt wurde (Grund dafür unklar). Zwar wurde die Beschädigung beim Messen von Profil 5 bemerkt und behoben, allerdings waren die Messwerte in einem gewissen Bereich nach wie vor fehlerhaft. Hinzu kam noch das Problem, dass nur ca. 990

Messpunkte pro Messungen vom Rohdatenformat in das von uns verwertbare ASCII Format konvertiert werden konnten. Der Grund dafür war ein ganz genereller Systemfehler, der ein paar Wochen später entdeckt und behoben werden konnte. Dadurch wurde die Fehlersuche im Feld massiv erschwert. Leider konnte aufgrund dieser Schwierigkeiten kein kompletter, für eine Inversion verwertbarer Datensatz mit dem neuen Gerät generiert werden. Nachdem nach der Feldmessung der Fehler in der Datenkonvertierung behoben wurde und alle Messdaten (an die 4000 Messpunkte) konvertiert werden konnten, wurde auch der Grund für fehlerhafte Messwerte in einem gewissen Bereich gefunden. Die Potenzialplatine 2 war falsch adressiert. Dies wurde bei dem eine Woche zuvor durchgeführten Test im Garten aber leider nicht bemerkt, weil bei den verwendeten 29 Elektroden lediglich die Potenzialplatine 1 zum Einsatz gekommen ist.

Amstall (NÖ) / Juli 2019

Bei dieser Testmessung wurde ein kurzes Profil mit insgesamt 61 Elektroden installiert. Neben der Standardmessung mit dem GEOMON4D wurden diverse Testmessungen (Widerstand und IP) mit dem GEOMON4D-IP durchgeführt. Die Lage des Profils wurde so gewählt, dass eine kartierte Grafitlinse, die auch im SP Signal deutlich sichtbar war, überquert wurde. In den beiden Inversionsergebnissen in Abb. 29 ist dieser Bereich unabhängig vom eingesetzten Messgerät deutlich als niederohmige Anomalie zu erkennen.

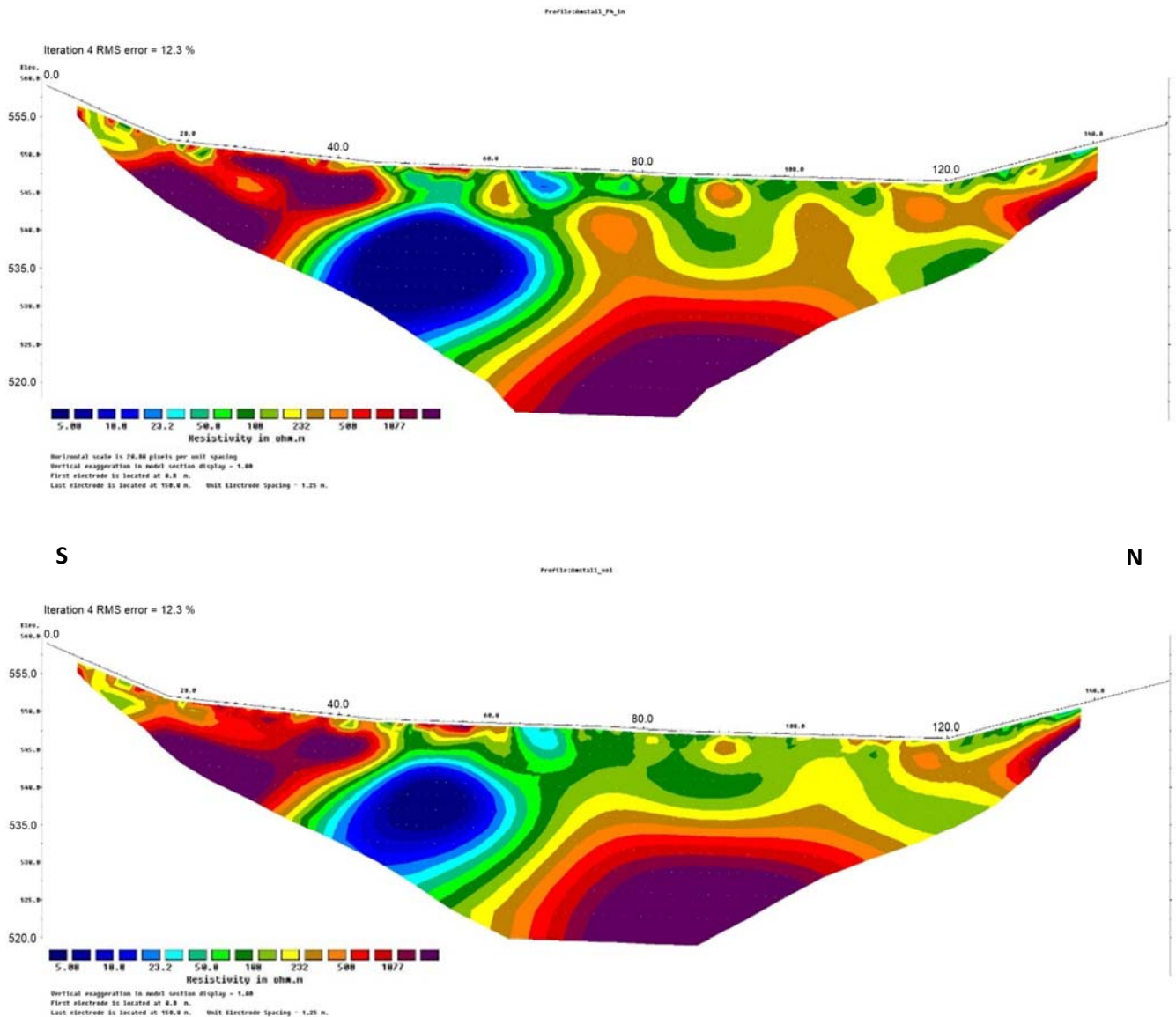
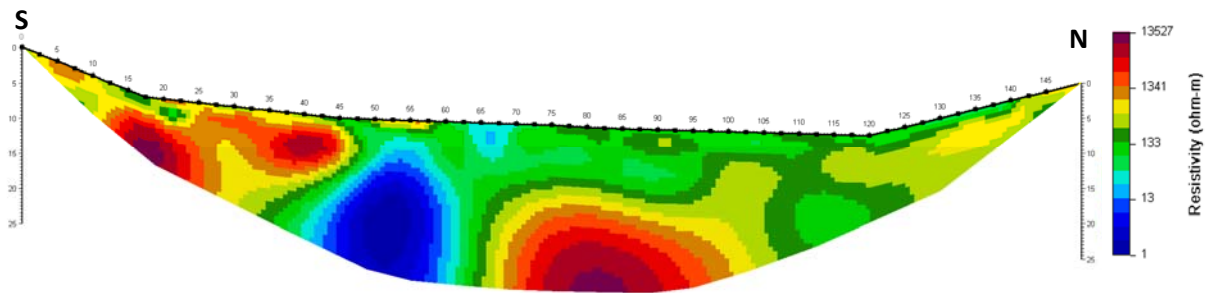


Abb. 29: Inversionsergebnis von Profil 4 in Amstall; oben: GEOMON4D, unten: GEOMON4D-IP

Zudem wurde mit dem GEOMON4D-IP eine IP Messung durchgeführt, bei der die Dauer der Stromeinspeisung und die Aufzeichnung der Abklingkurve jeweils etwas mehr als 0.5 Sekunden betragen hat. Das entsprechende Ergebnis ist in Abb. 30 dargestellt wobei für die Darstellung der Aufladbarkeit unterschiedliche Zeitfenster gewählt wurden (d.h. hier wird keine aufsummierte Aufladbarkeit dargestellt, sondern die Aufladbarkeit für das entsprechend gewählte Zeitfenster, wobei größere Nummern des Zeitfensters späteren Zeiten entsprechen). Klar zu sehen ist, dass sich der Bereich mit niedrigen spez. elektr. Widerstand klar als Bereich der stärksten Aufladbarkeit widerspiegelt. Dies entspricht auch dem erwarteten Ergebnis und bestätigt somit die Funktionalität des GEOMON4D-IP.

spez. elektr. Widerstand



IP- Aufladbarkeit, Zeitfenster 1, Zeitfenster 5, Zeitfenster 11

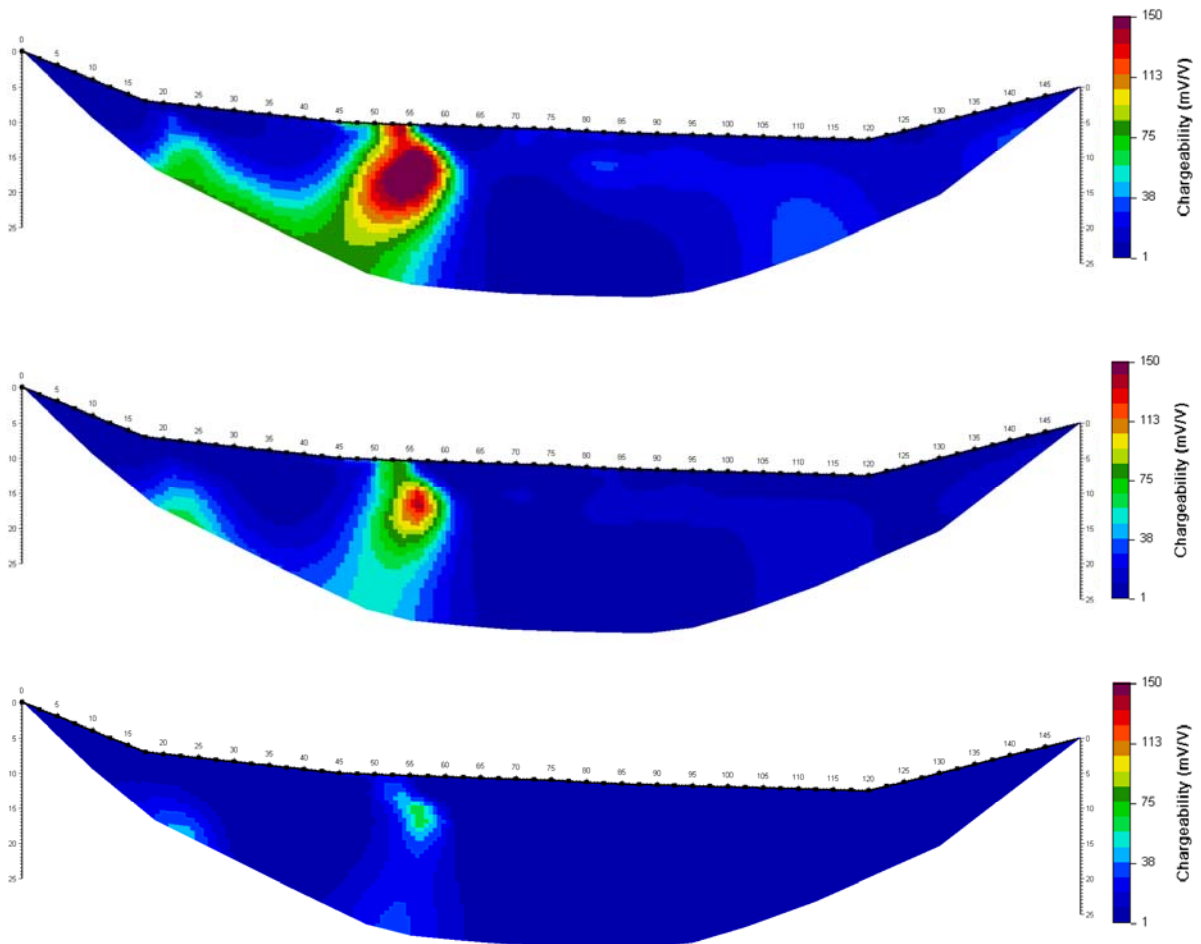


Abb. 30: Inversionsergebnis der IP Messung von Profil 4 ausgewertet mit DC2DPro; Bild 1 (von oben nach unten) spez. elektr. Widerstand, Bild 2 Aufladbarkeit im Zeitfenster 1, Bild 3 Aufladbarkeit im Zeitfenster 5, Bild 4 Aufladbarkeit im Zeitfenster 11 (Zeitfenster 1: 10-30msec nach Stromabschaltung, Zeitfenster 5: 120-160msec nach Stromabschaltung, Zeitfenster 11: 460-550msec nach Stromabschaltung)

Abb. 31 zeigt Situationsfotos der Messung in Amstall (Juli 2019).



Abb. 31: Situationsfoto der Testmessung Amstall (Profil 4)

Zettlitz (NÖ) / August 2019

Schwerpunkt bei dieser Messkampagne war herauszufinden, ob der spezifische elektr. Widerstand im Bereich einer Grafitlinse richtungsabhängig ist. Zu diesem Zweck wurden zwei Messprofile installiert, wobei das eine rechtwinklig und das andere parallel zum Streichen der Grafitlinse aufgebaut wurde (Abb. 32 und Abb. 35). Aus Zeitgründen konnte nur beim rechtwinklig zur Grafitlinse verlaufenden Profil das GEOMON4D-IP eingesetzt werden. Hierbei wurde das in Abb. 33 und 34 dargestellte Ergebnis erzielt, das zumindest hinsichtlich des spezifischen elektr. Widerstandes sehr gut mit dem Ergebnis des GEOMON4D Messsystems übereinstimmt und dies obwohl zwei unterschiedliche Auswerteprogramme verwendet wurden.



Abb. 32: Situationsfoto der Feldmessung von P6 und P7 in Zettlitz

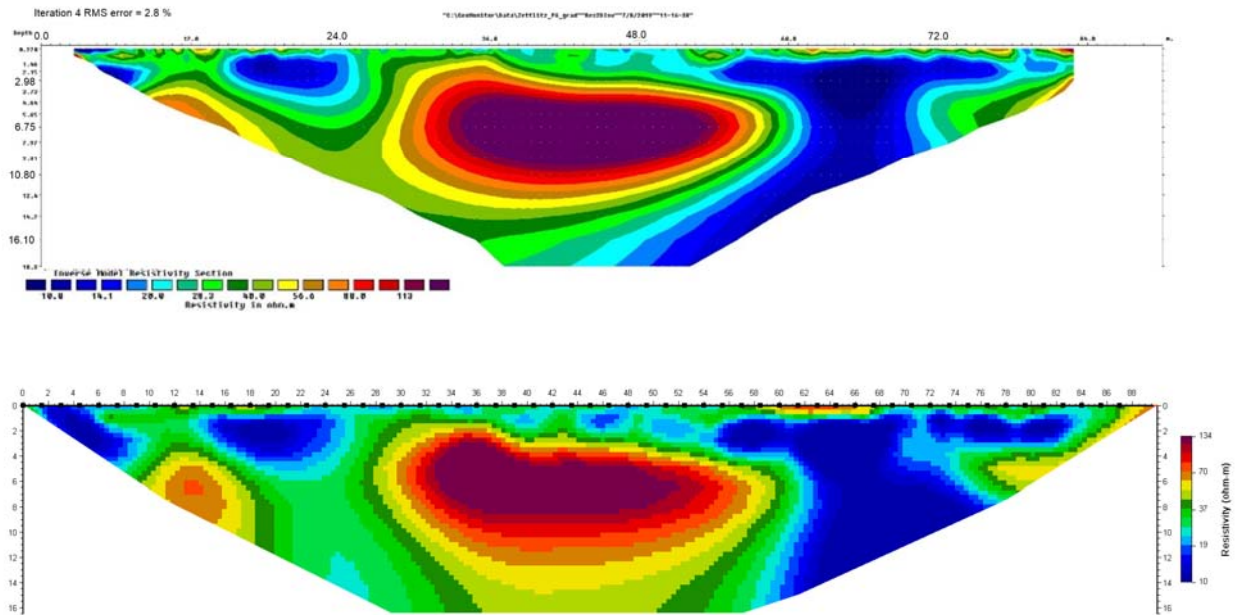


Abb. 33: Vergleich der Inversionsergebnisse vom GEOMON4D (oben) und GEOMON4D-IP (unten), dargestellt ist nur der spez. elektr. Widerstand

