



Projekt ÜLG-093

Jahresbericht über das Projektjahr 01.01.2023-31.12.2023

Ergänzende Drohnen- und Bodengeophysik und geologische Interpretation zur 3D- Prospektivitätsanalyse von Lagerstätten

von

Ingrid Schattauer, Alexander Römer, Arnulf Schiller, Ingrid Schlögel, Jakob Gallistl, Klaus Motschka, Esther Hintersberger und Gerhard Bieber

26 S., 21 Abb., 6 Tab.

Wien, Jänner 2024

PROJEKTLEITUNG:

Ingrid Schattauer, Alexander Römer

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER:

Sebastian Pfeiderer	Rohstoffgeologie
Piotr Lipiarski	Rohstoffgeologie
Annika Geringer	Rohstoffgeologie
Heinz Reitner	Rohstoffgeologie
Gerlinde Posch-Trözmüller	Geophysik und angewandte Geologie
Ivan Bistrovic	Technik
Martin Heidovitsch	Technik
Luzian Wolf	Elektrotechnik
Gerhard Bieber	Geophysik
Philipp Högenauer	Geophysik
Klaus Motschka	Geophysik
David Ottowitz	Geophysik
Stefan Pfeiler	Geophysik
Birgit Jochum	Geophysik
Arnulf Schiller	Geophysik
Ingrid Schlögel	Geophysik
Jakob Gallistl	Geophysik
Esther Hintersberger	Basisdaten und Modelle

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

Die Projektdurchführung erfolgt im Rahmen des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung.

Inhalt

1	Einleitung und Projektziele	3
2	Geophysikalische Messeinsätze und erste Ergebnisse	4
2.1	Leogang / Salzburg (Bergbauhalde).....	7
2.1.1	Bodengeophysik	7
2.1.2	Drohnengeophysik.....	15
2.2	Schwaz / Tirol (Bergbauhalde).....	18
2.2.1	Bodengeophysik	18
2.2.2	Drohnengeophysik.....	22
2.3	Leisach / Osttirol (Bergsturzaflagerungen).....	23
3	Verfügbarkeit der geophysikalischen Projekt-Ergebnisse	25
4	Abbildungsverzeichnis	25
5	Referenzen	26

1 Einleitung und Projektziele

Im Rahmen dieses Projekts werden verschiedene geophysikalische Verfahren als Ergänzung für die Prospektivitätsanalyse von Lagerstätten in Zusammenarbeit mit verschiedenen Projekten im Rohstoffbereich eingesetzt. Insbesondere liegt ein Fokus des Projektes auf der Erprobung und Evaluation eines, in den letzten Jahren an der GeoSphere entwickelten, Drohnen-Messsystems in unterschiedlichen Rohstoff-Gebieten.

Folgende Verfahren kommen dabei zum Einsatz:

Bodengeophysik:

- Radiometrie
- Geoelektrik
- Elektromagnetik
- Magnetik
- Seismik

Drohnengeophysik:

- Radiometrie
- Elektromagnetik
- Magnetik

Als Ergebnisse werden die Parameter Kalium, Uran, Thorium (Radiometrie), der spezifische elektrische Widerstand (Elektromagnetik, Geoelektrik), seismische P-Wellengeschwindigkeiten (Refraktionsseismik) und die Totalintensität (Magnetik) flächig oder als Profile dargestellt.

Folgende Rohstoffvorkommen sollen im Projektverlauf untersucht werden:

- Tone
- Erze in Haldenmaterial
- Kiese und Sande in Bergsturzmaterial
- Gold- und wolframführende Gesteine
- Gips-Anhydrit
- SEDEX-Lagerstätten
- Graphit

Mithilfe der Bodenmessungen soll untersucht werden, wie sich die Drohnengeophysik in das bekannte geophysikalische Methodenspektrum hinsichtlich ihrer Absolut-Werte, Auflösungsvermögen und Durchführbarkeit der Messungen einfügt. Das Hauptaugenmerk liegt hier also nicht auf der Weiterentwicklung des UAV-Systems, sondern auf Auswertung, Analyse, Visualisierung, und dem Vergleich mit geophysikalischen Bodendaten sowie einer rohstoffspezifischen Bewertung der Ergebnisse. Zudem sollen die Einsatzgrenzen des UAV-Systems erkundet werden.

