

Projekt ÜLG76/2017

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

Jahresbericht 2017/2018

von

RÖMER, A., JOCHUM, B., OTTOWITZ, D., HEIDOVITSCH, M. &  
KREUZER G. (Fa. LIFTOFF)

16 S., 13 Abb.

Wien, Oktober 2018

PROJEKTLEITUNG: MAG. A. RÖMER

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER:

MAG. D. OTTOWITZ	GEOPHYSIK
MAG. B. JOCHUM	GEOPHYSIK
M. HEIDOVITSCH	TECHNIKER
DI G. KREUZER (FA. LIFTOFF)	ELEKTROTECHNIKER

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.

## **INHALTSVERZEICHNIS**

1	Zusammenfassung .....	1
2	Ausgangslage.....	2
	2.1 Einleitung und Aufgabenstellung .....	2
	2.2 Gerätestatus Juli 2017 .....	3
3	Hardware- und Softwareentwicklung.....	3
	3.1 Hardware - Konverter .....	4
	3.2. Software.....	6
4	Testmessungen und erste Ergebnisse .....	9
5	Ausblick .....	16

## 1 Zusammenfassung

Im Projektjahr 07 2017 – 06 2018 wurden erste Vergleichsmessungen am Tulbinger Kogel bei der Fa. Liftoff mit dem neu zu entwickelnden Geomon4D-IP und dem bereits bestehenden Geomon4D durchgeführt. Generell wurden mit dem neuen Gerät deutlich geringere Fehlerwerte bei der Inversion erreicht, was auf das geringere Rauschen und die gleichzeitige Messung von Strom und Spannung zurückzuführen ist. Da die Aufladbarkeit an dieser Lokation eher gering ist, sind diese Messungen hauptsächlich als Gerätetests zu verstehen. Deswegen und aufgrund von umfangreichen Vorinformationen wurden weitere Testmessungen im Bereich einer ehemaligen Graphitlagerstätte bzw. einer Graphithalde in Amstall (Spitz an der Donau) durchgeführt. Die ersten Messungen zeigten einige Problembereiche auf (z.B. negative Chargeabilitäten, Strom nach Abschalten nicht gleich bei 0 mA), die einige gerätetechnische Adaptierungen nötig machten. So wurde nach gründlichen Überlegungen festgestellt, dass nach dem Abschalten die entsprechenden Transistoren im Gerät für die Gegenrichtung eine gewisse Stromdurchlässigkeit haben und somit dieser „Stromrückfluss“ über das Gerät zustande kommt. Da dieser Stromrückfluss unmittelbaren Einfluss auf den IP-Effekt des Untergrundes und auf die gemessene Spannung hat, wurde nach einer technischen Möglichkeit gesucht dies zu unterbinden. Dies wurde mit einer adaptierten Messabfolge und dem Einbau zusätzlicher Dioden bewerkstelligt. Damit wurde ein wichtiges Problem bei der IP-Messung mit dem neuen Geomon4D-IP Gerät beseitigt. Weitere Testmessungen in einem anderen Abschnitt im Testgebiet Amstall zeigten außerdem, dass ein massiver Unterschied im Signal zwischen Stahlelektroden und nicht polarisierbaren Elektroden zu erkennen war. Parallel zu den Testmessungen wurde an einem Matlab© Programm gearbeitet, dass in automatisierter Form Abbildungen der Abklingkurven generiert. Des Weiteren erfolgten erste Versuche, aus diesen Rohdaten Chargeability-Werte zu berechnen. Im Detail hat sich gezeigt, dass hier noch ein paar Fragen offen sind (z.B. wie geht man mit dem SP-Wert (Offset) um?).

## 2 Ausgangslage

### 2.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Induzierte Polarisation, also die Messung der elektrischen Aufladbarkeit (chargeability) des Untergrundes, ist als ergänzende Messmethode beim Einsatz der Gleichstromgeoelektrik (Messparameter: elektrischer Widerstand) zu sehen. 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. Basierend auf dem bereits vorhandenen Geomon4D Messsystem, eine Eigenentwicklung der FA Geophysik der GBA, wurde mit einer entsprechenden Erweiterung des Messsystems Geomon4D auf die zusätzliche Messung des IP-Effektes im Zeitbereich (Geomon4D-IP) begonnen. Da am Anfang der Entwicklung die Anwendung im geoelektrischen Monitoring und daher das Thema Energieeffizienz stark im Vordergrund stand, wurde die geplante Erweiterung auf das Geomon4D-IP System messtechnisch deutlich breiter angelegt. Dieser Umstand schlägt sich in einer relativ umfangreichen Entwicklungsarbeit und damit einer länger dauernden Entwicklungszeit nieder. Ein großer Vorteil der Eigenentwicklung dieses Messsystems ist, wie beim Geomon4D, die Möglichkeit eines direkten Zugriffs auf die Rohdaten, die bei auf dem Markt befindlichen Geräten in den allermeisten Fällen nicht möglich ist. Auch der direkte Einfluss 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 schnell durchgeführt werden können (und zwar dank eines raschen Austauschs von einzelnen Messplatinen), einen großen Vorteil gegenüber dem Einsatz kommerzieller Systeme dar. Dies deshalb, da beim Einsatz dieser Systeme anfallende Reparaturen immer einen meist langdauernden Prozess (Abbau, Transport, Versand, Reparatur, Aufbau) des Herstellers mit entsprechenden Kosten und somit deutlich längeren Ausfallszeiten der Messreihen nach sich ziehen. Neben der Erweiterung um den Messparameter „Induzierte Polarisation“ wird 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 bringen. Es ist davon auszugehen, dass dadurch die Datenqualität noch einmal deutlich gesteigert werden kann.

Die Weiterentwicklung im ersten Projektjahr umfasste mehrere Testmessungen unter realen Feldbedingungen, anschließende Adaptierungen des Messsystems, den Beginn der Softwareprogrammierung für die Benutzeroberfläche sowie erste Umbauarbeiten auf einen neuen, leistungsstärkeren Prozessor, der im ursprünglichen Entwicklungsplan nicht vorgesehen war, allerdings auf Grund der enormen Rechenzeiten beim internen Datenprozessing als sinnvoll erachtet wurde.