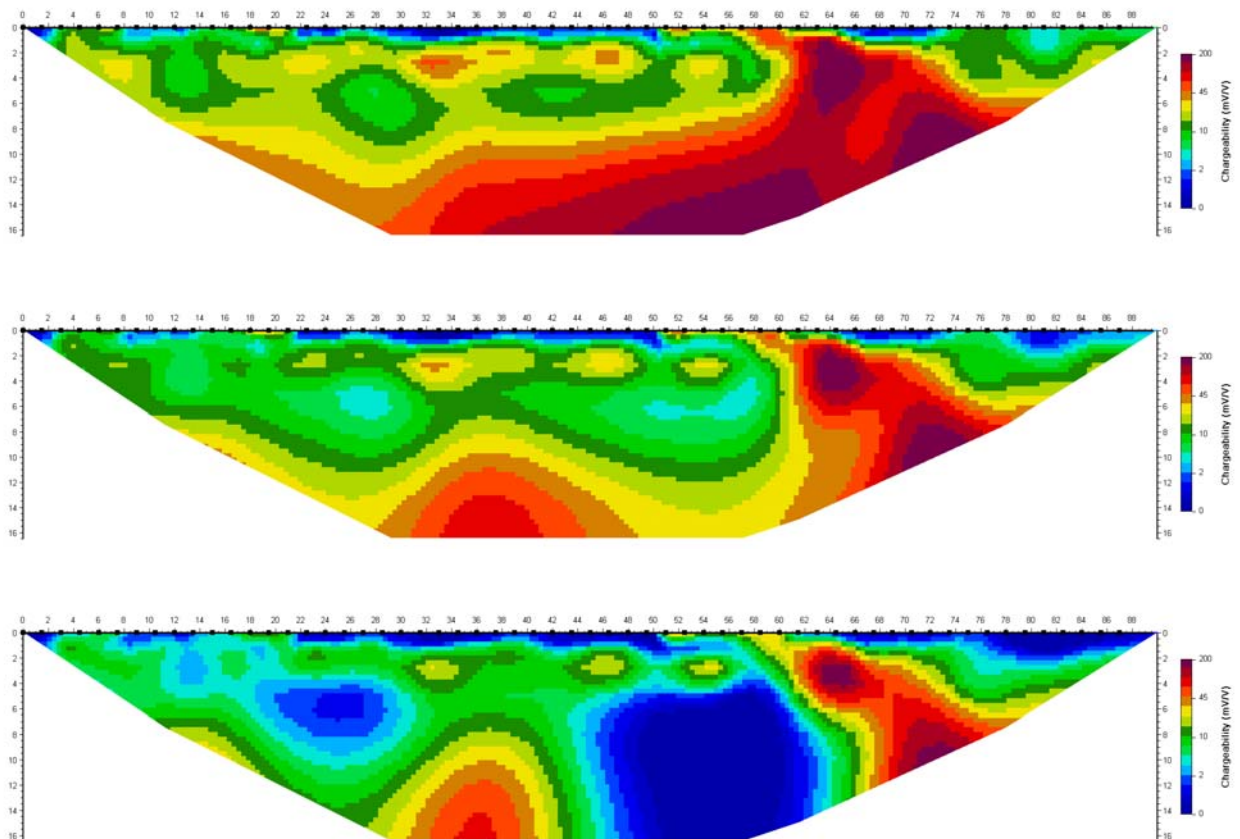


Abb. 34: Inversionsergebnis der IP Messung ausgewertet mit DC2DPro; Bild 1 (von oben nach unten) Aufladbarkeit im Zeitfenster 1, Bild 2 Aufladbarkeit im Zeitfenster 3, Bild 3 Aufladbarkeit im Zeitfenster 6 (Zeitfenster 1: 10-30msec nach Stromabschaltung, Zeitfenster 3: 60-90msec nach Stromabschaltung, Zeitfenster 6: 160-200msec nach Stromabschaltung)

Die Bereiche mit starker Aufladbarkeit lassen sich in diesem Beispiel nicht ganz eindeutig Bereichen mit niedrigen spez. elektr. Widerstand zuordnen. Dennoch hebt sich der Bereich, wo die Grafitlinse gequert wird (ca. bei Profilmeter 55 -75) deutlich hervor, als Bereich mit hoher Aufladbarkeit (mehr oder weniger unabhängig von der Wahl des Zeitfensters).

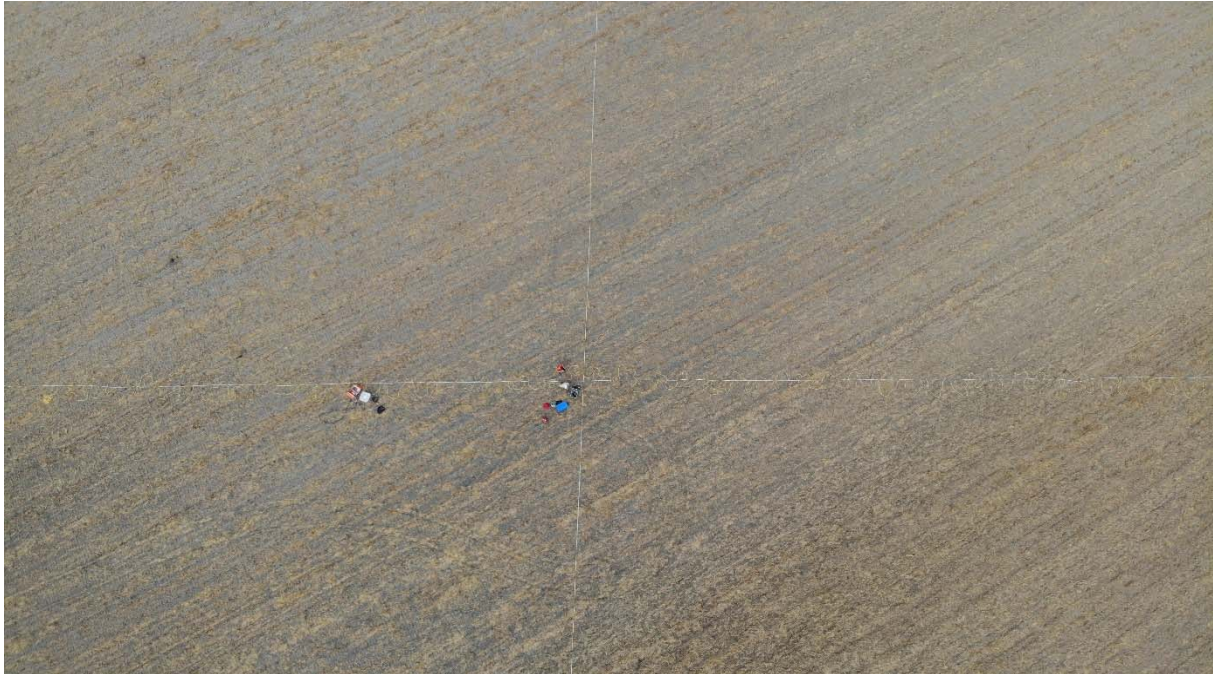


Abb. 35: Drohnensfoto aus einer Höhe von ca. 40 m der beiden Messprofile P6 und P7 (wurde vor allem für die Auslage im möglichst rechten Winkel zueinander gemacht)

Haufenreith (Stmk.) / Oktober 2019

Bei dieser Feldmessung zur Abklärung der Heterogenität einer alten Bergbauhalde wurde das Messgerät AGI Sting und das GEOMON4D-IP eingesetzt. Leider ist hier erneut bereits bei einer elektrischen Widerstandsmessung ein Relais auf einer Stromplatine beschädigt worden. Diese Beschädigung konnte erst im Nachhinein festgestellt werden (die Datenkonvertierung in ASCII-Format konnte erst nach der Messung durchgeführt werden), wodurch die sehr lang dauernde IP Messung über Nacht nur fehlerhafte Messwerte geliefert hat. Dadurch sind die IP-Daten nicht verwertbar. Die Daten der elektr. Widerstandsmessung sind bis zur Beschädigung allerdings sehr gut mit denen des AGI Sting© vergleichbar (Abb. 34 und Abb. 35).

Ein Situationsfoto zeigt Abb. 36.

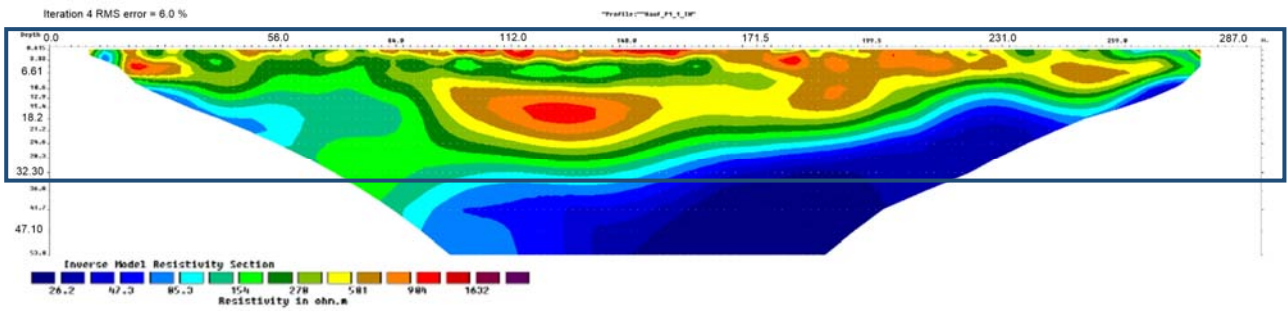


Abb. 34: Inversionsergebnis der Widerstandsmessung, wobei die fehlerhaften Datenpunkte eliminiert wurden (GEOMON4D-IP) mit Ausschnitt für den Messbereich von AGI/STING

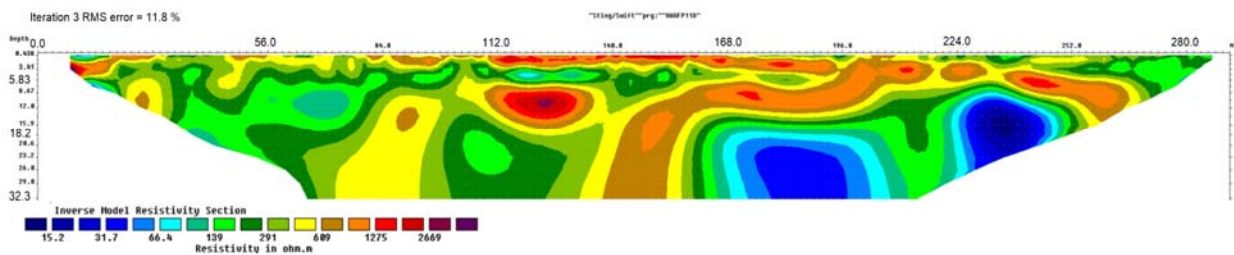


Abb. 35 Inversionsergebnis der Widerstandsmessung mit dem AGI Sting©



Abb. 36: Situationsfotos der Feldmessung in Haufenreith

Der Fehler der schadhaften Relais auf der Stromplatine wurde erst nach einer weiteren Testmessung in Sibratsgäll (Vbg.) als solcher identifiziert. Dadurch, dass dies bereits bei der

Messung in Zettlitz vorgefallen ist, war es notwendig, den Grund für diesen scheinbar immer wieder auftretenden Fehler zu eruieren. Es wurde geplant, im Zuge einer permanenten Installation eines geoelektrischen Messprofils im Garten der GBA ab Jänner/Februar 2020 diesbezüglich intensive Tests durchzuführen, um die Fehleranfälligkeit zu analysieren. Bis dahin wurde das Messsystem von der Fa. Liftoff für weitere Tests übernommen, um dem Problem mit den Stromrelais im Labor auf den Grund zu gehen. Nebenbei wurden weitere Adaptierungen bei der Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware vorgenommen, die im Zuge der Feldeinsätze im Sommer als notwendig erachtet wurden – Hauptaugenmerk hierbei war die Verbesserung hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit.

Im abschließenden Projektjahr 2020 sollte v.a. die Praxistauglichkeit des GEOMON4D-IP Messgerätes intensiv getestet werden. Dafür wurden, wie bereits erwähnt, umfangreiche Messungen im neu errichteten Messfeld im Garten der GBA (fix installiertes geoelektrisches Profil) durchgeführt. Des Weiteren sollten in Messgebieten, die im Rahmen des MRI Projektes Explograf untersucht worden sind und die auf Grund ihrer Grafitvorkommen gute Voraussetzungen für die Messung des Induzierten Polarisierungseffektes (chargeability) darstellen, weitere Testmessungen durchgeführt werden.

Garten GBA / ab März 2020

Erneute Testmessungen erfolgten erst wieder im Februar im Zuge der Fertigstellung des geoelektrischen Monitoringprofils im Garten der GBA. Das eigentliche Ziel war es über einen Zeitraum von zumindest 2-3 Wochen täglich einen Datensatz (elektr. Widerstand und IP) zu akquirieren, um so einen ersten Monitoringdatensatz für diverse Weiterentwicklungen im Bereich der Datenauswertesoftware zu generieren. Neben diversen kleineren technischen Problemen beim Messsystem, die in den folgenden Monaten sukzessive behoben werden konnten, konnte aufgrund der Corona-Virus Pandemie und den einhergehenden Einschränkungen (Umstellung auf hps. Homeoffice) dieses Ziel nicht vollumfänglich realisiert werden. Dennoch konnten im Zeitraum März bis Oktober 2020 immer wieder Testmessungen im Garten der GBA durchgeführt werden, um die Funktionalität diverser Weiterentwicklungen unter Feldbedingungen zu testen. Dies umfasste sowohl die Redimensionierung des Regelkreises für die konstante Stromeinspeisung, als auch die Inbetriebnahme einer LED Platine, die den Gerätestatus anzeigt. Zudem konnte in diesem Zeitraum auch die Datenübertragung vom Messsystem auf das Feldnotebook mittels FTP-Zugang realisiert werden, wodurch die fehleranfällige Übertragung mittels USB-Stick vermieden werden konnte.

Ein repräsentativer Vergleich der Ergebnisse des neuen und des alten Messsystems ist in Abb. 37 dargestellt. Die zugrundeliegenden Messdaten wurden im Juni 2020 akquiriert und zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Bei näherer Betrachtung ist zu sehen, dass der rms-Fehlerwert bei den Daten des neuen Messsystems deutlich niedriger ist. Dies zeigt sich auch durch ein etwas weniger dynamisches Anomalienbild im Inversionsergebnis, das einfach darauf hindeutet, dass der generierte Datensatz in sich konsistenter ist und eine höhere Datenqualität aufweist. Diese höhere Datenqualität wurde weitestgehend bei allen durchgeführten Testmessungen im Garten beobachtet (sofern keine Fehlfunktion des Messsystems vorgelegen ist).