Die Reihenfolge der Messungen erfolgt in Absprache mit den Projektleitern der entsprechenden Rohstoffprojekte nach Vereinbarung und Dringlichkeit. Im ersten Projektjahr wurden zwei umfangreiche Messkampagnen im Bereich Erze in Bergbauhalden und eine Messkampagne im Bereich Kiese und Sande durchgeführt. Für Messungen im Bereich Gips und Anhydrit sowie SEDEX Lagerstätten wurden Vorbereitungen für Messkampagnen im 2. Projektjahr getroffen (Tab. 1).

Rohstoff	2023		2024		2025		2026	
	Vorbereitung/ Gelände- erkundung	Messung	Vorbereitung/ Gelände- erkundung	Messung	Vorbereitung/ Gelände- erkundung	Messung	Vorbereitung/ Gelände- erkundung	Messung
Tone								
Erze (Halden)								
Kiese und Sande (Bergsturz)								
Gold- und wolframführende Gesteine								
Gips und Anhydrit								
SEDEX- Lagerstätten								
Graphit								

Tabelle 1: Messkampagnen und Geländeerkundungen im 1. Projektjahr (2023)- grün eingefärbt

2 Geophysikalische Messeinsätze und erste Ergebnisse

Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit, hinsichtlich Vegetation und Feuchtigkeit, der Ergebnisse der unterschiedlichen geophysikalischen Methoden in einem Messgebiet zu erreichen, wird versucht, alle Messungen möglichst im gleichen Zeitraum durchzuführen (Tab. 2). Da hierfür die Koordination von bis zu 10 Leuten notwendig ist, ist für die Planung der Messeinsätze einiges an Vorlaufzeit notwendig. Im Sommer des ersten Projektjahres wurden die Bergbauhalden in Leogang und Schwaz eingehend untersucht und im Spätherbst ging sich noch eine Messkampagne im Bergsturzgebiet Leisach aus (Abb. 1).