## 2.2 Gerätestatus Juli 2017

Das neue Messgerät Geomon4D-IP wurde im Zuge einer ersten Testmessung unter Feldbedingungen bei der Fa. Liftoff am Tulbinger Kogl im April 2017 getestet. Hierfür erfolgte die Installation von drei geoelektrischen Messkabeln (in Summe 48 Elektroden) im Garten des Elektrotechnikers der Fa. Liftoff. Der große Vorteil bei dieser Installation war der Umstand, dass der Messaufbau für weitere Tests ohne Änderung für einen Zeitraum von mehreren Wochen zur Verfügung gestellt werden konnte. Der erste Test umfasste hauptsächlich den Vergleich mit dem bisherigen geoelektrischen Messsystem Geomon4D, um die grundsätzliche Funktionalität durch Vergleich der akquirierten Daten zu überprüfen. Hierbei wurde natürlich nur Gleichstromgeoelektrik, d.h. der elektr. Widerstand, gemessen. Die erzielten Ergebnisse waren sehr positiv zu bewerten, da sich die wesentlich bessere Auflösung des neuen Messsystems direkt an deutlich geringeren Fehlerwerten bei der Dateninversion niedergeschlagen hat. Somit war die grundsätzliche Funktionalität des neuen Systems unter Feldbedingungen (DC – Betrieb) bestätigt. Weitere Tests im IP-Betrieb folgten unmittelbar – hier zeigte sich, dass noch einige Hardwarekomponenten anzupassen sind, um die Polarisierungseffekte des Untergrundes in entsprechender Form anzuregen und dann auch aufzeichnen zu können. Ein erster Vergleich einer IP Testmessung Ende Juni am Tulbinger Kogl mit einem kommerziellen Messsystem (AGI Super Sting©) zeigte die Notwendigkeit auf, dass weitere Tests in einem Messgebiet mit stärkeren Polarisierungseffekten notwendig sind.

## 3 Hardware- und Softwareentwicklung

Basierend auf den im Juni 2017 in Form einer Prototyp-Steuereinheit vorhandenen Hardwarekomponenten für das neue Geomon4D-IP Messgerät wurde im ersten Projektjahr an diversen Adaptierungen, Fehlerbehebungen und Weiterentwicklungen gearbeitet. Der Teil der Softwareentwicklung umfasst hauptsächlich die Erstellung eines grundlegenden Konzepts für eine benutzerfreundliche Bedienoberfläche und eine optimale Datenausgabe (Format). Zusätzlich wurde im Verlauf der Entwicklung auch klar, dass entsprechende Zeit in die optimierte Datenumwandlung investiert werden muss, da sonst durch die großen Datenmengen lange Rechenzeiten zustande kommen.

### 3.1 Hardware - Konverter

Während der ersten Messungen im IP-Betrieb sind die neu angeschafften Stromtastköpfe zum Einsatz gekommen. Das Ergebnis war völlig unerwartet - der Abschaltvorgang führte zu einer

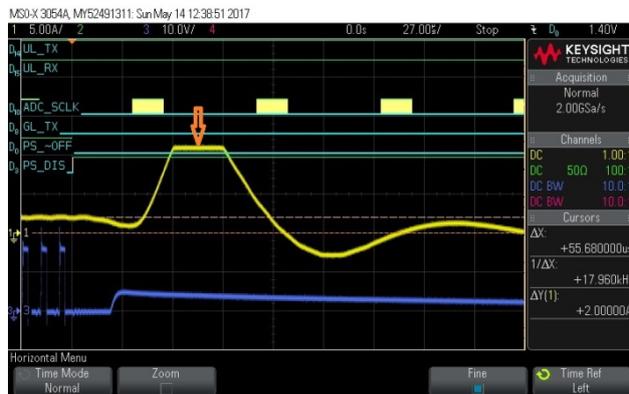


Abb. 1: Oszilloskop-Anzeige der unerwarteten Stromspitze (roter Pfeil) bei der Stromabschaltung.

hohen Stromspitze in der Versorgungsleitung. Der Messbereich des Tastkopfs von 10 A wurde weit überschritten (siehe roter Pfeil in Abb. 1) und das obwohl nur einer von drei Konvertern bestückt war. Die aufwendige Ursachenforschung für dieses Verhalten hat ergeben, dass die Treiberschaltung für die Leistungstristoren diese noch einmal unkontrolliert einschaltete.

Die verwendete Schaltung stammt aus den Applikationsschriften des Herstellers, die Fehlfunktion kam daher zunächst sehr überraschend. Bei normalen Netzgeräten, und darauf beziehen sich wohl so gut wie alle Applikationsschriften, wird die Spannungsversorgung am Eingang durch einen Schalter getrennt bzw. das Gerät abgesteckt. Wenn dann die Transistoren noch einmal einschalten, hat das keinen Effekt. Im Fall des Geomon4D-IP muss aber die Energieabgabe am Ausgang möglichst schnell beendet werden, um den gewünschten Polarisierungseffekt zu bekommen, der Rest des Systems muss allerdings weiter funktionsfähig bleiben. Die Autoren dieser Schaltung haben den Effekt der Stromspitze vermutlich aus oben genanntem Grund nie gesehen bzw. beobachtet.

Die Suche nach einer Alternative endete bei einem Artikel, in dem ein neuer Lösungsansatz beschrieben wird. Eine anschließende Simulation dieses Vorschlages hat vielversprechende Ergebnisse gezeigt und konnte als Lösung für das Stromabschaltproblem beim neuen Geomon4D-IP herangezogen werden. Zum selben Zeitpunkt, als die Lösung des Problems fast umgesetzt war, wurde von der Produktionsfirma der verwendeten Transistoren mitgeteilt, dass die Produktion bis auf weiteres eingestellt wird. Diese Information hatte ein zeitaufwendiges Neudesign der Konverter-Platine zur Folge.

Um weiteren Überraschungen zuvorzukommen, wurde eine kleine Platine mit der neuen Treiberschaltung und neuen Transistoren entworfen. Diese Platine soll auf teilbestückten Konverter-Platinen den Leistungsteil ersetzen. Sie kann mit wenig Aufwand mit der Restschaltung verbunden werden und ist vom Platzbedarf relativ einfach unterzubringen (sie kann einfach mit einer Schraube auf die Restschaltung montiert werden – siehe Abb. 2).



Abb. 2: Neue Platine mit den neuen Transistoren aufgesetzt auf die ursprüngliche Konverter Platine.

Leider wurden auch bei diesem Neudesign der Konverter-Platine Probleme entdeckt. Die Abschaltung funktionierte nun zwar sauber und präzise, aber das Einschalten der Transistoren machte Probleme. Wenn die Einschaltphase länger wird, gelingt es der Treiberschaltung nicht, ein ausreichend hohes Potenzial am Gate des Transistors aufrechtzuerhalten. Der Innenwiderstand der Transistoren erhöht sich dadurch, aber genau in dieser Phase fließt der größte Strom durch die Transistoren. Bei den ersten Tests ist es schnell zu einer

enormen Überhitzung gekommen, sodass sogar das Lötzinn geschmolzen und die Transistoren zerstört wurden.