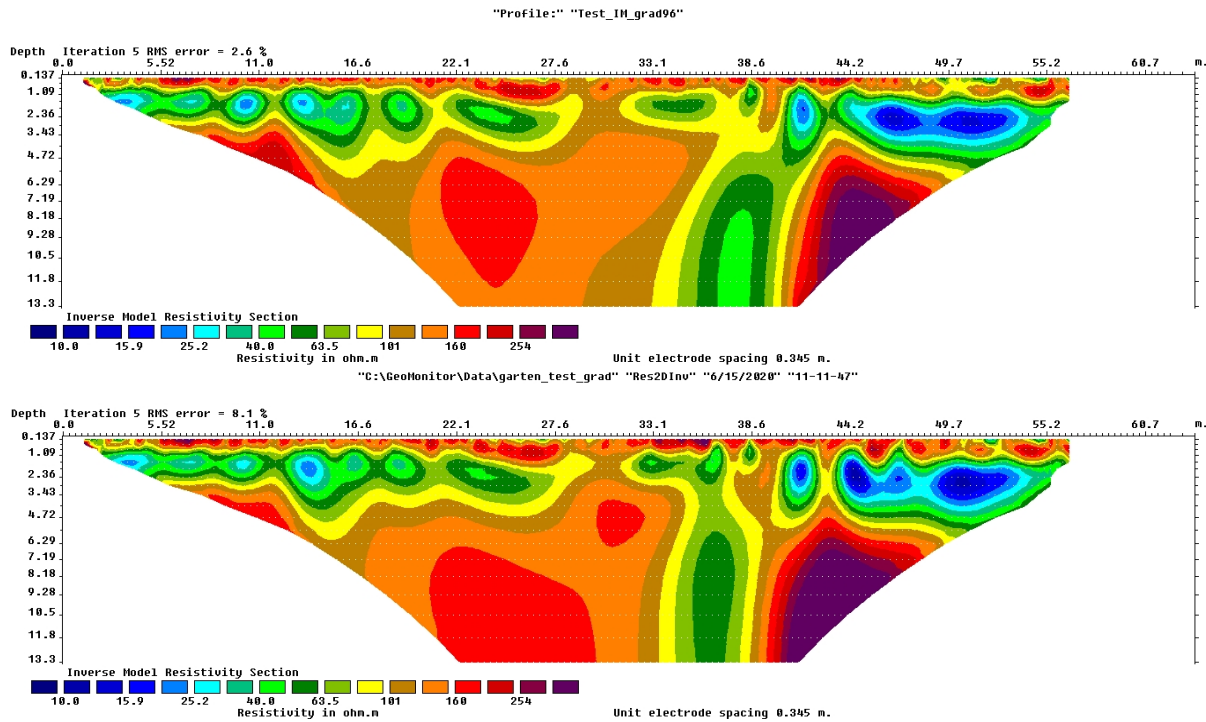


Abb. 37: Inversionsergebnis einer geoelektrischen Messung am geoelektrischen Monitoring Profil im Garten der GBA; dargestellt als Modell des spez. el. Widerstandes; oben: GEOMON4D-IP (neues Messsystem); unten: GEOMON4D (altes Messsystem)

Ein weiterer Vergleich der Ergebnisse der beiden Messsysteme ist in Abb. 38 dargestellt. Hierbei handelt es sich um Ergebnisse vom September 2020. Auch hier zeigen sich wieder eine gute Übereinstimmung und ein eher ruhigeres Anomalienbild beim Ergebnis mit dem neuen Messsystem. Der rms-Fehler zeigt bei diesem Beispiel nur eine unbedeutende Differenz. Zu erwähnen sei noch, dass aufgrund der sehr geringen Polarisierungseffekte im Garten der GBA hier auf eine Darstellung der entsprechenden Ergebnisse (chargeability) verzichtet wird, obwohl eine große Anzahl entsprechender Datensätze (zu Testzwecken) akquiriert wurde.

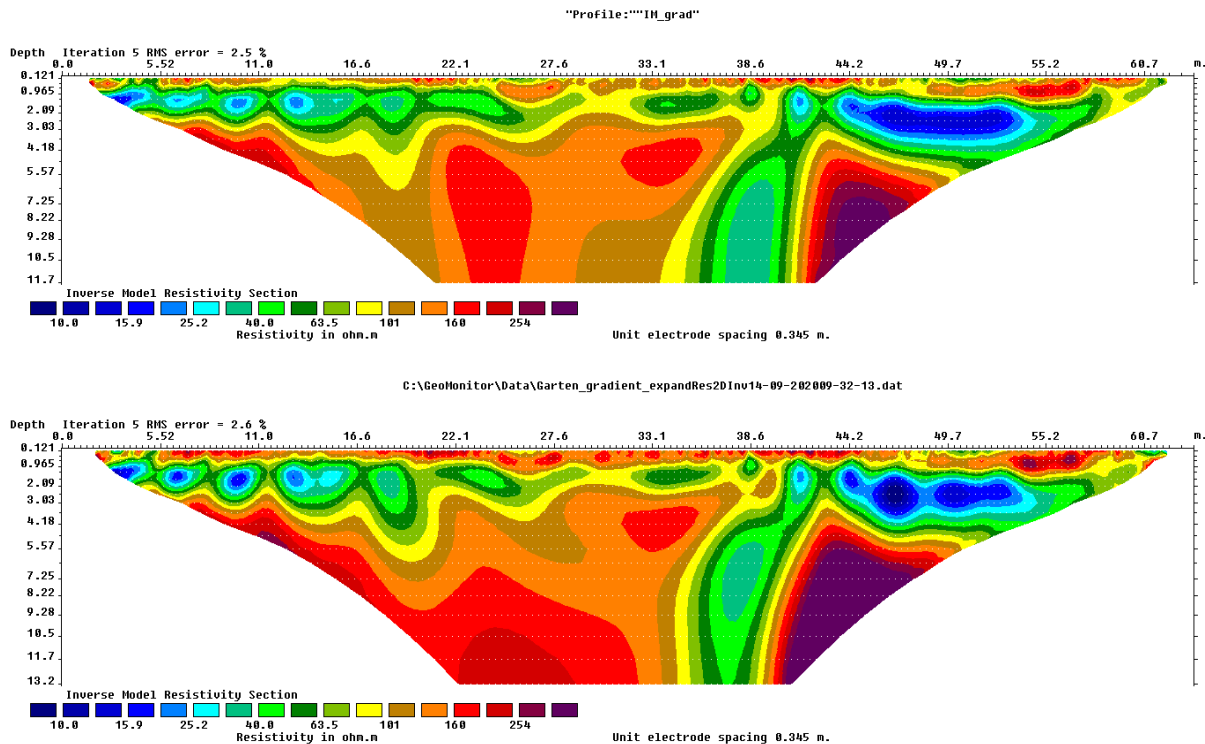


Abb. 38: Inversionsergebnis einer geoelektrischen Messung am geoelektrischen Monitoring Profil im Garten der GBA; dargestellt als Modell des spez. el. Widerstandes; oben: GEOMON4D-IP (neues Messsystem); unten: GEOMON4D (altes Messsystem)

Amstall (NÖ) / Juni, Juli 2020

Ziel dieser Messkampagne war es einerseits, die Qualität des neuen GEOMON4D-IP Messgerätes im Vergleich mit dem GEOMON4D zu evaluieren. Andererseits sollte der im Projektantrag definierten übergeordneten Zielsetzung „IP Messung zur breiteren Anwendung für die Bereitstellung von qualitativ hochwertigen Daten bei spezifischen rohstoffrelevanten Fragestellung in Österreich verfügbar zu machen“ mit einem dafür spezifischen Beispiel anhand der Prospektion von Graphitvorkommen nachgekommen werden. Dies wurde in Kooperation mit dem MRI-Projekt EXPLOGARF durchgeführt. Hier wurde auch die Zusatzplatine für die Spannungsaufzeichnung erstmalig eingesetzt.

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, bringt auch die Messung des elektrischen Widerstandes mit dem neuen Messsystem aufgrund einer verbesserten Stromspeisung, einer besseren Auflösung der gemessenen elektrischen Spannung, sowie einer größeren Bandbreite der zu messenden elektrischen Spannung deutliche Vorteile gegenüber dem bestehenden Messsystem. Damit sollte die Datenqualität noch einmal verbessert werden. Diese Verbesserung soll in der Gegenüberstellung von zwei exemplarischen Ergebnissen von Profil 4 aus Amstall in Abb. 39 dargestellt werden.

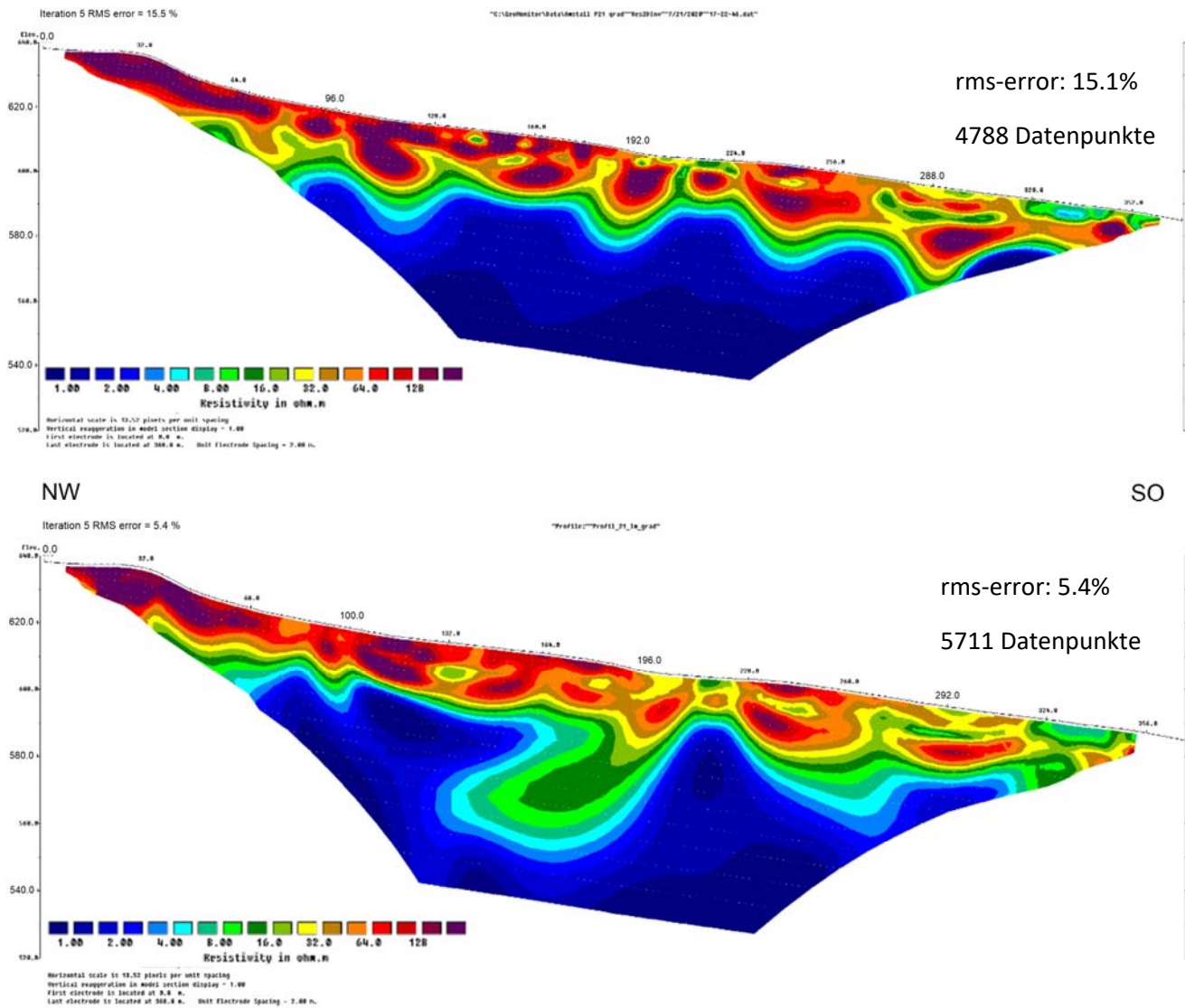


Abb. 39: Inversionsergebnis einer geoelektrischen Messung in Amstall; dargestellt als Modell des spez. elektr. Widerstandes; oben: GEOMON4D (altes Messsystem); unten: GEOMON4D-IP (neues Messsystem)

Bei dem Vergleich in Abb. 39 muss betont werden, dass die ursprüngliche Anzahl der Datenpunkte identisch war und deren Reduktion durch eine standardmäßige rms-error-Filterung (nach vergleichbaren Kriterien) erfolgte. Trotz der bedeutend höheren Anzahl an verbliebenen Messpunkten ist der rms-Fehler im unteren Ergebnis deutlich geringer. Durch die höhere Messgenauigkeit des neuen Messsystems haben bei diesem Beispiel vor allem Messpunkte, die tieferen Untergrundebenen zuzuordnen sind, eine deutlich bessere Datenqualität (im Vergleich zum alten Messsystem). Dadurch zeigt das Ergebnis des neuen Messsystems auch eine deutlichere Dynamik im tieferen Bereich des Untergrundes, da hier aufgrund der Datenqualität noch eine gewisse Differenzierung des hier generell relativ niedrigen spez. elektr. Widerstandes möglich ist.

Mit diesem Profil 4, das zwischen 2 Tagebaubereichen im ehemaligen Grafitbergbau Amstall (NÖ) gelegt worden ist, wurde versucht, den aus Daten von Eigenpotenzialmessungen abgeleiteten Bereich mit Hinweisen auf einen höheren Grafitgehalt zu erfassen und entsprechende

Informationen über den Tiefenverlauf zu bekommen. Der folgende Abschnitt wurde dem Endbericht des MRI-Projektes EXPLOGRAF (Römer, et. al, 2020) entnommen:

Das Ergebnis in Abb. 40 zeigt sehr deutliche Widerstandscontraste. Ganz klar zu sehen ist eine relativ heterogene Oberflächenschicht mit unterschiedlicher Mächtigkeit (im Mittel etwa 20 m). Im Bereich vom Profilanfang (im NW) bis etwa Profilmeter 70 zeigt diese Oberflächenschicht zum Großteil Widerstandswerte von mehr als 180 Ohmm (Farbgebung gelb bis rot). Bis auf kleinräumige Anomalien zeigt der Rest der Oberflächenschicht durchwegs Werte des spez. elektr. Widerstandes von 30 bis 120 Ohmm. Der spez. elektr. Widerstand unter dieser Oberflächenschicht nimmt innerhalb von wenigen Metern sehr schnell ab und erreicht Werte kleiner als 10 Ohmm. Dieser Bereich muss ganz klar dem (unverwitterten) grafithaltigen Bereich zugeordnet werden. Das Ergebnis in Abb. 40 lässt keinen Schluss über eine etwaige Tiefenbegrenzung dieses grafitreichen Bereiches zu. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass durch den extrem niedrigen spez. elektr. Widerstand des grafithaltigen Materials (bereits ab einer Tiefe von ca. 20 m unter GOK) der Informationsgehalt der Datenpunkte aus größerer Tiefe stark eingeschränkt ist. Einfache geoelektrische Modellrechnungen (siehe Kapitel Modellrechnung) zu dieser Untergrundsituation zeigen, wie stark die Auflösung der Messmethode für tiefere Bereiche durch eine darüber liegende grafitreiche Schicht (sehr niedriger spez. elektr. Widerstand) eingeschränkt ist. Demnach können über Untergrundbereiche, die weit innerhalb der grafitreichen Schicht bzw. darunterliegen, mit der gewählten Messgeometrie (Profillänge/max. Eindringtiefe) keine klaren Aussagen getroffen werden. Dazu wäre ein Messprofil mit deutlich größerer Eindringtiefe, das bedeutet größeren Auslagenlängen, notwendig.