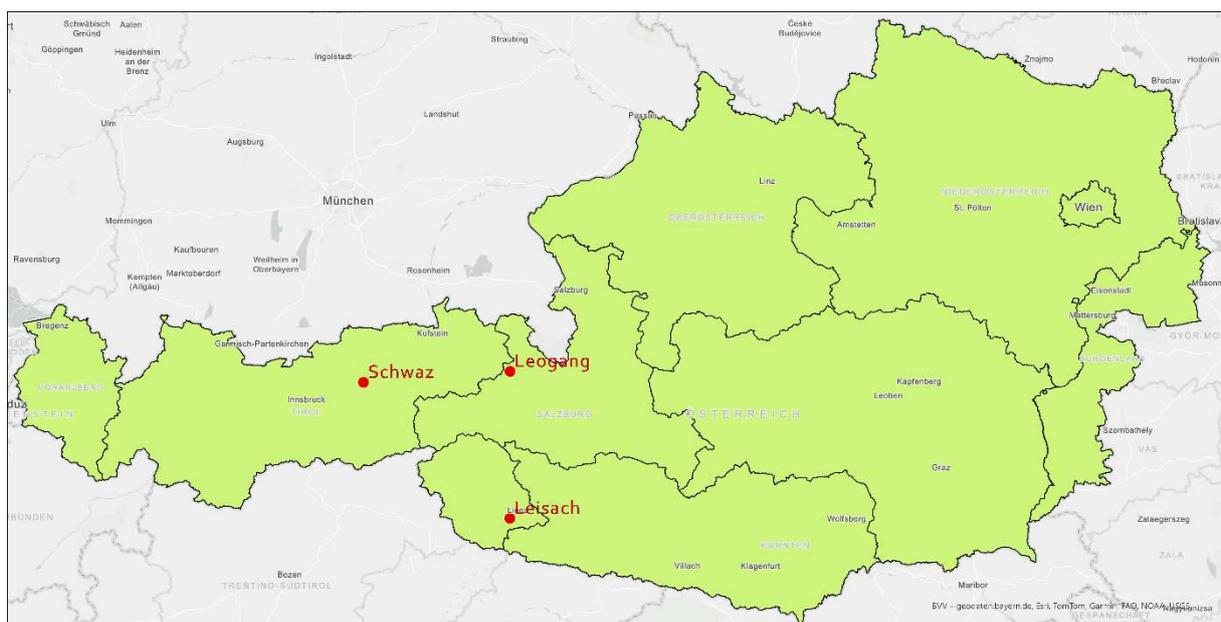


Abbildung 1: Messkampagnen im Projektjahr 2023

Rohstoff	Mess-gebiet	Zeitraum der Messung	Drohnengeophysik			Bodengeophysik				
			Rad	Mag	EM	Geael.	Seismik	Rad	Mag	EM
Erz / Halde	Leogang/ Salzburg	3.-7- Juli 2023								
Erz / Halde	Leogang/ Salzburg	11.-12-Sept. 2023								
Erz / Halde	Schwaz/ Tirol	11.-15-Sept. 2023								
Kiessand /Bergsturz	Leisach/ Osttirol	6.-9. Nov.2024								

Tabelle 2: Messprogramm 2023, grün unterlegt die durchgeführten Messungen (Rad=Radiometrie, Mag=Magnetik, EM=Elektromagnetik, Geael.=Geoelektrik)

Ein wichtiges Projektziel ist es auch, dass neu entwickelte Drohnenmesssystem zu testen und die Ergebnisse mit jenen anderer Messgeräte zu vergleichen, deshalb wird im Folgenden kurz auf dessen Spezifikationen eingegangen.

Radiometrie Messung mit dem Gerät MS-700 der Firma Medusa Radiometrics

Das Gerät MS-700 der Firma Medusa Radiometrics ist für Messungen mit einer Drohne konzipiert (Abb. 2), kann aber auch als hand-getragenes System für bodennahe Messungen verwendet werden. Durch das Kristallvolumen von 700ml können die Radionuklidkonzentrationen einerseits effizient aufgezeichnet werden und andererseits kann das Gerät noch von einer größeren Drohne transportiert werden (siehe technische Spezifikationen Abb. 3). An der GeoSphere gibt es mittlerweile (mindestens) zwei Oktokopter, die bis zu 10kg Zusatzgewicht transportieren können. Umfangreiche Testmessungen im Bereich Messkonfigurationen haben innerhalb des Projektes *MRI_VEGAM - Ermittlung von Vegetationskorrekturen für UAV-Gammastrahlen-Messsystem* in den Jahren 2019 bis 2023 stattgefunden (siehe Interner Bericht; Initiative GBA-Forschungspartnerschaften Mineralrohstoffe – MRI; ENDBERICHT PROJEKT: MRI-VEGAM). Je nach Aufgabenstellung werden die Messungen nach dem vom Hersteller empfohlenen Prinzip „Fly low and slow“ durchgeführt. Wie „low and slow“ hängt davon ab, welche Auflösung angestrebt wird, wie das Terrain beschaffen ist (Stichwort Bäume) und der Größe der Struktur, die erkannt werden soll. Ein wichtiger Schritt bei der Messplanung ist es also, sich anhand der Aufgabenstellung zu überlegen, wie der Fluglinienabstand, die Höhe des Sensors, die Fluggeschwindigkeit und die Abtast- Frequenz gewichtet werden sollen.