Um diesem Problem auf den Grund zu gehen, wurde der Entwickler dieser Schaltung und der Autor des Artikels kontaktiert (Texas Instruments). Nach einer aufwendigen E-Mail

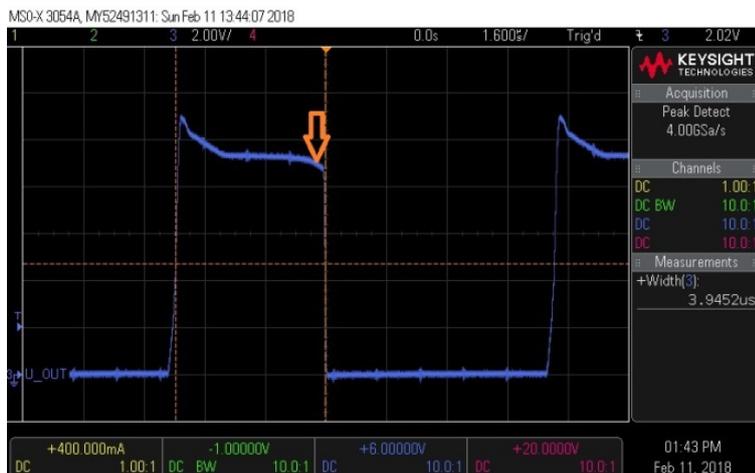


Abb. 3: Oszilloskop Anzeige - roter Pfeil markiert den benannten kleinen Spannungsabfall.

Korrespondenz wurde gemeinsam eine entsprechende Adaptierung der Schaltung für den hier sehr speziellen Fall erarbeitet. Schlussendlich ist es gelungen, ein tolerierbares Ergebnis zu erzielen, womit dieses Schaltungsproblem gelöst war. Zwar ist noch immer ein kleiner Abfall der Spannung aufgetreten, der allerdings ein akzeptables Maß nicht überschritten hat (siehe Abb. 3).

Das Abschaltverhalten des Konverters hat damit perfekt funktioniert - die Transistoren werden nicht mehr unkontrolliert eingeschaltet.

Sämtliche Verbesserungen sind in die neue Version der Konverter-Platine eingeflossen, woraufhin intensive Tests gestartet wurden. Es hat sich auch gezeigt, dass die Regelschleife

nun gut zu kompensieren ist, da offenbar die Probleme der Transistorsteuerung in die Regelschleife ausgestrahlt haben.

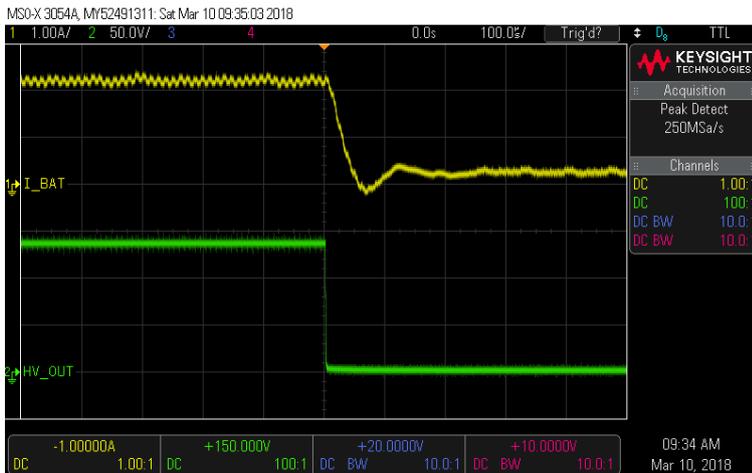


Abb. 4: Oszilloskop Anzeige - Sekundärseite ohne und mit Unterdrückung der Störspitzen.

Auf der Sekundärseite wurden im weiteren Entwicklungsverlauf noch neue Ferrithülsen zur Unterdrückung von Störspitzen getestet. Eine Firma hat ein besser wirksames Material auf den Markt gebracht und die Ergebnisse waren erstaunlich (siehe Abb. 4). Die bisherige RC-Entstörung konnte dadurch weiter optimiert werden, sie erwärmt sich nun weniger, wodurch der Konverter

nun in Summe einen merklich besseren Wirkungsgrad aufweist.

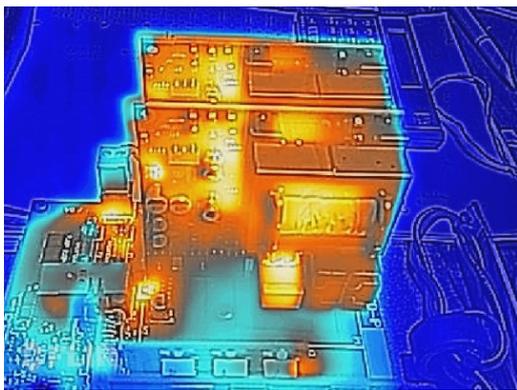


Abb. 5: Konverter Platine während des Dauertestbetriebes aufgenommen mit einer Wärmebildkamera.

Den Abschlusstest hat die Simulation eines Langzeitbetriebes gebildet. Hierfür wurde mit 110% der spezifizierten Leistung über 10 Stunden getestet. Die Erwärmung der Bauteile wurde mit einer Wärmebildkamera ermittelt und hat keine problematischen Stellen an dem entwickelten Prototyp der Steuereinheit des neuen Geomon4D-IP gezeigt (siehe Abb. 5).

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

### 3.2. Software

In der bisherigen Entwicklung des Geomon4D-IP Messsystems war die Software am Gerät nur mittels verbundenem PC und darauf installierter Entwicklungsumgebung lauffähig. Die im ersten Projektjahr vorgenommenen Weiterentwicklungen sollen genau diese aufwändige Bedienung des Gerätes beheben.

Die ersten Messungen unter Feldbedingungen im Gelände (Amstall/Krems) haben gezeigt, welche Parameter im Feld schnell und effizient modifizierbar sein müssen. Anlehnend an diese Erkenntnis wurden die ersten Anpassungen der Bedienoberfläche durchgeführt. Dies wurde

in der Form umgesetzt, dass eine Datei mit den Angaben über den geplanten Messablauf vorhanden sein muss und eine zweite, die die durchzuführenden Messkombinationen (Messpunkte 4-Punkt-Anordnung) enthält.

Die hohe Datenrate und die große Datenmenge erlauben es nicht, eine Ausgabedatei mit umgerechneten Werten in ASCII-Codierung schon während der Messung zu erzeugen. Zunächst werden die reinen Binärcodes des AD Wandlers abgespeichert. Erst in einem weiteren Schritt erfolgt die Umwandlung und die für die Auswertesoftware passende Formatierung der Daten.

Die Umwandlung erfolgte bisher mit einem Script das von einem Mathematikpaket (SciLab©) ausgeführt wurde und dies war naturgemäß sehr langsam. Der Vorteil dieses Ansatzes war allerdings, dass der Algorithmus sehr schnell und einfach anzupassen war und sowohl die Rohdaten als auch die Ergebnisse ohne weiteren Aufwand grafisch dargestellt werden konnten. Für jede Messmethode (DC (Gleichstromgeoelektrik), SP (Eigenpotenzial) oder IP (Induzierte Polarisation)) gab es ein eigenes Script.

Die neue Softwareversion wurde dahingehend verändert, dass sie nun anhand der Daten automatisch erkennt, welche Messmethode gewählt wurde und erzeugt entsprechend die gewünschten Dateien. Nun ist es auch möglich, Kombinationsmessungen durchzuführen (SP, DC und IP in einem Messzyklus), da die erfassten Daten automatisch sortiert und entsprechend behandelt werden. Das erleichtert die Bedienung im Feld enorm.