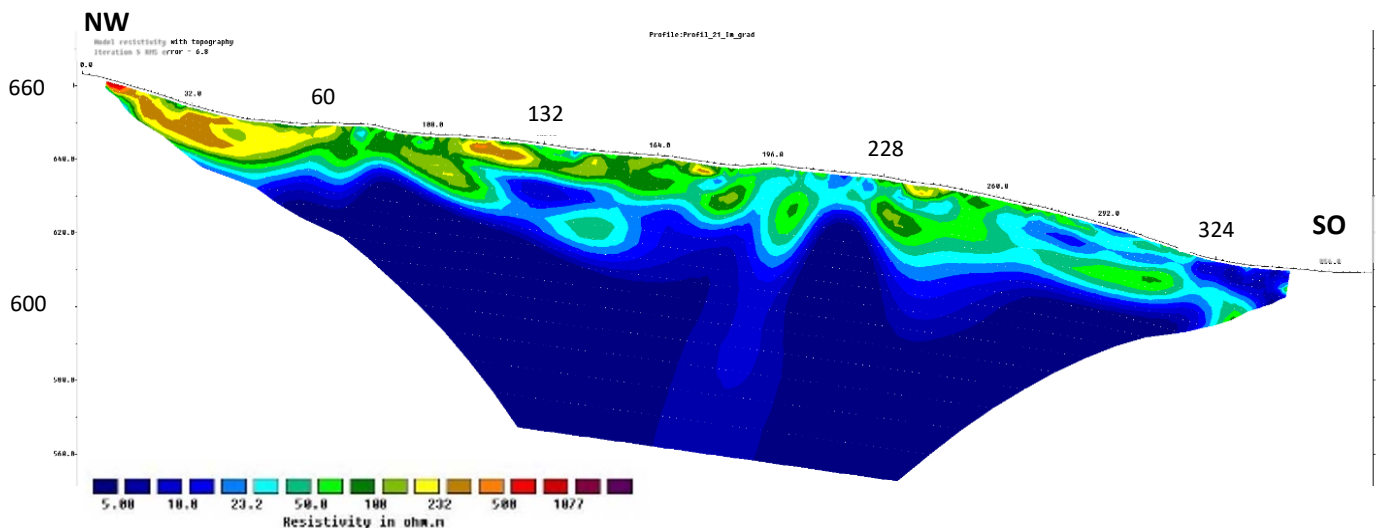


Abb. 40: Inversionsergebnis von Profil 4; dargestellt ist das Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes

In Abb. 41 ist ein weiteres Inversionsergebnis von Profil 4 mit dem Parameter elektr. Widerstand und der Polarisierbarkeit dargestellt. Da die Messdaten, die dem tieferen Untergrundbereich zuzuordnen sind, mit einer starken Unsicherheit behaftet sind (siehe Modellrechnung) wurde der

Datensatz entsprechend gefiltert, sodass nur die Datenpunkte aus den ersten 30 m unter GOK für die IP-Inversion herangezogen wurden. Ohne diese Einschränkung war für die IP Daten beim Inversionsprozess keine gute Konvergenz der Inversion zu erzielen. Die Verteilung des spez. elektr. Widerstandes (obere Darstellung in Abb. 41) ändert sich zum Ergebnis von Abb. 40 kaum (bis auf die eingeschränkte Eindringtiefe). Die Betrachtung der dargestellten Verteilung der Polarisierbarkeit/Aufladbarkeit (untere Darstellung in Abb. 41) zeigt ab Profilmeter 55 eine sehr heterogene Oberflächenschicht, die im Mittel doch als Bereich erhöhter Aufladbarkeit hervorsteht. Die einzelnen Anomalien mit Minimalwerten korrelieren sehr gut mit Bereichen, die einen hohen spez. elektr. Widerstand aufweisen. Der Umkehrschluss lässt sich weniger deutlich erkennen. Deutlich hervorzuheben ist allerdings, dass sich der hochohmige Bereich (oberflächennah) bei Profilanfang als deutliche Anomalie mit sehr geringer Aufladbarkeit auszeichnet. Diese Abschnitte können als NICHT grafitführend interpretiert werden. Eine vorläufige Interpretation geht dahin, dass das durch sehr niedrige spez. elektr. Widerstände (< 10 Ohmm) gekennzeichnete Liegende den unverwitterten Grafitbereich anzeigt, während der durch etwas höhere spez. elektr. Widerstände (50-200 Ohmm) Hangende Teil die Abschnitte des stark verwitterten Grafits charakterisiert. Die Mächtigkeiten betragen hier in etwa 20-30 m, dies würde auch den Abbauhöhen des Tagebaus – Bereiche des verwitterten Grafits, wo der vormals vorhandene Pyrit bereits umgewandelt wurde – entsprechen.

Hinsichtlich der Interpretation bedarf es aber weiterer Untersuchungen, um einen Zusammenhang zwischen der Aufladbarkeit, dem spez. elektr. Widerstand und der genauen Materialzusammensetzung des Untergrundes herauszuarbeiten.

Als Zusammenfassung der Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen kann gesagt werden, dass der spez. elektr. Widerstand mit sehr geringen Werten (< 10 Ohmm) im Allgemeinen als unverwitterter Grafitbereich interpretiert werden kann, aus dem IP response, also der Polarisierbarkeit, möglicherweise Hinweise auf Internstrukturen bzw. Grafitgehaltverteilung abgeleitet werden können. Dazu wären tiefere Bohrungen zur Validierung v.a. der Ergebnisse der Induzierten Polarisation erforderlich. Das würde bedeuten, dass der hier beschriebene Unterschied in den geoelektrischen Ergebnisparametern (spez. elektr. Widerstand und Aufladbarkeit) zwischen Deckschicht und darunterliegender Schicht durch Verwitterung zustande kommt.

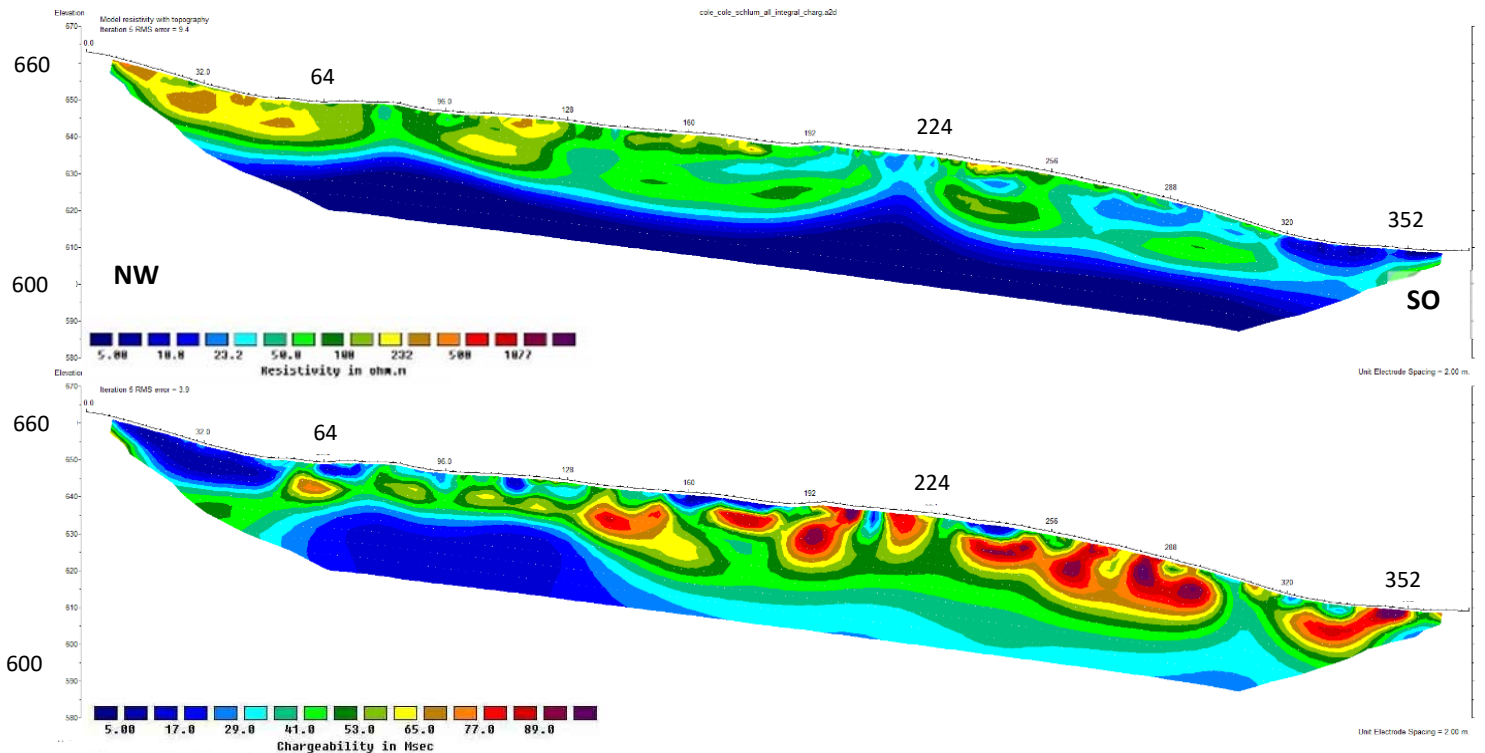


Abb. 41: Inversionsergebnis der IP Messung von Profil 4 ausgewertet mit Res2DInv; dargestellt ist das Modell des spez. elektr. Widerstandes und der integralen Polarisierbarkeit/Aufladbarkeit

Wimpassing an der Leitha / Juni-Dezember 2020:

In Wimpassing an der Leitha wurde im Rahmen eines Pumpversuches ein geoelektrisches Monitoring Profil installiert, das in dem angegebenen Zeitraum auch für diverse Test- und Vergleichsmessungen mit dem GEOMON4D-IP zur Verfügung gestanden ist. Neben dem direkten Vergleich der Ergebnisse einzelner Tiefensektionen zwischen dem alten und dem neuen Messsystem, wurden auch diverse Tests mit unpolarisierbaren Elektroden und sehr langen Stromeinspeisungen für einzelne Messpunkte durchgeführt.

Der direkte Vergleich der Ergebnisse (zwischen GEOMON4D und GEOMON4D-IP) ist in Abb. 42 dargestellt. Hier zeigt sich ein weiteres Mal, dass sich die Ergebnisse der beiden Messsysteme nur durch Nuancen voneinander unterscheiden. Es muss allerdings betont werden, dass das neue Messsystem eine enorme Zeitersparnis bei der Messdauer bringt. Im konkreten Fall reduziert sich die Messdauer von 50 Minuten (altes System) auf knapp unter 20 Minuten mit dem neuen GEOMON4D-IP (bei der Widerstandsmessung). Dieser Vorteil ist für die meisten Feldmessungen nicht besonders relevant, er kann aber vor allem bei Messungen wo es herausfordernd ist eine hohe Datenqualität zu erzielen (hoher Rauschpegel, sehr inhomogene Untergrundverhältnisse, etc.) entscheidend sein, da sich zumindest die doppelte Anzahl an gemessenen Tiefensektionen ausgeht (im Vergleich zum alten Messsystem) und somit die Möglichkeit besteht, verschiedene Messeinstellungen zur Optimierung der Datenqualität auszuprobieren.

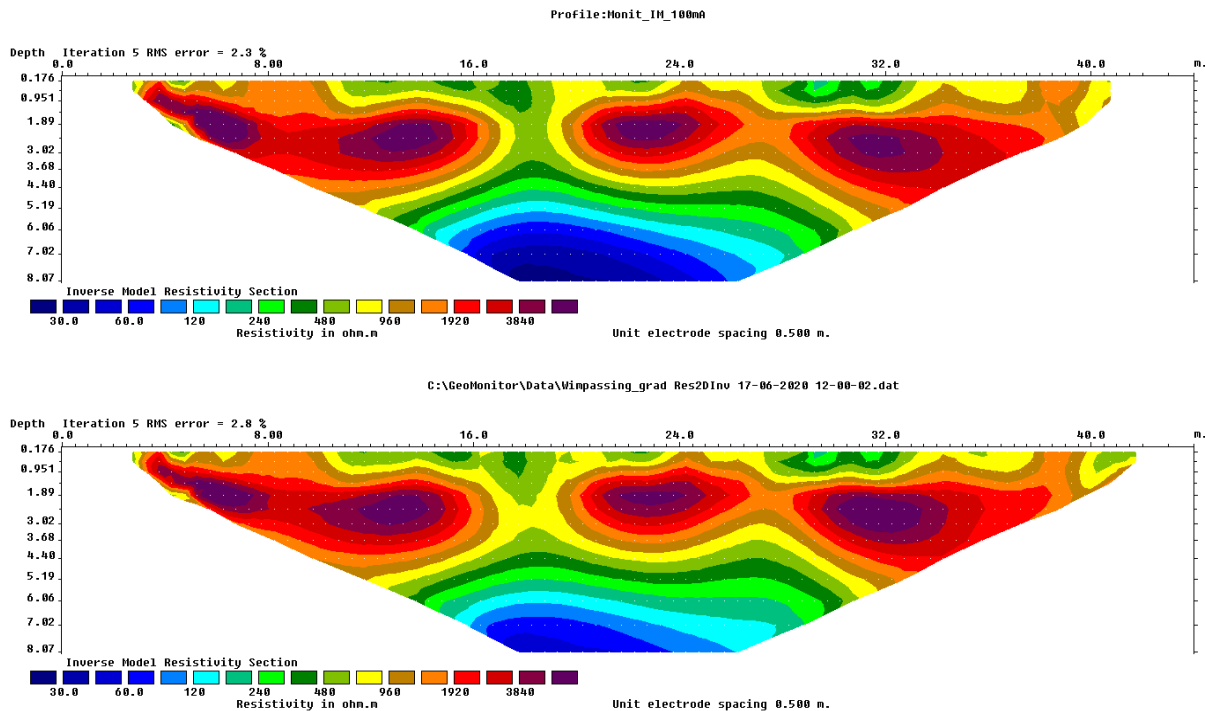


Abb. 42: Inversionsergebnis einer geoelektrischen Messung am Monitoring Profil Wimpassing an der Leitha; dargestellt als Modell des spez. el. Widerstandes; oben: Geomon4D-IP (neues Messsystem); unten: Geomon4D (altes Messsystem)

Da bei IP-Messungen generell die Gefahr besteht, dass die gemessenen Daten durch Polarisierungseffekte an den Stahlelektroden verfälscht werden, wurden an dieser Lokation verschiedene Vergleichsmessungen an ausgewählten Elektrodenpaaren durchgeführt. Das Problem der Elektrodenpolarisation betrifft nur die Potenzialelektroden, weshalb bei verschiedenen Tests nur diese durch unpolarisierbare Elektroden ersetzt wurden. Abb. 43 zeigt den direkten Vergleich der gemessenen Samples eines ausgewählten Messpunktes bei Verwendung von Stahl- bzw. unpolarisierbaren Potenzialelektroden. Der Plot zeigt den zeitlichen Verlauf des Einspeisestroms und der gleichzeitig an den jeweiligen Potenzialelektroden gemessenen elektrischen Spannung. Die Lücke zwischen Anfang und Ende der Stromeinspeisung kommt dadurch zustande, dass nicht alle Daten aufgezeichnet werden. Die beiden Bereiche bis zur Stromabschaltung (bei einer Sekunde), bei denen Daten aufgezeichnet wurden, entsprechen der Widerstandsmessung. Der Bereich nach der Stromabschaltung zeichnet das Abklingverhalten der Spannung auf und entspricht somit der IP-Messung im Zeitbereich. Der Einspeisestrom ist wie erwartet für beide Messungen praktisch identisch – hier wurden in beiden Fällen Stahlelektroden verwendet. Bei der gemessenen Spannung für die Widerstandsmessung (bis zur Stromabschaltung) ist zu erkennen, dass die Werte bei Verwendung der unpolarisierbaren Elektroden etwas höher ausfallen. Bei gleichzeitiger Betrachtung der Reverse Messung dieses Messpunktes (Abb. 44) wird klar, dass sich für die Messung mit den unpolarisierbaren Elektroden bei vergleichbarer Stromspeisung eine etwas größere Spannungsdifferenz (Messeffekt) ergibt. Dies führt in weiterer Folge zu einem etwas höheren elektrischen Widerstand. Der Grund für diese Diskrepanz bei der reinen Widerstandsmessung zwischen Stahlelektroden und den unpolarisierbaren Elektroden ist nicht ganz klar – allerdings hat sich bei der genauen Datenanalyse mehrerer Messpunkte gezeigt, dass sich die Diskrepanz im Widerstand nur in der Größenordnung von max. 1-2% bewegt. Diese Diskrepanz ist für die Bewertung und Interpretation einer gesamten

Tiefensektion irrelevant, zumal zu erwarten ist, dass es sich um einen generellen Offset handelt, der keinen Einfluss auf relative Widerstandsunterschiede in der Tiefensektion hat.