Abbildung 2: Montage des Radiometrie-Sensors MS-700 auf einen Oktokopter

Gamma-ray spectrometer		GPS	
Scintillation crystal:	3×6" (700 ml) CsI	Type:	uBlox ZED-P9P
Mapping speeds:	> 15 km/h	Accuracy:	1.5 m CEP
Recording frequency:	up to 5 hz	RTK accuracy:	<1 cm
Online radionuclide analysis:	⁴⁰ K, ²³⁸ U, ²³² Th and ¹³⁷ Cs	Signals:	GLOSNAASS, Bei-Dou, Galileo
Data		Mechanical	
Format:	JSON, NMEA, CSV	Dimension:	100 (Ø) x 295 (L) mm
Streaming:	RS-232, ethernet and Wi-Fi	Weight:	4.7 Kg
Sensors:	Spectrometer, GPS, PTH	Operating T:	-20 to +65 °C
Internal storage:	16 GB	IP rating:	IP65
Electrical		Connectivity	
Input voltage:	5-35V	Wi-Fi:	2.4 and 5 Ghz
Power consumption:	3W (avg), 6W (max)	Ethernet:	100 Mbps
Battery:	Up to 8 hours	Port:	RS-232, USB (optionally)

Abbildung 3: Geräte Spezifikationen (lt. Hersteller) des Gammaskpektrometers MS-700 der Fa. Medusa Radiometrics

Magnetik Messung mit dem Gerät MagDrone R3 der Firma SENSYS

Das Messgerät besteht aus einem Kohlefaser-Sensorrohr mit zwei eingebauten 3-Achsen-Fluxgates und einem integrierten GPS. Weitere technische Spezifikationen sind Abb. 4 zu entnehmen.

General Technical Data

Power Supply	11.1 V; 1,950 mAh Li-Ion accumulator
Operating Temperature	-20°C to +50°C
Weight / with Li-Ion battery	700g / 830 g
Overall power consumption	500 mA
Sensor tube dimensions (W x D x H)	1,070 x 22 mm

FGM3D/75 Fluxgate

Number and orientation of sensors	2 pieces, laid horizontal, parallel
Specified measurement range	±75,000 nT (other ranges on request)
Number of sensor axis	3
Distance between sensor center points	1,000 mm
Noise level @1Hz [pT/ (Hz)]	10 pT < sensor M1= 50 pT* 10 pT < sensor M2= 30 pT

Datalogger

Power	50 mA
Sensor input	Internal wired
User Interface	On/Off + Start/Stop button; status LED
Survey mode	Recording when start/stop pressed
Sampling rate	250 Hz (higher rates on request)
Live data output	2 Hz (via serial interface)
Internal memory	8 GB
Datalogger dimensions (W x D x H)	230 x 128 x 43/73 mm

Abbildung 4: Technische Spezifikationen des Drohnen Magnetik Messgerätes MagDrone R3 der Fa. SENSYS

Im ersten Projektjahr wurden mit diesem Gerät ausschließlich Bodenmessungen durchgeführt.

Elektromagnetik Messung – Eigenentwicklung der GeoSphere Austria

Im Rahmen dieses Projektes finden auch Messungen mit einem experimentellen Semi-airborne FDEM-UAV Elektromagnetik System statt. Dieses Messgerät ist eine Eigenentwicklung (Spezifikationen: 100-30000 Hz, Synchronisation über GNSS Zeitimpuls Sender stationär am Boden, Senderstrom 1-3 A, N=3, Senderschleife 20mx30m. Mobiler UAV-Empfänger mit 3 orthogonalen Empfängerspulen, Gesamtgewicht inkl. Batterien 5 kg) der GeoSphere Austria und wurde im Rahmen des Projektes FLOWCAST entwickelt. Alle weiteren Details dieses komplexen Messsystems, können dem Projektbericht entnommen werden (Schiller, 2023).

2.1 Leogang / Salzburg (Bergbauhalde)

In der Woche von 3. – 7. Juli 2023 fand eine erste Messkampagne mit mehreren Messteams in Leogang in Salzburg statt. Dabei wurden drei Geoelektrik Profile, 3 EM-Punktmessungen sowie Radiometrie- und Magnetik- Profilmessungen mit den Drohnenmessgeräten durchgeführt. Eine Drohnenbefliegung war aufgrund der topografischen Gegebenheiten (steiles Gelände und ungünstiger Baumbewuchs) nicht möglich, da die „Line of sight“ (= Sichtbarkeit der Drohne für den Piloten zu jeder Zeit der Befliegung) nicht gegeben war. Für die Fragestellung der 3D Geometrie des Haldenkörpers waren in erster Linie die Geoelektrik Messungen hilfreich, allerdings konnte in der Modellierung der spezifischen elektrischen Widerstände die Haldenunterkante nicht genau verortet werden, weshalb zusätzlich eine Refraktionsseismik Messung, die genau entlang der Geoelektrik Profile verläuft, geplant wurde. Diese 3 Messungen fanden von 11.-12.September statt.