Es musste aber festgestellt werden, dass die Datenumwandlung von binären Daten in ASCII-Zeichen von allen Bearbeitungsschritten mit Abstand am längsten dauert. Zwar wurden verschiedene Ansätze dies durchzuführen getestet (es gelang auch die Rechenzeit etwas zu verringern), dennoch blieb hier die Verarbeitungszeit der Daten einfach in einer nicht zufriedenstellenden Größenordnung (es geht hier um eine Verarbeitungszeit von 10-30 min für einen Datensatz der einer zukünftigen Standardmessung entspricht – bei speziellen Anwendungen kann die Verarbeitungszeit sogar noch anwachsen).

Im Laufe intensiver Tests wurden plötzlich sporadisch auftretende Fehler im Zuge der Datenverarbeitung entdeckt. Für den Testbetrieb stellte dies kein großes Problem dar, da die Fehler sehr selten aufgetreten sind (bei der Größe der Datensätze des Testbetriebes sind Fehler relativ unwahrscheinlich gewesen). Allerdings konnte diese Fehlfunktion bei der Verarbeitung umfangreicher Datensätze nicht vernachlässigt werden. Durch das seltene Auftreten des Fehlers stellte sich die Ursachenforschung als besonders schwierig dar, zudem waren die zu durchforstenden Datenmengen sehr groß und haben etwa 2GB pro Testmessung betragen.

Statt viele Messungen durchzuführen und auf das Auftreten des Fehlers zu warten, wurde einfach vorab der Teil der „zeitkritischen“ Steuerung des Messsystems überarbeitet. Schließlich hat sich gezeigt, dass in einem ganz bestimmten Fall zwei Ereignisse quasi zeitgleich

auftreten können, aber nur eine Reihenfolge korrekt ist. In seltenen Fällen kehrt sich die Reihenfolge um, wodurch der Datenfehler entsteht. Es erforderte einigen Programmieraufwand, dieses Problem in den Griff zu bekommen. Anschließend an diese Programmkorrektur folgten langwierige, intensive Tests, die keine Datenfehler mehr hervorbrachten.

Die generelle Auswertung der bisherigen Testmessungen hat ergeben, dass auch eine geringere Samplingrate ausreichend wäre. Eine Reduktion würde letztlich auch die Auswertung beschleunigen und den erforderlichen Speicherbedarf enorm reduzieren.

Nach kurzer Recherche wurde erkannt, dass mit der bestehenden Hardware diese neue Anforderung relativ leicht umsetzbar ist, allerdings musste hierfür die Steuersoftware und die Benutzeroberfläche adaptiert werden. Dies wurde in der Folge umgesetzt und die Funktionalität erneut mit einem intensiven Testlauf verifiziert. Nun besteht die Möglichkeit im Messbefehl durch eine Option die Sampling-Geschwindigkeit um die Faktoren 2, 4 oder 8 zu reduzieren.

Bei einer Teambesprechung zum Status der Entwicklung des Geomon4D-IP Messsystems wurde die Frage aufgeworfen, ob es nicht auch schnellere Prozessormodule gäbe. Die gibt es natürlich, allerdings verbrauchen diese ein Vielfaches an Energie. Gerade die Erfahrungen der letzten Jahre mit dem Monitoring-Betrieb in entlegenen Gegenden haben aber gezeigt, dass ein niedriger Energieverbrauch unabdingbar ist. Da aber das Messsystem in dieser Entwicklungsphase hauptsächlich für den normalen Feldbetrieb (mit einer vorhandenen externen Energiequelle, meist in Form eines Generators) eingesetzt werden soll, wurde die Suche nach einem alternativen (schnelleren) Prozessor aufgenommen. Eine erste Recherche hat ergeben, dass mittlerweile ein leistungsfähigeres Modul mit ähnlichem Energieverbrauch verfügbar ist.

Ein Umstieg wäre mit überschaubarem Aufwand möglich, da die Platine, die das derzeitige Modul trägt, erst in der Prototypphase ist. Nach Prüfung der angebotenen Softwareunterstützung wurde entschieden, dass ein Umstieg auf das leistungsfähigere Modul erfolgen wird. Zum einen wird sogar eine erleichterte Bedienung des Gerätes erwartet und zum anderen ist auch die mechanische Befestigung des Moduls wesentlich ausgeklügelter, sodass Fehlfunktionen, die bereits beim Transport des jetzigen Gerätes im Prototypstatus zu Testmessungen aufgetreten sind, im Prinzip ausgeschlossen werden können.

Nach Erhalt des ersten neuen Moduls starteten die ersten Hard- und Software-Adaptierungen – erste Tests wurden bereits durchgeführt.

## 4 Testmessungen und erste Ergebnisse

Der kaum vorhandene IP-Effekt am Tulbinger Kogl war Anlass dafür, eine andere Lokation für erste relevante IP-Testmessungen zu definieren. Aufgrund von umfangreichen Vorinformationen wurde diesbezüglich die Graphithalde bzw. Graphitlagerstätte in Amstall (bei Mühldorf) ausgewählt. Zur Position des Untersuchungsgebietes bzw. der Lage der Profile siehe Abb. 6.

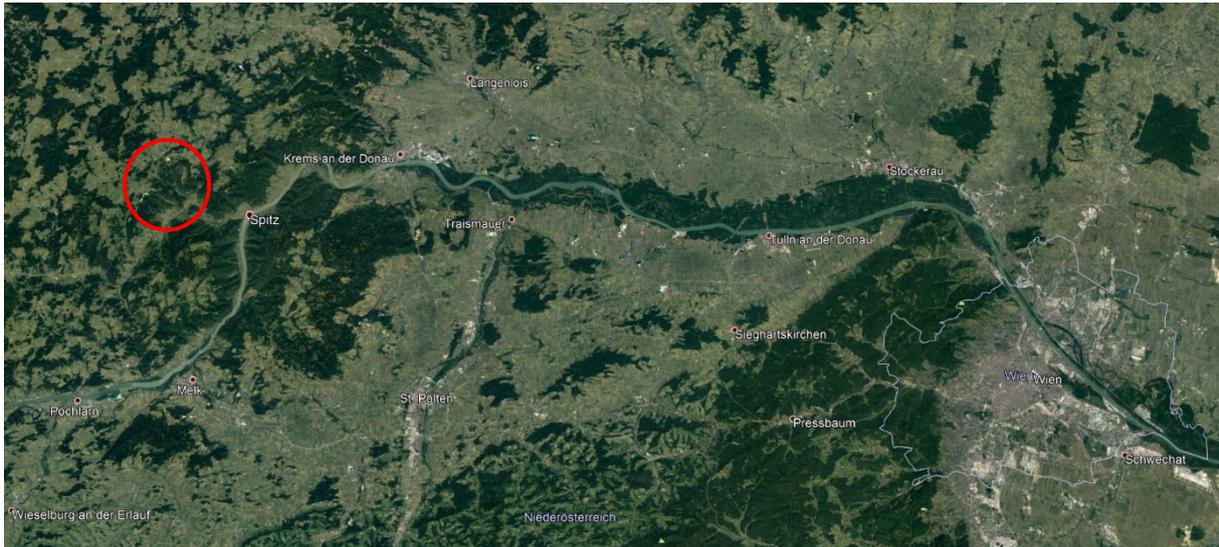


Abb. 6: Lageplan zur Test Site Amstall, Überblick Lage (oben), Detail mit genauer Lage der ersten beiden Testprofile (unten).