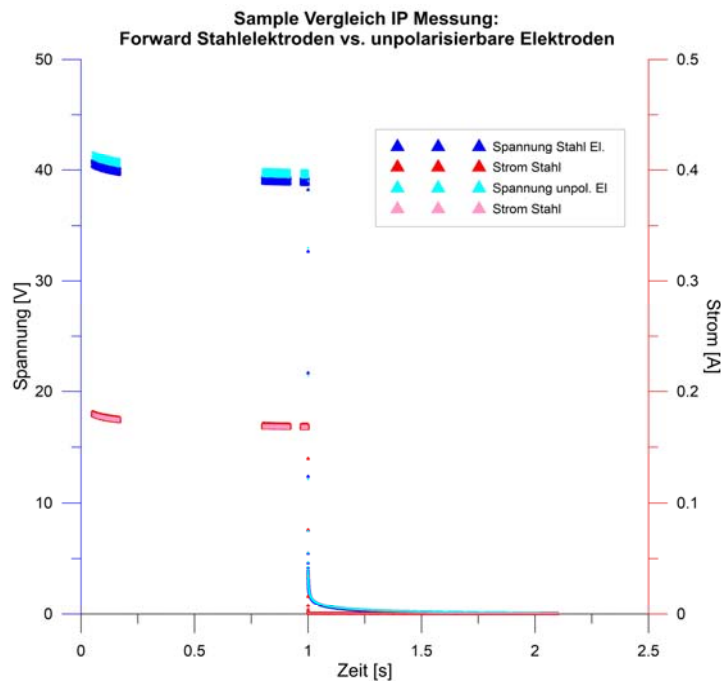


Abb. 43: Darstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für die IP-Messung eines ausgewählten Messpunktes jeweils bei Verwendung von Stahlpotenzialelektroden bzw. unpolarisierbaren Potenzialelektroden – Forward Messung

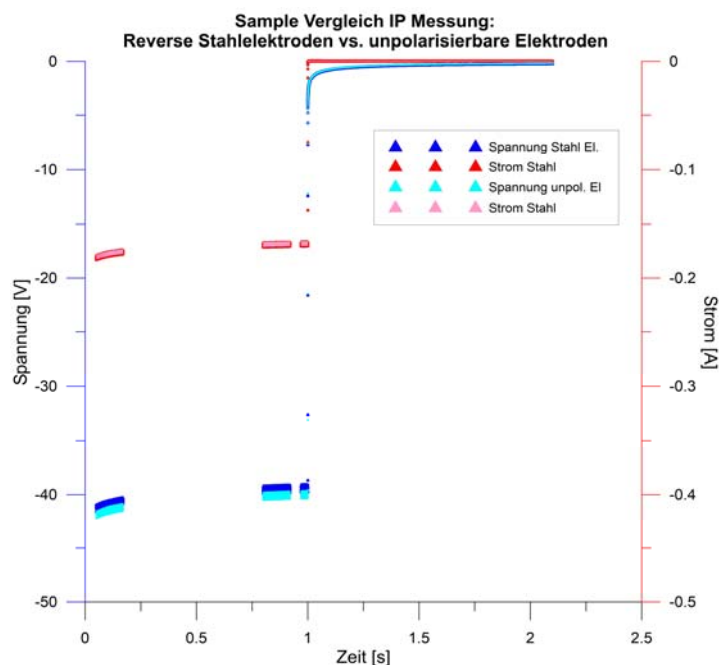


Abb. 44: Darstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für die IP-Messung eines ausgewählten Messpunktes jeweils bei Verwendung von Stahlpotenzialelektroden bzw. unpolarisierbaren Potenzialelektroden – Reverse Messung

Für die Bestimmung der Induzierten Polarisation sind hauptsächlich die gemessenen Spannungswerte nach der Stromabschaltung relevant. Hier zeigt sich ein nahezu identisches Abklingverhalten der Spannungswerte (siehe Abb. 45), unabhängig von der Wahl der Potzialelektroden. Im Gegensatz zur reinen Widerstandsmessung zeigt sich hier vor allem zu späteren Zeiten ein konstanter Offset der gemessenen Spannung in Richtung positiverer Werte für die unpolarisierbaren Elektroden. Dieser Offset könnte auf das Eigenpotenzial des Untergrundes zurückzuführen sein, dass bekanntlich bei der Verwendung von Stahlelektroden durch unterschiedliche geochemische Effekte an der Grenzschicht Stahl zum Boden leicht unterschiedliche Spannungswerte liefern kann. Weitere Vergleiche des Abklingverhaltens der Spannung an anderen Messpunkten haben ein ähnliches Bild ergeben (vernachlässigbarer Unterschied zwischen den Elektrodentypen), wodurch der Schluss zulässig ist, dass es unter den gegebenen Voraussetzungen für die Erfassung der induzierten Polarisation (zumindest an diesem Standort) keinen Unterschied macht, ob Stahlelektroden oder unpolarisierbare Elektroden für die Spannungsmessung verwendet werden.

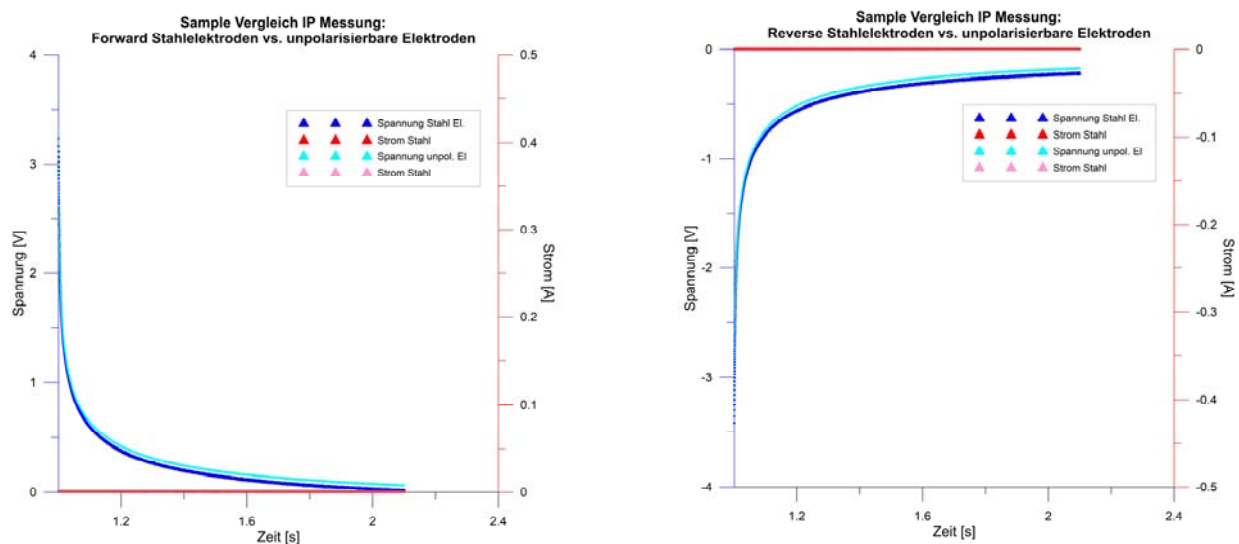


Abb. 45: Darstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für die IP-Messung eines ausgewählten Messpunktes jeweils bei Verwendung von Stahlpotzialelektroden bzw. unpolarisierbaren Potzialelektroden – Forward und Reverse Messung ab dem Zeitpunkt der Stromabschaltung

Zusätzlich zum Vergleich verschiedener Elektrodentypen wurden diverse Tests mit sehr langen Stromeinspeisungen durchgeführt. Das neue Messsystem bietet dafür alle Möglichkeiten, da sowohl die Dauer der Stromeinspeisung als auch die Zeitbereiche, an denen Spannungswerte an den Potzialelektroden aufgezeichnet werden, frei wählbar sind. Hierfür müssen nur die Einträge in einer Konfigurationsdatei entsprechend geändert werden. In Abb. 46 und 47 sind zwei ausgewählte Beispiele der umfangreichen Stromeinspeisetests dargestellt. Hier handelt es sich vom Prinzip her um eine Widerstandsmessung, da während der aktiven Stromeinspeisung die Spannung an den Potzialelektroden abgegriffen wird. Die Messeinstellungen wurden so definiert, dass über einen Zeitraum von 15 Sekunden Strom eingespeist und gleichzeitig (ohne Unterbrechung) die Spannung aufgezeichnet wurde. Aus beiden Abbildungen geht hervor, dass keine konstante Stromeinspeisung vorliegt. Das Messsystem verfügt über eine Konstantstromquelle, die je nach Bedarf die elektrische Spannung so regelt, dass ein möglichst konstanter Stromfluss gewährleistet wird. Dies kann aber natürlich nur dann erreicht werden,

wenn die maximale elektrische Einspeisespannung für den gewählten Einspeisestrom ausreicht. Ist dies nicht der Fall so legt das Messsystem die maximale Einspeisespannung an und die Stärke des Stromflusses passt sich daran. Genau dieser Fall tritt bei den Beispielen (sowohl Forward- als auch Reverse-Messung) in Abb. 46 und 47 ein. Zu sehen ist allerdings, dass der Einspeisestrom eine Art Aufladungseffekt zeigt. Dies entspricht in gewisser Weise dem Einfluss der Polarisierbarkeit des Untergrundes auf den Einspeisestrom. Die zeitliche Änderung des Einspeisestroms hat natürlich eine direkte Auswirkung auf die Höhe der gemessenen Spannung an den Potentialelektroden (je höher der Stromfluss desto höher die absolute elektr. Spannung zwischen zwei Potentialelektroden). Dies ist in den Abb. 46 und 47 (mit Ausnahme der Forward-Messung des Beispiels 2) auch klar sichtbar. Interessant ist nun die Berechnung des elektr. Widerstandes aus jedem einzelnen Strom-Spannungs-Paar – dies entspricht den schwarzen Kurven in Abb. 46 und 47. Klar zu sehen ist, dass sich die zeitlichen Änderungen des Einspeisestroms und der Spannung nicht perfekt kompensieren, d.h. es bleibt noch eine zeitliche Änderung des elektr. Widerstandes übrig – dies entspricht im Prinzip genau einem IP-Effekt des Untergrundes, der hier aber nicht bei der Stromabschaltung sondern bei der Stromeinschaltung aufgezeichnet wird. Erstaunlich erscheint, dass selbst nach der sehr langen Stromeinspeisung von 15 Sekunden noch eine gewisse Steigung bei allen schwarzen Kurven erkennbar ist. Allerdings zeigt die Detailbetrachtung der Forward-Messung von Beispiel 1 in Abb. 48, dass der überwiegende Teil des IP-Effektes nach 0.2 Sekunden abgeklungen ist und es danach nur mehr zu einer geringen Änderung des elektr. Widerstandes kommt (etwa 1%). Die Detailbetrachtung weiterer Messbeispiele (an diesem Standort) hat ähnliche Ergebnisse geliefert. Diese Beispiele zeigen, dass standardmäßige Widerstandsmessungen, die pro Messpunkt üblicherweise nicht mehr als 0.2 Sekunden dauern, mitunter zu einer Unterschätzung des elektrischen Widerstandes führen. Ist der Effekt der Induzierten Polarisation für alle gemessenen Messpunkte konstant (was in der Regel nicht zu erwarten ist), würde das lediglich einen Offset im erzielten Widerstandsbild des Untergrundes ergeben. Im Allgemeinen kann es also bei reinen Widerstandsmessungen (mit sehr kurzer Messdauer (unter 0.2 Sekunden)) zu gewissen Fehlern aufgrund des IP-Effektes kommen. Das alte GEOMON4D Messsystem hat diesen Einfluss durch eine spezielle Messabfolge minimiert. Dabei werden alle zu messenden Potentialdipole zu einem bestimmten Stromdipol hintereinander gemessen, wobei der Stromfluss die ganze Zeit aufrechterhalten wird. Die Forward- und Reverse Messung erfolgt hier nicht für jeden Messpunkt unmittelbar hintereinander. Dadurch werden im schlimmsten Fall die ersten beiden Messpunkte durch den IP-Effekt beeinflusst, der Rest befindet sich zeitlich in einem Bereich, indem kaum eine Änderung des elektr. Widerstandes mehr zu beobachten wäre.

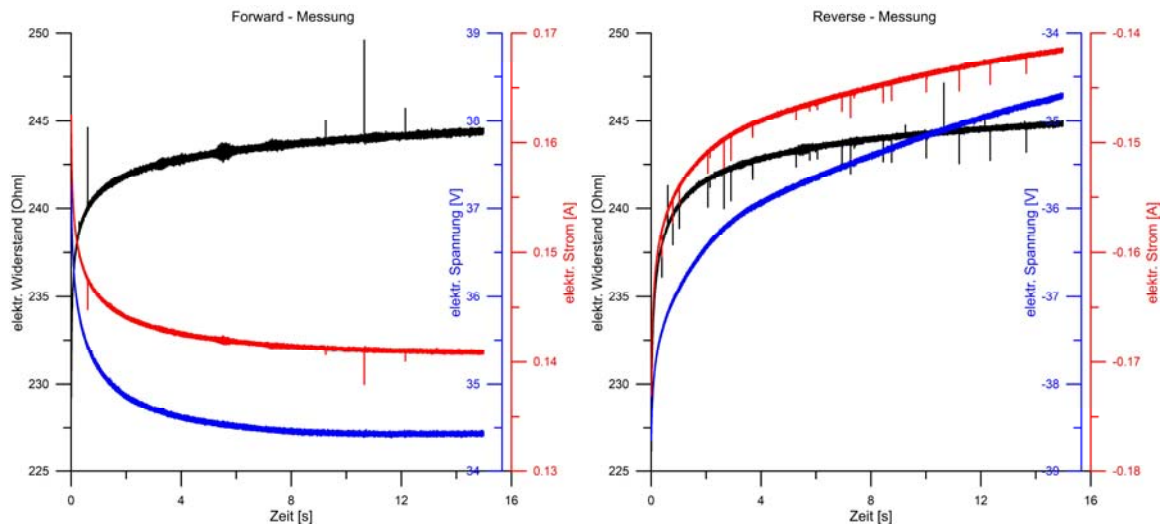


Abb. 46: Darstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für eine Widerstandsmessung eines ausgewählten Messpunktes mit einer Dauer von 15 Sekunden und dem daraus berechneten elektr. Widerstand (schwarze Kurve) – Forward Messung (links) und Reverse Messung (rechts)

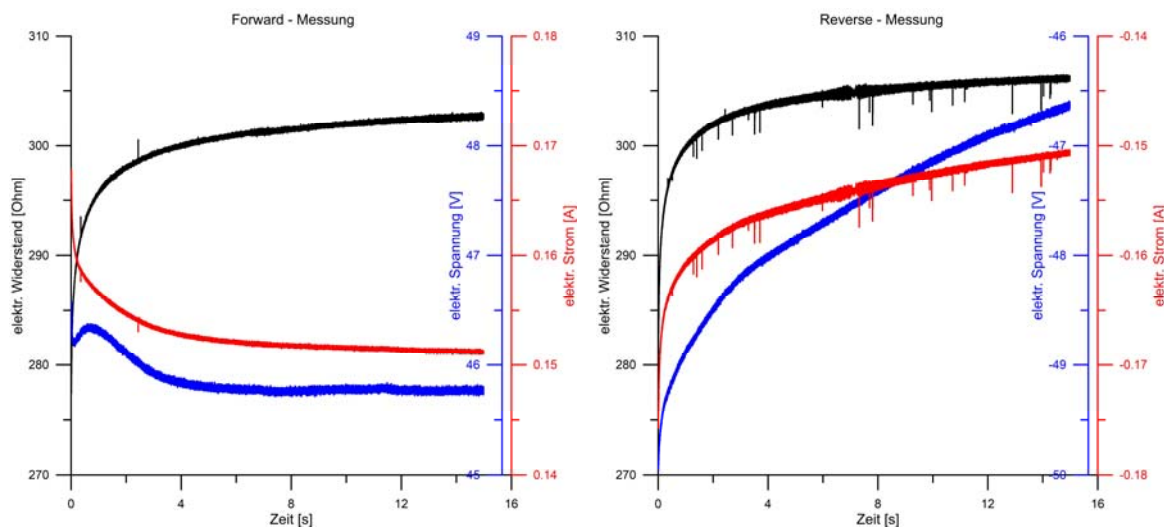


Abb. 47: Darstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für eine Widerstandsmessung eines ausgewählten Messpunktes mit einer Dauer von 15 Sekunden und dem daraus berechneten elektr. Widerstand (schwarze Kurve) – Forward Messung (links) und Reverse Messung (rechts)

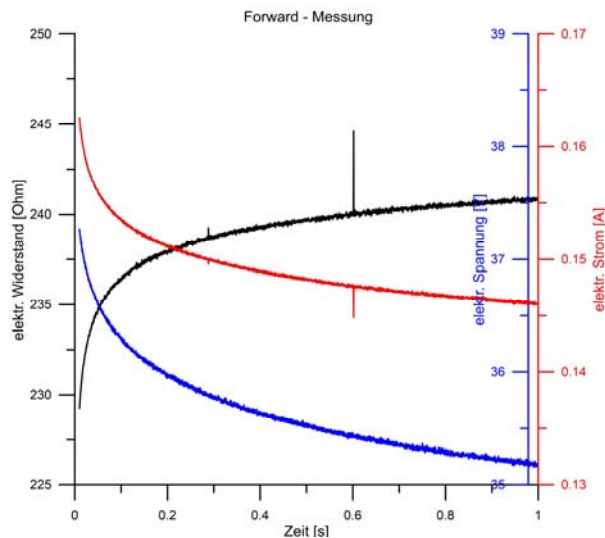


Abb. 48: Detaildarstellung aller gemessenen Strom-Spannungspaare für eine Widerstandsmessung des Messpunktes aus Abb. 45 für die Dauer von einer Sekunde und dem daraus berechneten elektr. Widerstand (schwarze Kurve) – Forward Messung

Durch die umfangreichen Möglichkeiten, die das neue Messsystem hinsichtlich spezieller Messeinstellungen bietet, hat sich anhand der oben angeführten Beispiele gezeigt, dass noch einige interessante Effekte des Untergrundes erkennbar werden, die bei einer standardmäßigen Messung im Verborgenen bleiben und mitunter einen störenden Einfluss auf das Messergebnis haben. Zu betonen ist, dass eigentlich erst die Eigenentwicklung des Messsystems, die Möglichkeit bietet sich mit solchen Effekten zu beschäftigen, da die meisten kommerziellen Systeme einerseits nicht die hohe Flexibilität bei den Messeinstellungen bieten und andererseits nur ein eingeschränkter Blick auf die Rohdaten möglich ist. Neben der Erkenntnis, dass für die IP-Messung die Verwendung von unpolarisierbaren Elektroden (am untersuchten Standort) kaum einen nennenswerten Vorteil bringt, sind die Effekte die bei langen Stromeinspeisungen beobachtet wurden von großem Interesse. Der hier klar belegte Einfluss des IP-Effektes auf die Bestimmung des elektrischen Widerstandes (Zeitspannen unter 0.2 Sekunden Stromeinspeisung) zeigt, dass vor allem bei stärkeren Polarisierungseffekten eine Änderung der Messabfolge für reine Widerstandsmessungen notwendig sein wird. Die Alternative dazu wäre eine extrem lange Messdauer, bei der zumindest eine Stromeinspeisung von 0.5 Sekunden pro Messpunkt (forward bzw. reverse) erforderlich wäre. Die Messung einer gesamten Tiefensektion (wie sie aktuell gemessen wird) würde auf diese Art zumindest 2 Stunden dauern. Um dies zu vermeiden wurden schon Gespräche mit der Fa. Liftoff geführt, um eine Umstellung der Messabfolge (ähnlich dem alten Messsystem) für Widerstandsmessungen zu ermöglichen – somit wäre der störende Einfluss der IP-Effekte bei Widerstandsmessungen minimiert ohne einer nennenswerten Erhöhung der Messdauer. Dieses Beispiel zeigt, dass die Entwicklung des GEOMON4D-IP mit Ende dieses Projektes keinesfalls komplett abgeschlossen ist, sondern sich im Zuge des standardmäßigen Feldeinsatzes und durch gezielte Testmessungen immer wieder Erkenntnisse ergeben werden, die zu gewissen Weiterentwicklungen bzw. Adaptierungen führen werden.