2.1.1 Bodengeophysik

2.1.1.1 Geoelektrik

Im Zeitraum vom 03. – 05.07 2023 wurden 3 Geoelektrikprofile im Bereich der Halde bei

Hütte/Leogang (Ottenthal Stollenhalde) vermessen.

Die Spezifikationen der geoelektrischen Profile Hütten P1, P2 und P3 sind Tabelle 3 zu entnehmen. Die Lage der Geoelektrik- und Seismikprofile zeigt Abb. 5.

Profilbezeichnung	Multielektrodengeoelektrik		
	Gradient, Schlumberger, Dipol-Dipol		
	Elektrodenabstand [m]	Profillänge [m]	Messrichtung
Hütten P1	2.0	184	S-N
Hütten P2	1.5	138	O-W
Hütten P3	2.5	230	SO-NW

Tabelle 3: Spezifikation des geoelektrischen Profils Hütten P1, P2 und P3

In Abb. 6 bis 8 sind die Inversionsergebnisse der geoelektrischen Messprofile Hütten P1, P2 und P3 als Ergebnis der Inversionsrechnung mit Res2DInv abgebildet. Abb. 9 zeigt die Ergebnisse der Geoelektrikprofile mit der Auswertesoftware EarthImager© und in Abb. 10 ist der Vergleich dieser Auswertung mit den Ergebnissen der Refraktionsauswertung und der Laufzeittomografie der 3 seismischen Profile dargestellt. In Abb. 10 wurde als erster Interpretationsversuch die orange Linie (1. Refraktor aus Refraktionsseismik) als Felsoberkante interpretiert. Zusätzlich wurde die Grenzen des kartierten Haldenbereichs und die Schnittpunkte der Geoelektrikprofile eingezeichnet.

Eine weitergehende Interpretation wird im Folgeprojektjahr gemeinsam mit den Kollegen aus der KE Rohstoffgeologie weiterverfolgt.