Bei einer ersten Testmessung wurden 2 Profile gemessen – ein langes Profil (4 Kabel + 1 Elektrode) in West-Ost-Richtung und eines in Süd-Nord-Richtung mit 3 Kabeln (siehe Abb. 6 – Detail). Beide Profile wurden auch mit dem kommerziellen Messgerät AGI Super Sting© gemessen, jedoch konnte hier kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden (ein technisches Problem beim AGI Super Sting© bzw. bei dessen Stromversorgung wird angenommen). Die Testmessungen mit dem Geomon4D-IP lieferten auch kein positives Ergebnis. Sowohl das Widerstandsbild des Untergrundes, als auch die einzelnen IP-

Abklingkurven waren nicht zufriedenstellend. Neben einem generellen Problem des Messgerätes (das im Nachhinein bei Tests im Labor festgestellt wurde), war zu bemerken (wie auch bei den bereits vorangegangenen einzelnen IP-Tests am Tulbinger Kogl), dass der Strom nach der Abschaltung nicht ganz den Wert „0“ hat (siehe dazu Abb. 7).

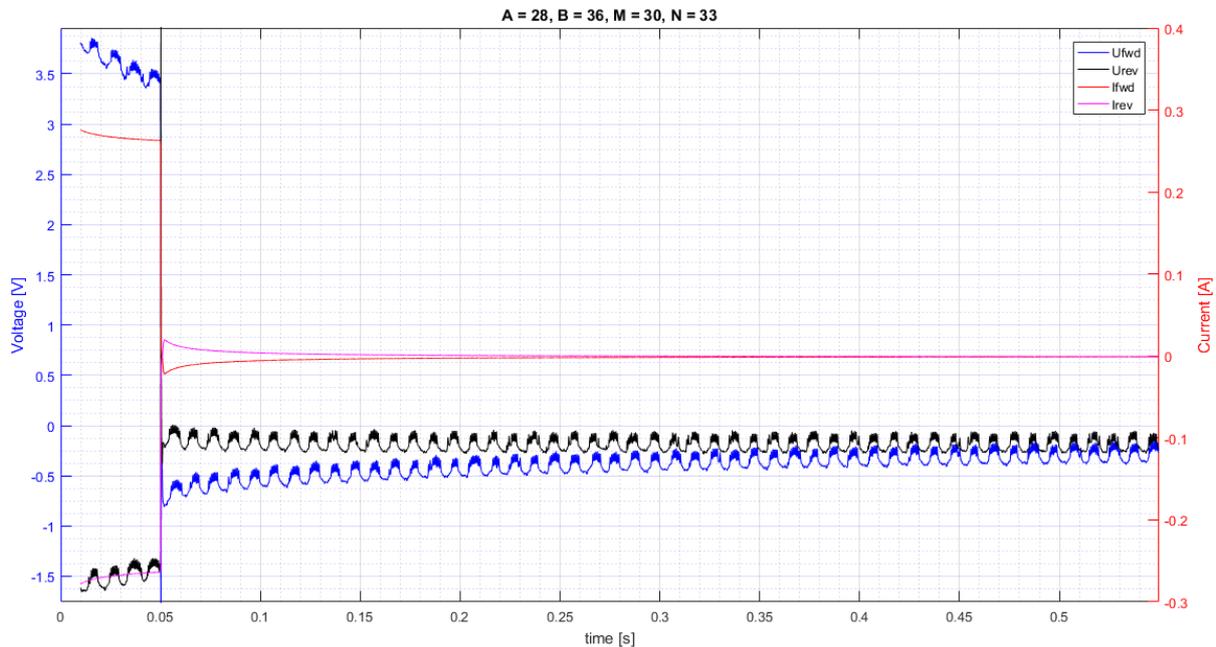


Abb. 7: Darstellung der Rohdaten einer beliebigen 4-Punktanordnung, dargestellt sind der Strom und die gemessene Spannung für beide Messrichtungen (forward u. reverse) für eine Zeit von 0.55 Sekunden

Je nach Kombination wird nach dem Abschalten ein umgekehrter Strompeak von bis zu 50 mA beobachtet, der sich dann asymptotisch einem konstanten Wert annähert (vorwärts und rückwärts zum Teil unterschiedlicher konstanter Wert, der im Bereich von wenigen mA liegt (ungleich Null, wie es eigentlich sein sollte)). Zu diesem Zeitpunkt konnte noch keine Lösung für dieses Problem gefunden werden. Bei der Testmessung Anfang Juli in Amstall wurde auch noch ein weiterer Effekt beobachtet – die Abklingkurven zeigten fast ausnahmslos eine negative Aufladbarkeit (auch dazu siehe Abb. 7 – dies äußert sich darin, dass sich nach dem Stromabschalten die Spannung der IP-Abklingkurve von der umgekehrten Richtung einem konstanten Wert annähert). Nach kurzer Literaturrecherche war klar, dass dies nur in Ausnahmefällen bei besonderen geometrischen Verhältnissen der 4-Punktanordnung zu polarisierbaren Störkörpern möglich ist. Also war es sehr wahrscheinlich, dass hier noch ein weiterer Fehler beim neuen Messsystem vorhanden ist.

Eine erneute Testmessung erfolgte am 7. September an der gleichen Stelle wie Anfang Juli. Diese Messung hat dann auch das Problem mit der negativen Aufladbarkeit gelöst – es war notwendig das Gerät zu erden (dies wurde bei entsprechenden Tests im Labor im Vorfeld herausgefunden). Mit geerdetem Gerät wurden ausschließlich korrekte Abklingkurven (positive Aufladbarkeit) aufgezeichnet. Das Problem mit dem rückfließenden Strom nach der Abschaltung blieb allerdings bestehen (siehe Abb. 8) und es kann angenommen werden, dass dieser die Messung massiv beeinflusst, da dieser Stromrückfluss im Untergrund stattfinden

sollte und den eigentlichen IP-Effekt darstellt. Nach einer umfangreichen Prüfung der Bauteile des neuen Messsystems wurde festgestellt, dass nach dem Abschalten die entsprechenden Transistoren im Gerät für die Gegenrichtung eine gewisse Stromdurchlässigkeit haben und somit dieser „Stromrückfluss“ über das Gerät zustande kommt. Somit musste eine technische Möglichkeit gefunden werden dies zu unterbinden. Mit einer adaptierten Messabfolge und dem Einbau zusätzlicher Dioden konnte diese Fehlfunktion schlussendlich behoben werden.