6. Weiterentwicklung IP SOFTWARE

PROJEKTZIELE:

- *Evaluierung der IP Messparameter für den zweckmäßigen Einsatz bei rohstoffrelevanten Fragestellungen.*
- *Definition und Bewertung von Qualitätsparametern aus den gemessenen Sampledaten im Preprocessing als Inputdaten für die Weiterverarbeitung in der Inversionsrechnung.*
- *Festlegung der Informationsinhalte der aus den Qualitätsparametern abgeleiteten IP-Messdaten für die Weiterverarbeitung in der Inversionsrechnung.*
- *Erweiterung des bereits in mehrjähriger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Jung-Ho Kim vom Koreanischen Geologischen Dienst (KIGAM) entwickelten Inversionssoftwarepaketes "Proc_Geomon4D_21C" für die Inversion von IP Daten.*

Die für die Datenqualität ermittelten Parameter sollen dann in Folge automatisch in den Inversionsprozess miteinfließen, wodurch die Auflösung von IP-Images erhöht und durch die Inversion bedingte Artefakte vermindert werden sollen.

Die Auswertesoftware für IP Daten, die im Rahmen der Kooperation mit dem KIGAM entwickelt wurde und wird, besteht im Grunde aus zwei Modulen. Das eine Modul stellt den Inversionsalgorithmus („SIP_Time_2DInv7“) dar und liefert anhand der mit dem zweiten Modul („ip_data_process“) aufbereiteten Rohdaten ein Modell des spez. elektr. Widerstandes und der Aufladbarkeit des Untergrundes (IP Effekt). Neben einer Vielzahl an Möglichkeiten den Dateninversionsprozess anhand von Einstellungen zu steuern, ist die Besonderheit dieses Algorithmus, dass beim Inversionsprozess die IP Daten aus unterschiedlichen Zeitfenstern nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, sondern (wie es auch physikalisch sinnvoll ist) in Bezug zueinander gesetzt werden. Zudem wurde in einer aktuellen Weiterentwicklung das Definieren spezieller Randbedingungen ermöglicht (z.B. Ähnlichkeit der Widerstands- und Aufladbarkeitsstrukturen, die zumeist gegeben sind). Weiterführende Informationen zum Inversionsalgorithmus sind dem im Anhang beigefügten Tätigkeitsbericht des Kooperationspartners (KIGAM) zu entnehmen.

Für die Datenaufbereitung wurde in der Programmiersprache „Python“ ein neues Programm mit entsprechender Benutzeroberfläche entworfen. Die Ausgangslage stellen die vom Messsystem GEOMON4D-IP kommenden Rohdaten, die vorab mit einer Konvertierungssoftware in ein entsprechendes ASCII Format umgewandelt werden, dar. Hier ist angedacht in einem finalen Schritt direkt mit dem binären Rohdatenformat zu arbeiten. Dieser Schritt wird allerdings erst nach der endgültigen Fertigstellung (keine weiteren auf der Erfahrung durch Feldeinsätze basierenden Adaptierungen) des GEOMON4D-IP Messsystems erfolgen und wird zu einer entsprechenden Beschleunigung der Datenverarbeitung führen. Die Möglichkeiten der Datenverarbeitung werden durch diesen Schritt allerdings nicht erweitert, d.h. die aktuelle Verarbeitung im ASCII Format stellt hier keinen Nachteil dar. In Abb. 49 ist die Benutzeroberfläche der „ip_data_process“ Software, wie

sie der Benutzer nach dem Programmstart vorfindet, dargestellt. Über den Button „Select Files“ werden die entsprechend konvertierten Sample Daten einer IP Messung ausgewählt und in das Programm geladen.

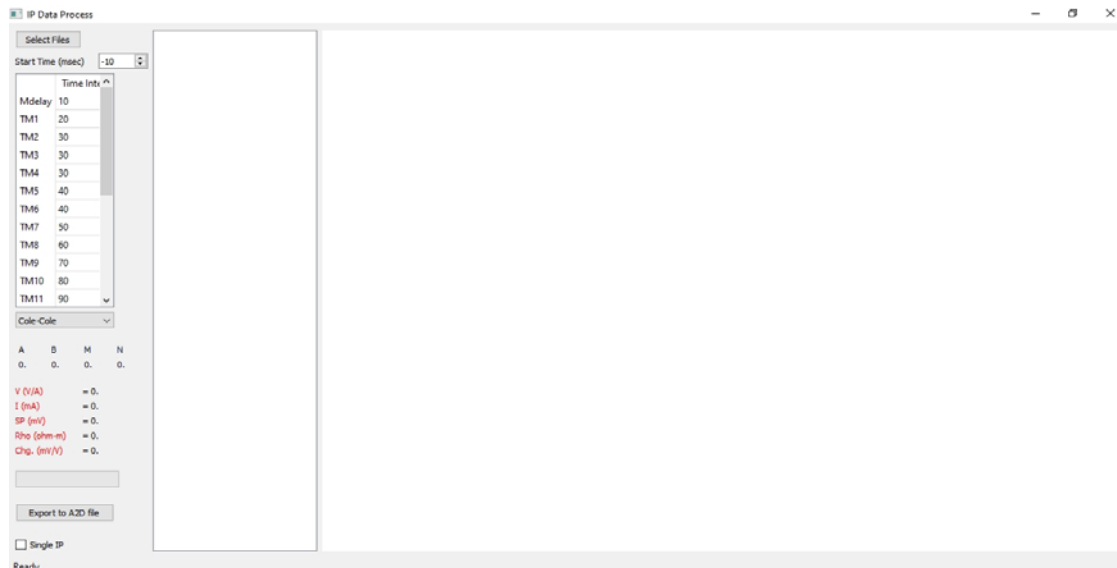


Abb. 49: Screenshot der Benutzeroberfläche des „ip_data_process“ Programms nach Aufruf

Abb. 50 zeigt die Benutzeroberfläche mit bereits geladenen Sample Dateien. Die beiden Plots auf der rechten Seite zeigen die Strom- Spannungspare der Forward und Reverse Messung (oben) und im unteren Plot den daraus berechneten Widerstand (grüne Kurve) und eine Spline Interpolation angepasst an die definierten Zeitfenster (blaue Kurve mit Punkten (die Punkte stellen jeweils den Mittelpunkt eines Zeitfensters dar)). Um die IP-Abklingkurve genauer betrachten zu können muss unter „Select Time [msec]“ ein entsprechender Wert eingetragen werden, sodass nur der Abklingvorgang dargestellt wird (die Skalierung der y-Achse erfolgt automatisch). Dies wird als Beispiel in Abb. 51 dargestellt.

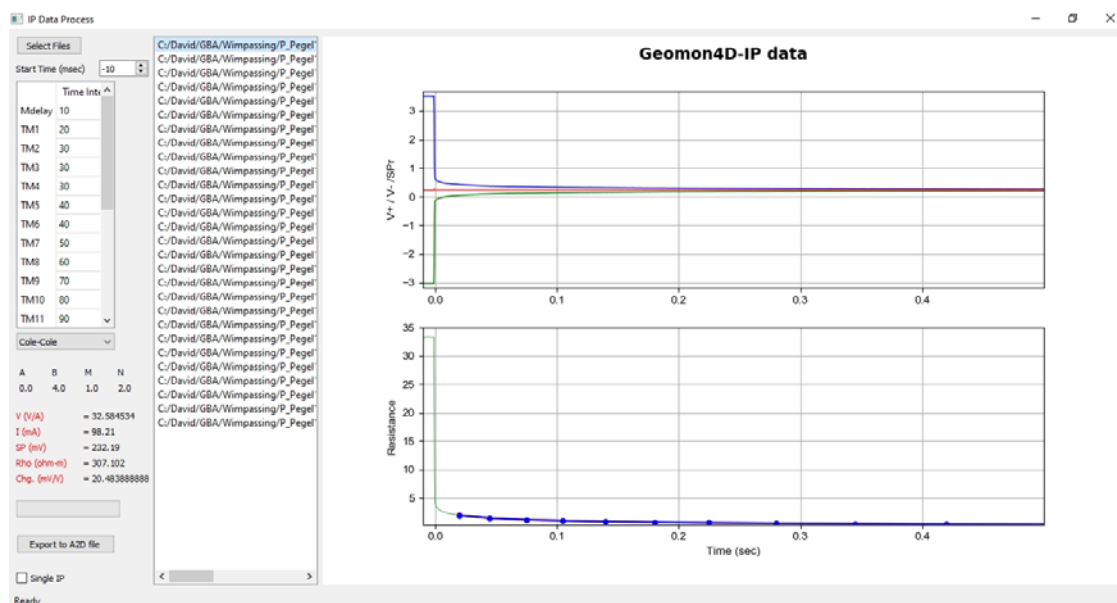


Abb. 50: Screenshot der Benutzeroberfläche des „ip_data_process“ Programms nach dem Reinladen von Sample Dateien

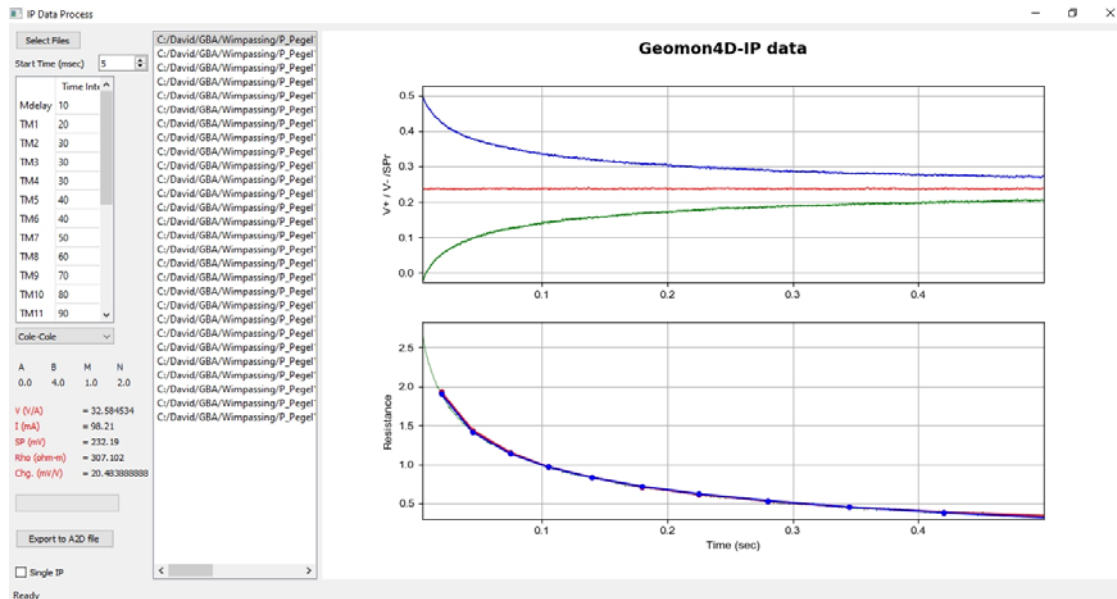


Abb. 51: Screenshot der Benutzeroberfläche des „ip_data_process“ Programms nach dem Anpassen des Darstellungsbereichs auf den Abklingvorgang

Den wesentlichen Punkt beim Datenprozessing stellt die Definition der Anzahl und der jeweiligen Dauer der einzelnen Zeitfenster dar. Diese Definition muss für jeden Datensatz, je nach Datenqualität und Form der IP-Abklingkurven, individuell gewählt werden. Neben ein paar grundlegenden Empfehlungen (und vordefinierten Varianten) basiert diese Definition auch auf den Erfahrungswerten des Anwenders – entscheidend ist hierbei die Balance zwischen möglichst viel Informationsgehalt bei akzeptablem Signal-Rausch Verhältnis der definierten Zeitfenster über die IP-Abklingkurve zu finden. Die vordefinierten Varianten für die Zeitfensterverteilung sind im aktivierten Pulldown-Menü in Abb. 52 dargestellt. Nach Auswahl der vordefinierten Variante steht es dem Benutzer auch offen, einzelne Zeitfenster noch individuell in der darüberliegenden Tabelle anzupassen. So kann ein auf den Datensatz optimierte Einstellung erfolgen.