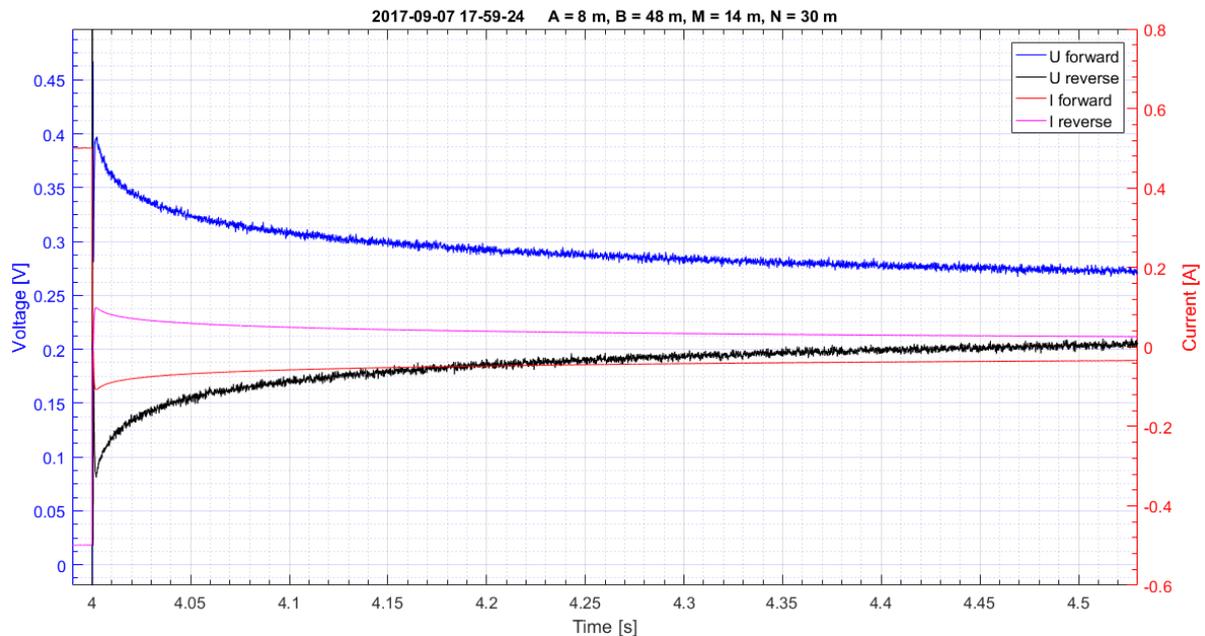


Abb. 8: Darstellung der Rohdaten einer beliebigen 4-Punktanordnung, dargestellt sind der Strom und die gemessene Spannung für beide Messrichtungen (forward u. reverse) für eine Zeit von etwa 0.55 Sekunden.

Nach ausgiebigen Tests und dokumentierten Stromabschaltungen (ohne Rückfluss eines Reststroms) am Tulbinger Kogl, wurde eine nächste Testmessung in Amstall durchgeführt. Das Testprofil wurde diesmal im zuletzt aktiven Abbaubereich installiert. Hier ist anzunehmen, dass zumindest in einem Bereich des Profils direkt der Grafitkörper überquert wird (Abb. 9, Abb. 10). Am ersten Tag wurden ausschließlich Messungen mit dem AGI Super Sting© und mit dem Geomon4D Messgerät durchgeführt.



Abb. 9: Detaillageplan mit genauer Lage des Testprofils im Bereich der zuletzt aktiven Abbaugrube



Abb. 10: Impressionen der Testmessung, Foto der Abbaugrube mit eingezeichneten Profilverlauf (links), aufgebautes Geomon4D-IP inklusive Oszilloskop und Notebook (rechts)

Die IP-Testmessungen mit dem neuen Gerät erfolgten ausschließlich am zweiten Tag, wobei parallel ein weiteres Profil knapp außerhalb des offensichtlichen Abbaubereichs (Abbaugrube) aufgebaut wurde und SP- und Widerstands- (mit AGI Super Sting© und Geomon4D) und IP-Messungen (AGI Super Sting©) durchgeführt wurden. Bei den IP-Testmessungen mit dem Geomon4D-IP wurden Messesequenzen programmiert, die den AGI Super Sting© Messungen (0,5 s cycle und 1 s cycle) nachempfunden waren. Die Messung an sich war erfolgreich,

allerding ist es im Zuge der Datenumwandlung in ein ASCII-Format zu einer gravierenden Fehlfunktion gekommen, wodurch die Daten unbrauchbar wurden. Somit wurden nur Messesequenzen produziert (4 s Stromeinspeisung), die zwar die vollen 321 Messpunkte beinhalten, aber nicht exakt mit den Daten des AGI Super Sting© vergleichbar sind. Da bereits vor Ort am Oszilloskop zu sehen war, dass nur in einem bestimmten Profildbereich starke IP-Effekte auftreten, wurde die Messesequenz entsprechend auf Messpunkte in diesem Bereich reduziert. Ab diesem Zeitpunkt wurden für diverse Tests (unterschiedliche Stromeinspeisung und Aufzeichnungsdauer, unterschiedliche Elektroden, Schlaufen im Kabel,...) nur mehr 6 Messpunkte verwendet. Hier zeigten sich dann die entsprechenden Unterschiede im Messsignal abhängig von den unterschiedlichen Systemeinstellungen. Erstaunlich war, dass ein massiver Unterschied im Signal zwischen den Stahlelektroden und den nicht polarisierbaren Elektroden zu erkennen war.

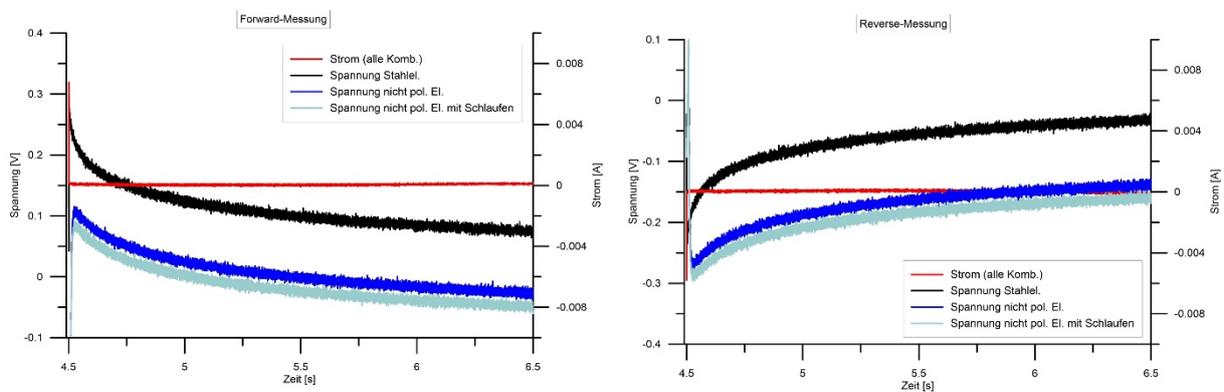


Abb. 11: Darstellung der Rohdaten einer beliebigen 4-Punktanordnung, dargestellt sind der Strom und die gemessene Spannung für verschieden Elektroden (siehe Legende) und beide Messrichtungen (forward – links, reverse – rechts).