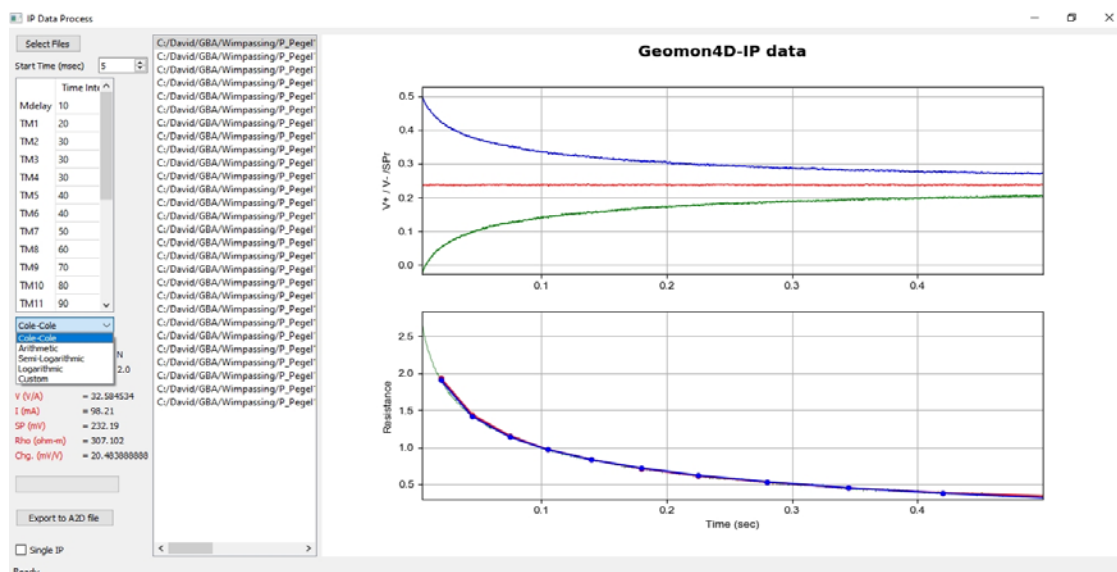


Abb. 52: Screenshot der Benutzeroberfläche des „ip_data_process“ Programms mit offenem Pulldown-Menü für die Auswahl vordefinierter Zeitfenster

Das Beispiel in Abb. 52 zeigt eine Abklingkurve mit sehr geringem Rauschpegel, wodurch es keine besondere Herausforderung ist, die Zeitfenster für die Bestimmung der jeweiligen Aufladbarkeit zu wählen. Anders hingegen zeigt sich die Situation im Beispiel von Abb. 53. Hier kann es durchaus entscheidend sein welche Wahl bei der Definition der Zeitfenster getroffen wird. Generell muss berücksichtigt werden, dass für den gesamten Datensatz einer Tiefensektion eine Zeitfensterdefinition zu wählen ist und diese nicht von Messpunkt zu Messpunkt verändert werden kann (da ansonsten die Werte der Aufladbarkeit für die jeweiligen Fenster innerhalb eines Datensatzes nicht vergleichbar wären). Daher ist es bei der Auswahl der Zeitfenster sinnvoll sich die Datenpunkte mit dem schlechtesten Signal-Rauschverhältnis anzusehen. Sofern diese Messpunkte nicht komplett aus dem Datensatz entfernt werden, sollte die Definition der Zeitfenster an diese „schlechten“ Messpunkte erfolgen. Neben der Länge der einzelnen Zeitfenster muss auch bestimmt werden, bis zu welchem Zeitpunkt die Abklingkurve betrachtet werden soll bzw. entsprechende Daten für die Inversion berücksichtigt werden sollen. In Abb. 53 ist z.B. klar zu sehen, dass der IP-Abklingvorgang nach einer Zeit von 0.4 Sekunden größtenteils im Rauschen untergeht und somit bei der Berechnung der Aufladbarkeit für spätere Zeitfenster das Rauschen einen erheblichen Einfluss ausübt. Dieser Einfluss des Rauschens soll mit einer optimalen Auswahl der Zeitfenster minimiert werden, um den Fehler in den Eingangsdaten für die Inversion möglichst gering zu halten. Der Datenexport für die Inversionssoftware erfolgt über den Button „Export to A2D file“ (siehe Abb. 49-53). Hier kann zusätzlich noch mittels Aktivierung des Feldes „Single IP“ ein Datensatz exportiert werden, der lediglich die integrale Aufladbarkeit über den gesamten Abklingvorgang (zeitliche Limitierung angepasst an die Wahl der Zeitfenster) beinhaltet.

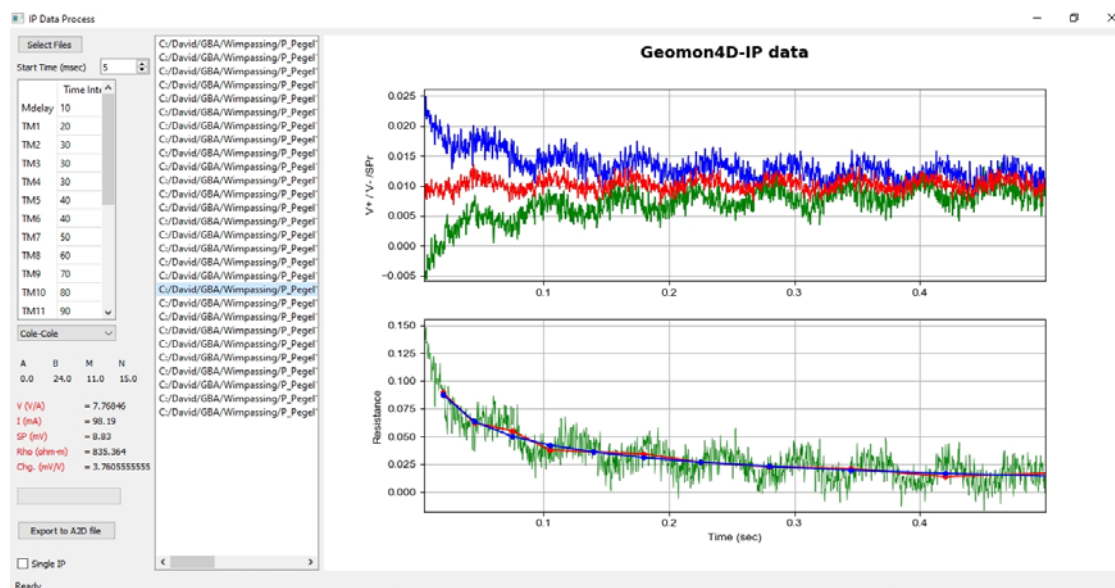


Abb. 53: Screenshot der Benutzeroberfläche des „ip_data_process“ Programms – dargestellt wird ein Messpunkt mit relativ hohem Rauschpegel

Die so aus den IP-Abklingkurven extrahierten Daten können in dieser Form direkt im oben angeführten Inversionsalgorithmus verwendet werden und liefern die Aufladbarkeit des Untergrundes zu verschiedenen Zeitfenstern, was einen zusätzlichen Informationsgehalt darstellt. Um zu einem schnellen Ergebnis (vor allem zur Datenqualitätskontrolle im Feld) zu kommen, wird diese Unterteilung auf mehrere Zeitfenster durch die Definition einer integralen Aufladbarkeit

(entsprechende Aufsummierung und Normierung der Aufladbarkeit der einzelnen Zeitfenster) ersetzt. Diese Option wurde in der neuesten Version der „ip_data_process“ Software implementiert, sodass eine schnelle Dateninversion mit einer kommerziellen Inversionssoftware (z.B. Res2DINV) möglich ist. Eine standardmäßige Filterung der Daten (Ausreißer, fehlerhafte Elektroden, etc.) erfolgt vor dem Inversionsprozess. In diesem Bereich besteht vor allem für die Filterung der Daten anhand der IP-Abklingkurven noch Entwicklungspotenzial, das allerdings erst richtig ausgeschöpft werden kann, wenn eine möglichst große und zuverlässige GEOMON4D-IP Datenbasis besteht. Grundlegende Ansätze zu diesem Punkt bestehen bereits und werden in naher Zukunft umgesetzt werden. Diese Ansätze werden zum Großteil an die für die reinen Widerstandsdaten bereits existierenden Filtermöglichkeiten angedockt. Die Filteroptionen, die auf statistischen Parametern der Sample Analyse (nur elektr. Widerstand) beruhen (Beispiele dazu siehe, Römer et. al, 2019, Endbericht UELG-75) werden natürlich auch auf IP-Datensätze angewandt. Es ist nämlich davon auszugehen, dass ein in der reinen Widerstandsmessung offensichtlich fehlerhafter Datenpunkt in den allermeisten Fällen auch in Bezug auf die IP-Abklingkurve fehlerhaft ist. Somit werden beim ersten Schritt der Datenfilterung die bereits vorhandenen Software Tools verwendet – hier ist lediglich eine entsprechende Datenformatanpassung notwendig. In einem zweiten Schritt werden dann zusätzliche Filteroptionen, die rein nur auf die Bewertung der IP-Abklingkurven abzielen, angewendet werden. Wie bereits gesagt, sollte für die Entwicklung dieser Filteroptionen eine umfangreiche IP-Datenbasis verfügbar sein, was zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht der Fall ist.

7. GEOMON4D-IP Data Sheet

GeoMon4D-IP

V 1.0

08/2020

Eigenschaften

- 4 Potentialeingänge
- Simultane Messung des tatsächlichen Speisestroms
- Simultane Messung der angelegten Spannung
- Der Messablauf kann frei konfiguriert werden (Datei *.cfg)
- Die zu messenden Kombinationen können frei konfiguriert werden (Datei *.cmd)
- Aufzeichnung aller erfassten ADC-Werte
- Log-Datei

Potentialbereich	+ -80V	+ -8V	+ -2V
Eingangswiderstand [M Ω m]	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%

Strombereich	+ -800mA	+ -40mA	+ -2mA
Auflösung [μ A]	5	0.2	0.01
Grenzfrequenz [kHz]	8	8	8
Abfallzeit [μ s] max.	200	200	200
Toleranz	< 1%	< 1%	< 2%

Spannungsbereich	+ -480V
Auflösung [mV]	5
Grenzfrequenz [kHz]	8
Abfallzeit [μ s] max.	200
Toleranz	< 1%

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

8. Literatur

KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., & LANGE, G. (Hrsg.), 2005. Geophysik Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Springer Verlag, Berlin, Band 3, 1102 S.

RÖMER, A., KATONA, T., OTTOWITZ, D., BENOLD, C., SCHEDL, A., FLORES-OROZCO, A., 2020: Einsatz moderner geophysikalischer Untersuchungsmethoden in der Exploration von Grafitlagerstätten an ausgewählten Lagerstättenbeispielen der Bunten Serie (NÖ), unveröffentl. Endbericht MRI-Projekt Explograf, GBA, Wien

RÖMER, A., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., BIEBER, G., PFEILER, S., SLAPANSKY, P., HEIDOVITSCH, M., 2020: Validierung des Einsatzes geoelektrischer Verfahren für die Untersuchung des tieferen Untergrundes bis 350 m, unveröffentl. Endbericht VLG.-ProjektÜLG75, GBA, Wien

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., AND SHERIFF, R. E., 1990. Applied geophysics, 2nd edn., Cambridge University Press, Cambridge.

9. Bericht KIGAM IP Softwareentwicklung (Myeong-Jong Yi)

Finalization of the IP-Inversion Software

For the development of Induced Polarization technology in GBA, I focused on two parts.

- 1) Development of data handling software for Geomon4D-IP system : IP field data extraction, filtering and transition for DC2DPro program
- 2) Enhancement of IP inversion software : Inversion of Time domain Spectral Induced Polarization data with structural similarity constraints

The first part is focused on the first quality control of the Geomon4D-IP data and the second part is to enhance the inversion software for the IP data from Geomon4D-IP, which will provide the essential tools in the development of the 5D imaging technology (Spectral IP Monitoring), which is the ultimate goal of the whole developments in GBA.

1. Development of IP data handling software for Geomon4D-IP system.

Data handling software “IP_Data_Process” has been developed to extract resistivity and induced polarization data from the field measurements by Geomon4D-IP system. The software was developed using Python and executable was made using PyInstaller so that user can freely use the software without additional components.

Fig. 1 shows the first screen shot of the software and it’s GUI is developed using PyQt5 in the Python 3.7. “Select Files” button provides to read in the Geomon4D-IP data (currently ascii type data file is supported) and Fig. 2 shows the image just after the import of Geomon4D-IP data. In the middle of the screen, list of the data files (each file represents one IP data set for given electrode positions (i.e., A, B, M, N location).

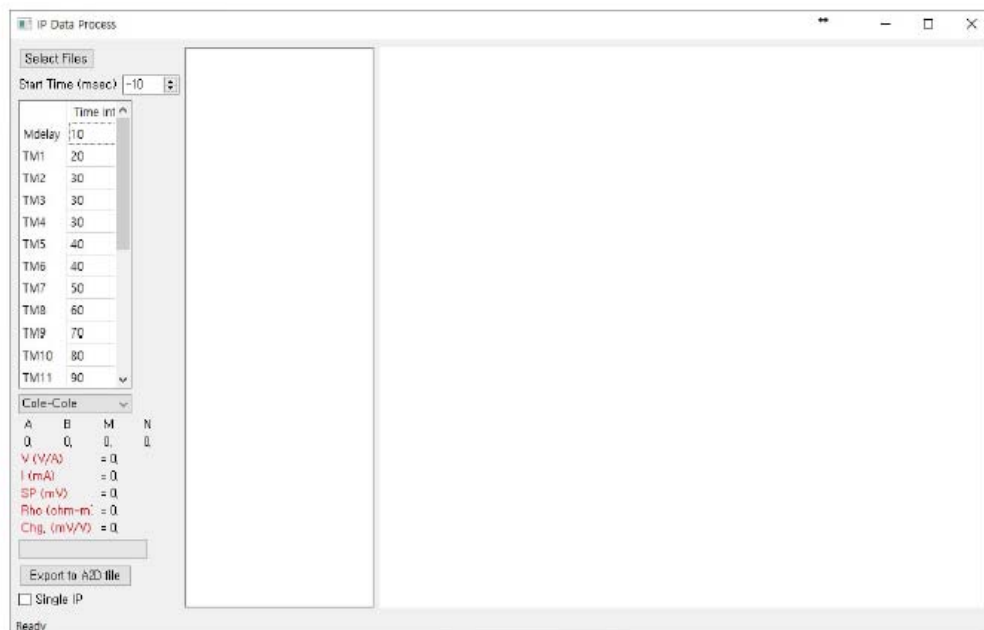


Figure 1 First screen shot of the IP_Data_Process program.

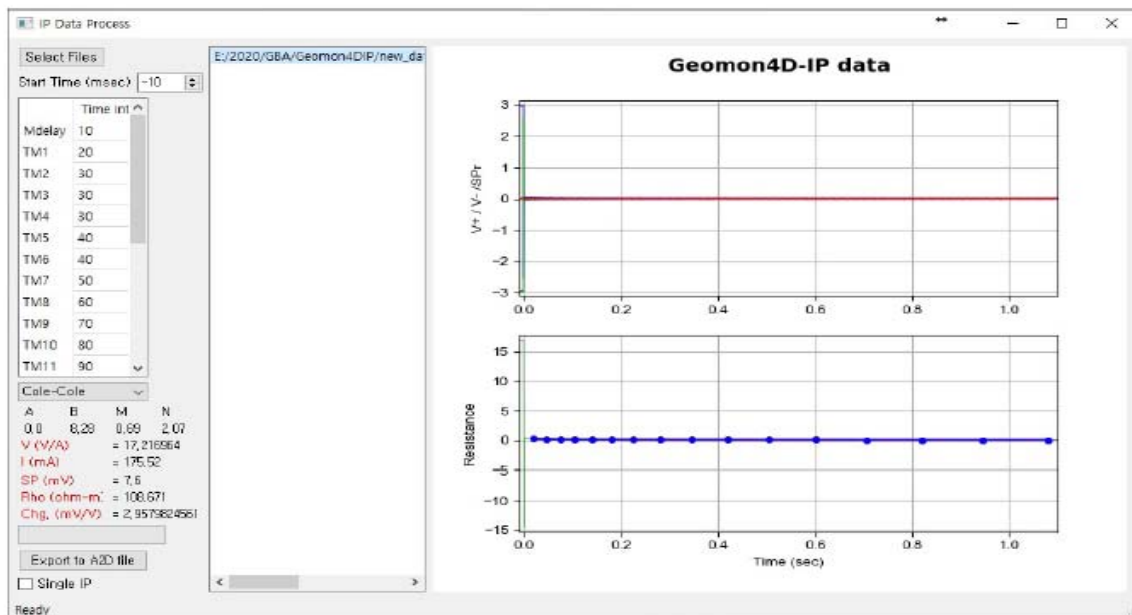


Figure 2 Screen shot after the import of Geomon4D-IP data.

“Start Time (msec)” is the start time of the IP data plot in the right. Since Data is plotted based on the minimum and maximum from start time to the end of measurement time, the Plot range can be changed by changing this value. In the figure, initial start time is -10 msec and this means data during the current On time is plotted which is used for the resistivity data calculation. The potential or resistance (V/A) is calculated based on the data before the current shut off time and its value is given on the left bottom with red color. In this region, injected current, SP and apparent resistivity is given using the electrode coordinates (A, B, M, N values). The global chargeability is also given.

Figure 3 shows the plot when the start time is set to 0, which means potential data after the current shut-off (i.e. IP decay) will be plotted. We can see clear IP data for the positive (blue color) and negative (green color) current injections. Also SP data are plotted with red color. Using this raw data curve, IP data curve is generated in the right bottom. We can observe strong noise components which seem to be 60Hz powerline noise. Most common way to extract the spectral IP curve is to calculate the average values for predefined window. In this work, IP data curve was generated by curve fitting using the polynomial regression in the scikit-learn module, which is a machine learning package in the Python environment.