Nach kurzer Literaturrecherche war der Grund dafür klar – es kommt bei der Verwendung von Stahlelektroden zur Polarisation an der Grenzfläche „Elektrode-Boden“, die nur bei entsprechender Dipol-Anordnung zu vermeiden ist (d.h. Spannungsmessung außerhalb des Stromdipols – als negative Konsequenz ist bei dieser Messkonfiguration das Signal/Rausch Verhältnis deutlich schlechter). Somit war klar, dass mit der verwendeten Elektrodenkonfiguration unbedingt nicht polarisierbare Elektroden für die Potentialmessungen zu verwenden sind. Zwar hat die nachfolgende Analyse der beobachteten Unterschiede im zeitlich relevanten Bereich der Abklingkurve nur einen konstanten Offset gezeigt (Unterschied im SP), was zumindest einen vergleichbaren IP-Effekt bedeuten würde, allerdings ist anzunehmen, dass die Übereinstimmung nur durch den sehr starken IP-Effekt in Amstall zustande kommt. An einer Lokation mit eher schwachen IP-Effekten überwiegt beim angesprochenen Messaufbau (Stahlelektroden) mit Sicherheit der Effekt der Elektrodenpolarisation. In diesem Zusammenhang wurde auch der Unterschied im SP-Wert bestimmt. Da konnte auch ganz klar nachgewiesen werden, dass nur die nichtpolarisierbaren Elektroden eine eindeutige SP-Anomalie im Bereich des Grafitkörpers zeigen – die Messungen mit Stahlelektroden hingegen zeigen eher eine willkürliche SP-Anomalien Verteilung, die nicht

durch Unterschiede des Untergrundes erklärbar ist. Das Fazit daraus ist, dass sowohl für die korrekte IP- als auch für die SP-Messung nicht polarisierbare Elektroden zu verwenden sind.

Parallel zu den Entwicklungsarbeiten am Prototyp des Messgerätes wurde vonseiten unserer koreanischen Kooperationspartner KIGAM an der Entwicklung einer entsprechenden Auswertesoftware für TDIP-Daten gearbeitet (siehe Abb. 12). Da hier noch die Information über das schlussendliche Datenformat für die Fertigstellung der Software notwendig war, konnte diese erst nach den erfolgreichen Testmessungen und der entsprechenden Bewertung der Daten erfolgen. Die Übergabe einer entsprechenden ersten Testversion erfolgte im Frühsommer 2018.

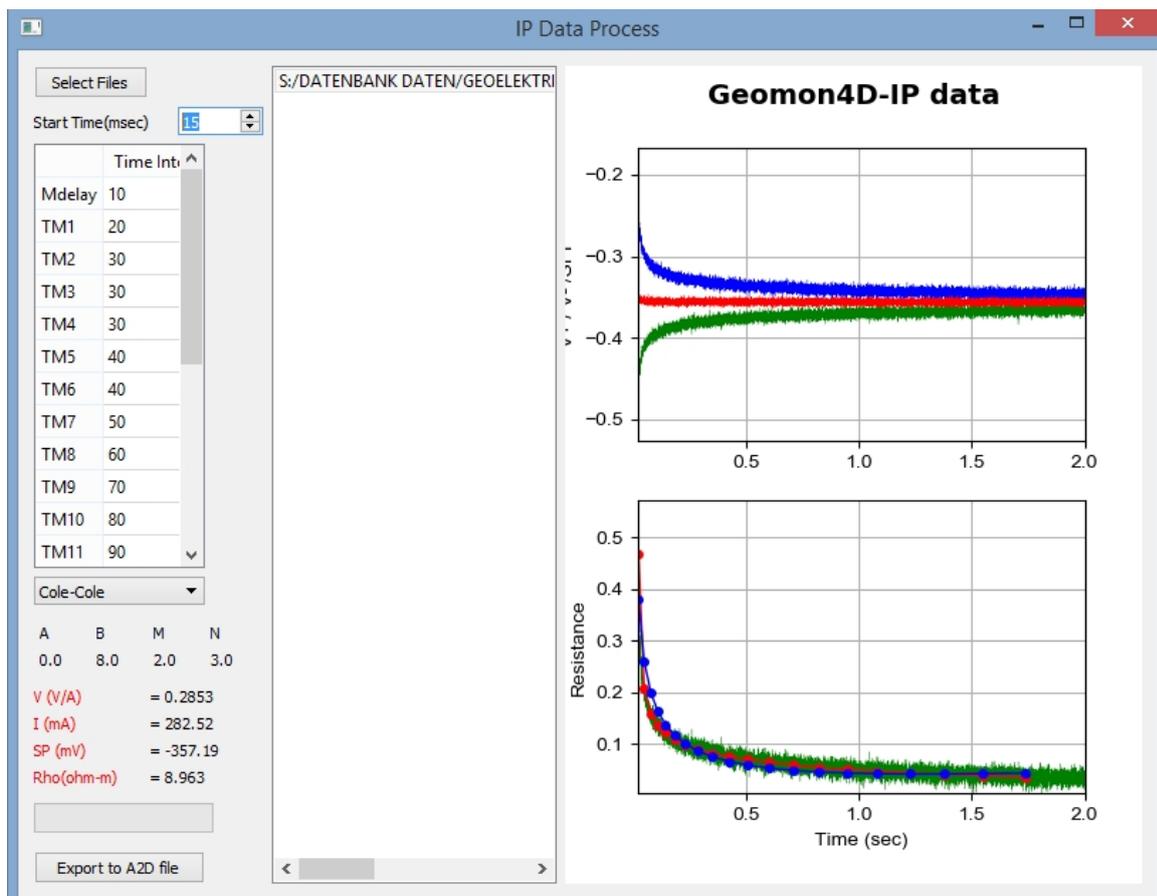
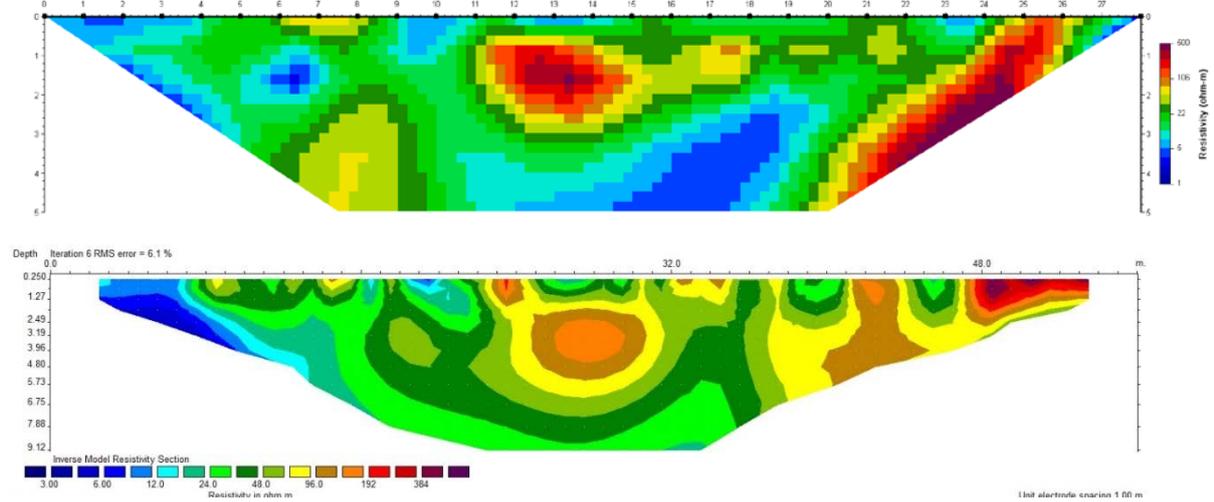