The data points are the center of the predefined IP windows and the window size is defined as shown in Fig 4. The parameters in this figure follow the convention of the IRIS SyscalPro system. Mdelay is the time interval to ignore the very strong oscillation just after the current shut-off. TM1~TM20 is the size of the IP windows. These windows can be user supplied or selected by the listbox. In the listbox, Cole-cole, arithmetic, semi-logarithmic, logarithmic, custom windows are given.

User can examine IP data curves, by adjusting Mdelay values to avoid erroneous data. By selecting each data points, whole data set can be examined and user can set Mdelay value that will not give erroneous data for IP curve.

Once whole data evaluation is finished, user can make A2D file for the SIP data inversion. When user

wants to utilize the single global chargeability only, single IP should be checked.

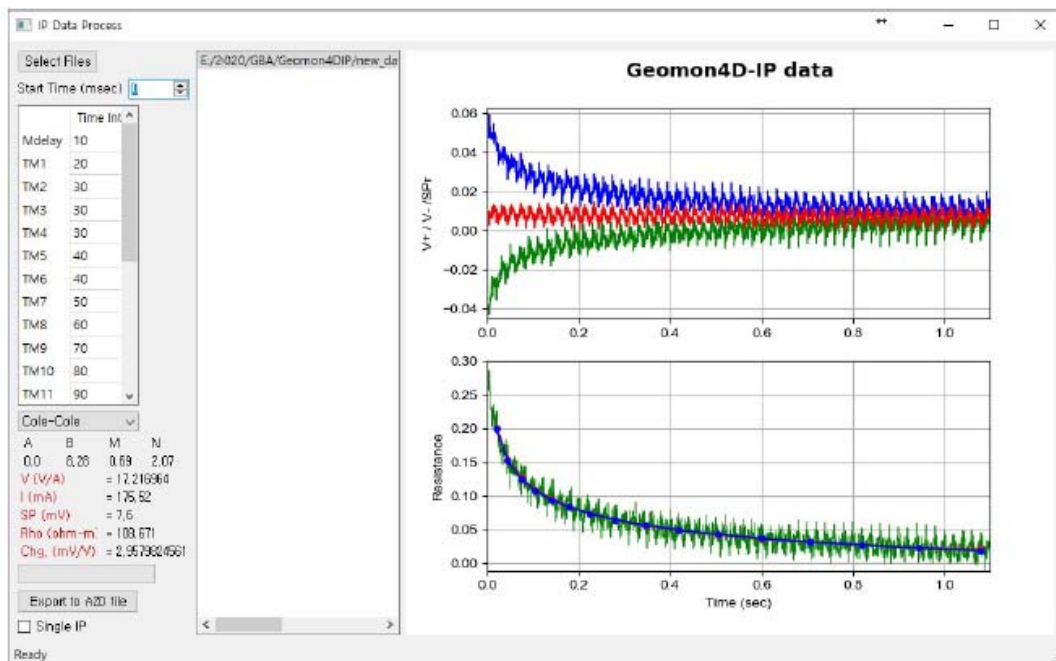


Figure 3 Screen shot showing the IP curves after Start Time = 0.

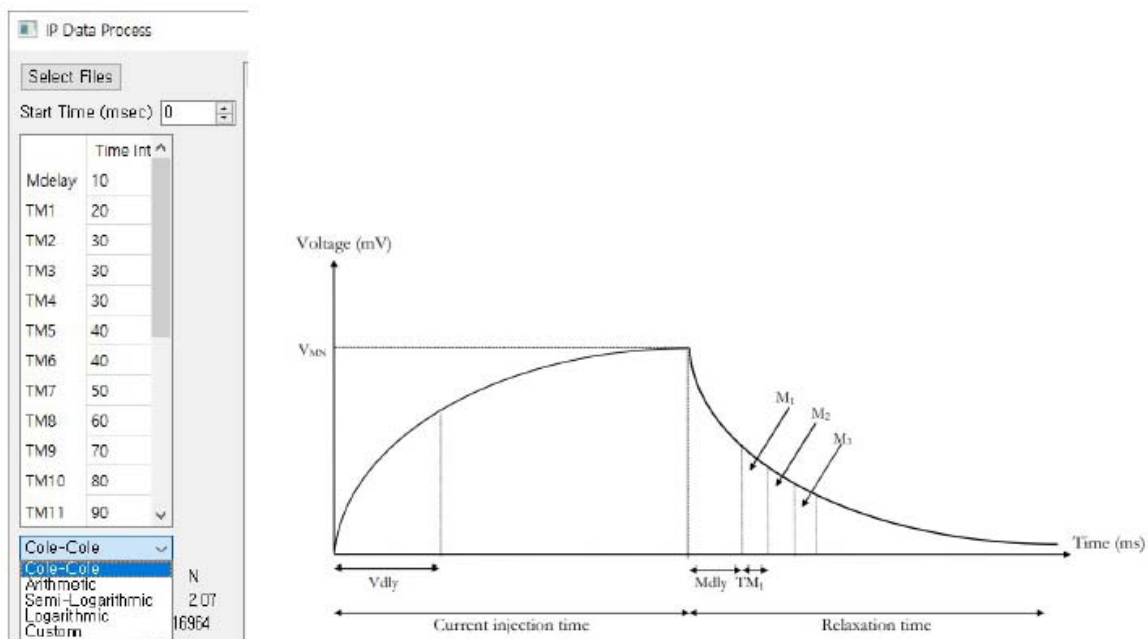


Figure 4 Setup of IP windows for the data extraction.

2. Inversion of SIP data with structural similarity constraints

Induced polarization (IP) method has been routinely used for mineral exploration and its application area has been expanding to cover hydrogeology, environmental and engineering fields. This widening of the application areas has greatly owed to the development of spectral IP (SIP) techniques not only in frequency domain but also in time domain. The characteristic curves of SIP parameters fully describe the responses of soil and rock to electric excitation, which is function of mineral and rock type and is related to microstructures such as interface geometry of pore space, interfacial surface area, and so on. This implies that the inversion and interpretation of SIP data need to be addressed such that we can fully utilize these distinct features and advantages of SIP method.

Several inversion algorithms of the multi-channel time-domain IP data have been proposed over past two decades. Nearly all of them processed the SIP data in an independent manner, where IP data for each time-channel is separately inverted. In these approaches, inverted chargeability curves are irregular and do not follow the basic natures of the chargeability curves. To overcome this, Yi et al. (2012) proposed an approach of simultaneously inverting multi-channel time-domain SIP data, where time-channel axis is regarded as a new dimension and regularization is applied along this new dimension, which is basically a very similar concept of the four-dimensional (4-D) inversion method proposed by Kim et al. (2013). By using this approach, physically meaningful model chargeability curve can be obtained to make best use of the SIP data.

In this work, as an extension to previous research proposed by Yi et al. (2012), we propose to introduce the structural similarity between resistivity and chargeability distribution in the chargeability inversion so as to obtain more interpretable chargeability image. For this purpose we adopt and test the cross-gradient constraints (Gallardo and Meju, 2004) since correlation or similarity between chargeability and resistivity is not guaranteed.

To test developed inversion software, four models having the same structure (Figure 5) but different electric properties (Table 1) are postulated. In the models, two isolated bodies of Anomaly 1 and 2 are chargeable, while Anomaly 2 is transparent in resistivity (same as the background). To examine the influence of a surface layer on chargeability imaging, the left half is modelled to be overlain by a surface layer and the right part is not. Mdl_R and Mdl_C are to compare the cases that a chargeable body (Anomaly 1) is conductive and resistive. Two models, Mdl_C1 and Mdl_C2, have different resistivity contrasts, addressing the conductivity of the surface layer; C1 is a conductive surface and C2 resistive one. Similarly, influence of chargeable overburden is studied by using of the two models of Mdl_R1 and Mdl_R2. Noting that electrode array greatly influences characteristics of the reconstructed images, five electrode arrays are tested: dipole-dipole (DPDP), pole-dipole (pDP), pole-pole (PP), Gradient (GD), Gradient array of GBA (GD-GBA).

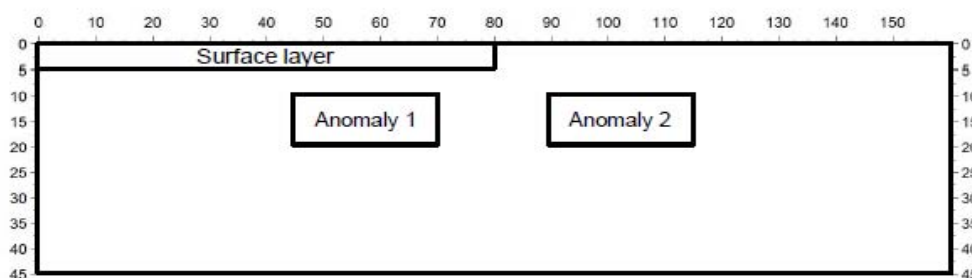


Figure 5 Structure of the tested subsurface models

	Background	Surface layer	Anomaly 1	Anomaly 2
Mdl_R1	50 ohm-m	10 ohm-m	500 ohm-m, 200 mV/V	100 mV/V
Mdl_R2	50 ohm-m	10 ohm-m, 30 mV/V	500 ohm-m, 200 mV/V	100 mV/V
Mdl_C1	500 ohm-m	100 ohm-m	10 ohm-m, 200 mV/V	100 mV/V
Mdl_C2	100 ohm-m	500 ohm-m	10 ohm-m, 200 mV/V	100 mV/V

Table 1 Material properties of four kinds of subsurface models shown in Figure 5. Cells with out chargeability mean zero chargeability, and those without resistivity have the resistivity of the background.

As a first step, synthetic IP data were generated adopting different electrodes arrays for four models and data were inverted by applying inequality constraint and normal regularization in space without cross-gradient constraint. As shown in Figure 6, the reconstructed chargeability images are very much dependent on the adopted arrays. In general, the dipole-dipole array shows the best performance regardless of the tested subsurface models, while the pole-pole array results in the lowest resolution. Much more important feature is that the inverted chargeability values of the Anomaly 1 are changing according to the electric property distributions even though the true values are same (200 mV/V) throughout the all tested models. Furthermore, their locations are also changing with the models. When the overburden is chargeable (MDL_R2), the chargeability of the uppermost layer is relatively accurately calculated but for the Anomaly 1, the inverted value is significantly lower than the true value. In addition to this, their locations are shifted upwards, close to the chargeable overburden. In case of conductive overburden and conductive anomaly models (MDL_C1), the calculated values of chargeability are much larger than the resistive anomaly models (MDL_R1 and 2). However, the shapes of anomaly are distorted and their locations are shifted deeper than the true locations. When the surface layer is conductive and the anomaly is also conductive (MDL_C2), the chargeability anomalies are imaged most clearly among the tested models. On the other hand, for the Anomaly 2, the inverted chargeability values are similar and its locations are close to the ground truth, even though they are dependent on the adopted array. Difference between the situations of the two anomalies is merely presence of overburden. This implies that the presence of the overburden as well as its electric property affect the inverted images of chargeability.

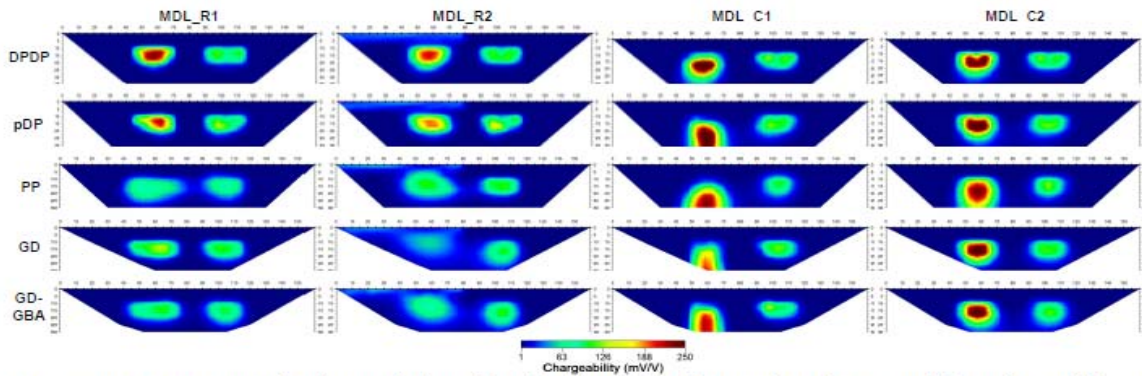


Figure 6 Reconstructed chargeability distributions for four subsurface models when different electrode arrays are adopted. Data were inverted by applying inequality constraint and normal regularization in space without cross-gradient constraint.

Since the chargeability anomaly 1 under the chargeable (MDL_R2) or conductive (MDL_C1) surface layer is imaged shifted downwards or upwards in Figure 6, these two models are good to examine how the cross-gradient constraints affect the inverted images. Figure 7 compares the inverted images with and without the minimal cross-gradient constraint. In the figure, the true locations of the Anomaly are denoted by white-line rectangle. The left two columns correspond to the chargeable overburden model (MDL_R2), while right two columns shows the case of conductive overburden (MDL_C1) model. To each model, the first and second columns are inversion results without and with

the cross-gradient constraint, respectively. We can recognize that the misplaced positions of the Anomaly 1 are not completely but in some extents corrected to move closer to the true depths by applying the minimal cross-gradient constraints between resistivity and chargeability models. Another noticeable change is that the isolated chargeable body is more focused. This is another effect of the cross-gradient constraint; imaged patterns of the corresponding resistivity anomaly (not shown here) somehow influence the chargeability inversion. It is also noteworthy that the Anomaly 2 is little influenced by the constraint. Summarizing the other two models not illustrated here, application of the cross-gradient array generally enhances the imaging capability of chargeability inversion.

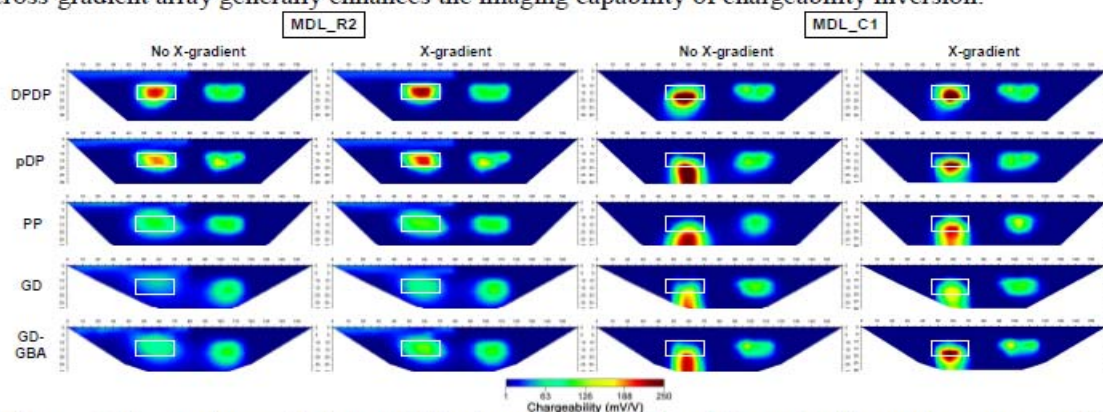


Figure 7 Comparison of chargeability inversion results with and without the cross-gradient constraint for the model MDL_R2 and MDL_C1.

In conclusion, by imposing the structural similarity in the chargeability inversion, we could obtain more reliable subsurface chargeability distributions. Imposing similarity between chargeability and resistivity distribution has an advantage in that we can resort to resistivity distribution which is more stable and robust in general since IP data suffers from strong noise due to low signal level compared to resistivity data.

References

- Gallardo, L.A., and Meju, M.A. 2004, Joint two-dimensional DC resistivity and seismic travel time inversion with cross-gradients constraints, *Journal of Geophysical Research*, 109, B03311.
- Kim, J.-H., Supper, R., Tsourlos, P., and Yi, M.J. 2013. Four-dimensional inversion of resistivity monitoring data through L_p norm minimizations. *Geophysical Journal International* 195, 1640-1656
- Yi, M.-J., Kim, J.-H., and Son, S.J. 2012. Simultaneous Inversion of Time-domain SIP data. *Proceedings of Near Surface Geoscience 2012*, B34.
- Yi, M.-J., Kim, J.-H., and Chung, S.-H. 2003, Enhancing the resolving power of least-squares inversion with active constraint balancing. *Geophysics*, 68, 931-941.