Abb. 12: Bedienoberfläche der neuen IP-Software mit der Darstellung der Rohdaten eines beliebigen Messpunktes.

Nach erfolgter Datenbearbeitung konnte dann auch eine erste Inversionsrechnung mit dem neu entwickelten IP-Inversionsalgorithmus durchgeführt werden. Da allerdings die Anzahl der Messpunkte im Zuge der Testmessung sehr gering war, konnte kein sehr aussagekräftiges Ergebnis erzielt werden. Dennoch zeigt sich, dass die ersten Testdaten des Geomon4D-IP eine sehr gute Datenqualität aufweisen. Abb. 13 zeigt einen Vergleich des Inversionsergebnisses des Geomon4D-IP mit dem kommerziellen AGI Super Sting®, nämlich des spezifischen elektrischen Widerstandes und des IP Effektes mit unterschiedlichen Inversionsprogrammen.

### El. Widerstand



### El. Aufladbarkeit

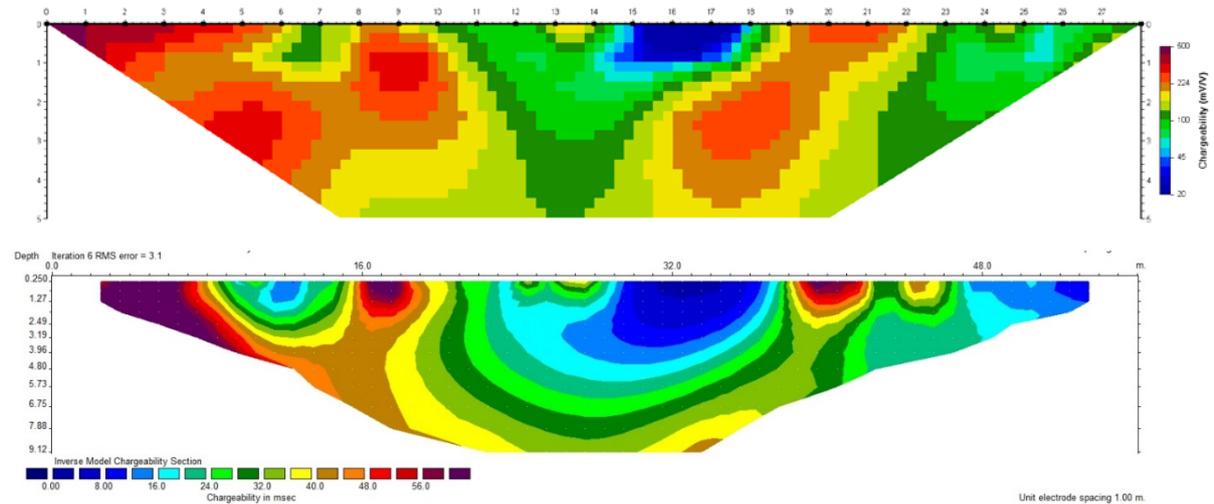


Abb. 13: Vergleich des Inversionsergebnisses des Geomon4D-IP mit dem kommerziellen AGI Super Sting®, spezifischer elektrischer Widerstand (Darstellungen 1 u. 2 von oben) und die elektrische Aufladbarkeit (Darstellungen 1 u. 2 von unten), zu beachten: unterschiedliche Messeinstellungen und unterschiedliche Inversionssoftware.

In Summe haben die erfolgten Testmessungen zur Entwicklung des IP-Messgerätes insofern maßgeblich beigetragen, als dass auf deren Basis ganz klar messtechnische Mängel des Gerätes erkannt und behoben werden konnten. Schlussendlich konnten bei der letzten Testmessung in Amstall aus unserer Sicht relativ zuverlässige TDIP-Daten generiert werden. Der nächste Schritt wird der direkte Vergleich der Abklingkurven mit einem kommerziellen Gerät (TU Wien) sein – dies soll bei der nächsten Testmessung umgesetzt werden. Zusätzlich

wird versucht einen Datensatz zu generieren, der direkte Vergleiche der Chargeability vom AGI Super Sting© mit dem neuen Messsystem zulässt.

## 5 Ausblick

Im nächsten Schritt wird mittels Verbindungskabel das bisherige Modul durch die neue Hardware ersetzt und die Software getestet/angepasst.

Die Rechenleistung des neuen Moduls sollte viermal höher sein, es wird sich zeigen, um welchen Faktor sich die Datenaufbereitung beschleunigen lässt.

Es existiert auch ein Schwestermodul mit noch weit höherer Rechenleistung. Dieses verbraucht zwar viel mehr Energie, ist aber steckkompatibel. Es wäre daher denkbar, Systeme zu bauen, die bei der Datenauswertung weit schneller sind und bei denen der höhere Energieverbrauch tolerierbar wäre, z.B. bei einem Feldmessgerät.

Im nächsten Projektjahr sollen dann weitere Testmessungen mit dem neuen Messsystem erfolgen. Sobald die entsprechende Software für die Benutzeroberfläche fertiggestellt ist und die neu entwickelte Steuereinheit in einem bereits vorhandenen Gehäuse (vorgesehen für den Einsatz bei Feldmessungen) untergebracht ist, wird das Geomon4D-IP immer wieder bei standardmäßigen Feldmessungen, bei denen es der zeitliche Ablauf zulässt, eingesetzt werden. Die somit generierten größeren Datenmengen (größere Vergleichsmöglichkeiten) sollten weitere Adaptierungen und Verbesserungen sowohl auf Hardware- als auch Softwareseite positiv beeinflussen.