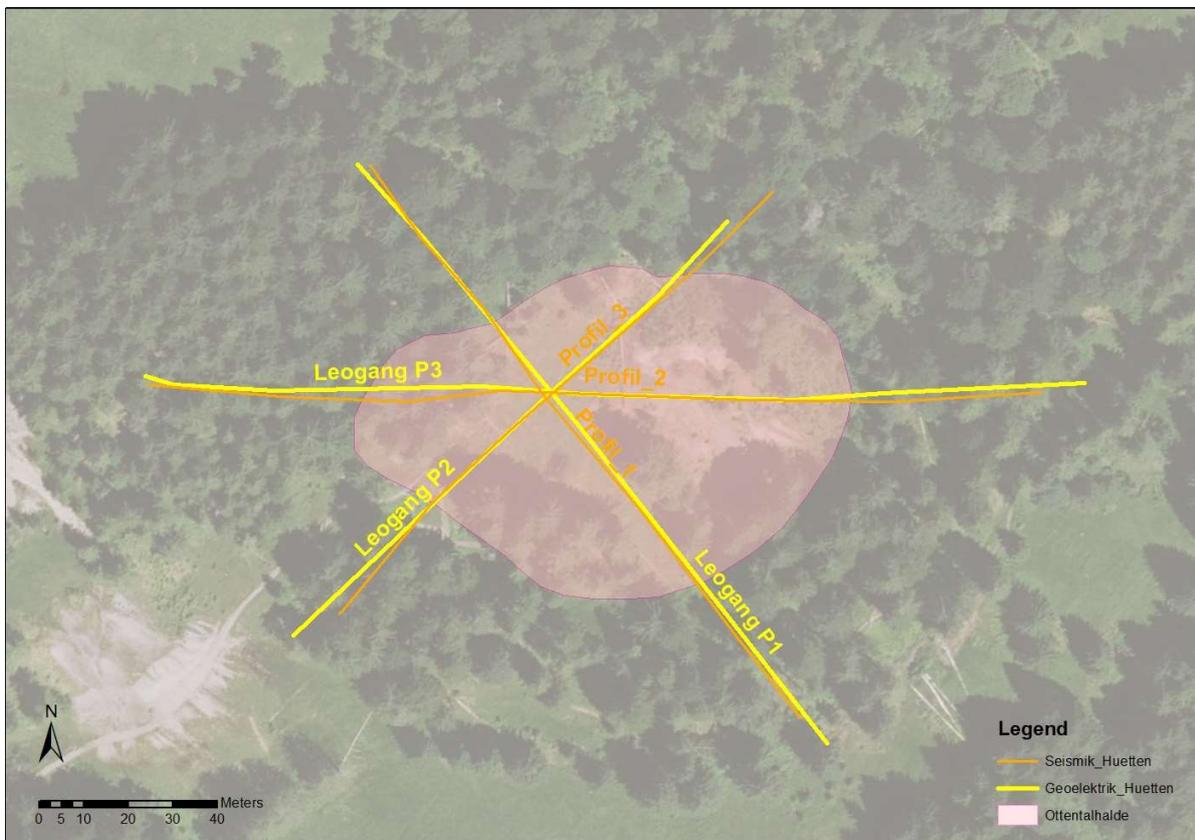


Abbildung 5: Lage der Geoelektrik- und Seismikprofile P1, P2 und P3 mit Umriss des kartierten Haldenbereichs

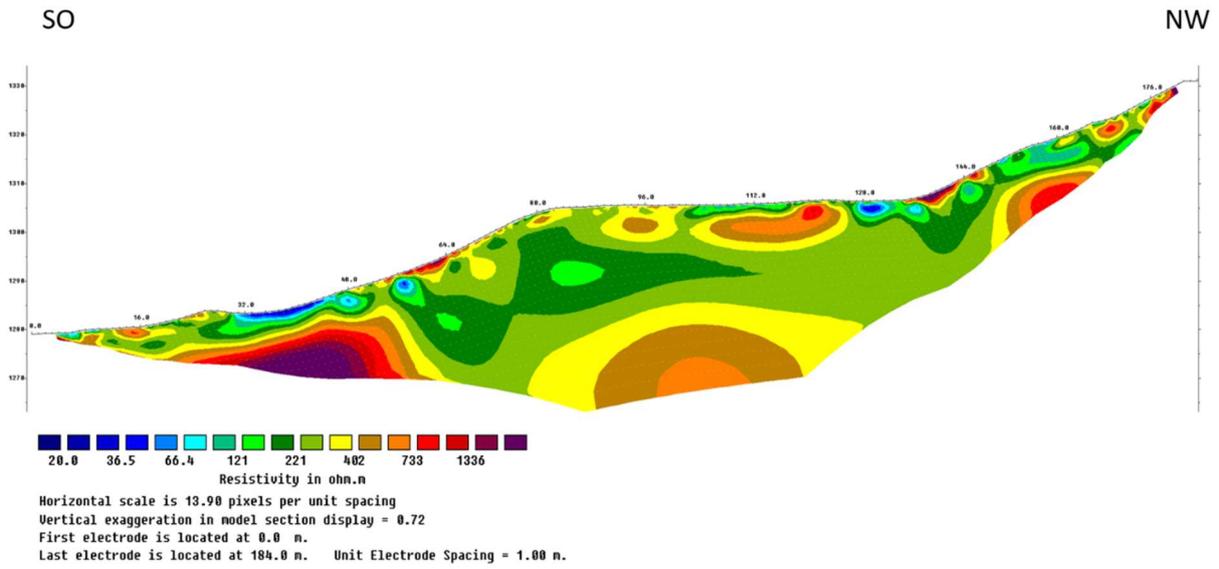


Abbildung 6: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient - Geoelektrikprofil P1

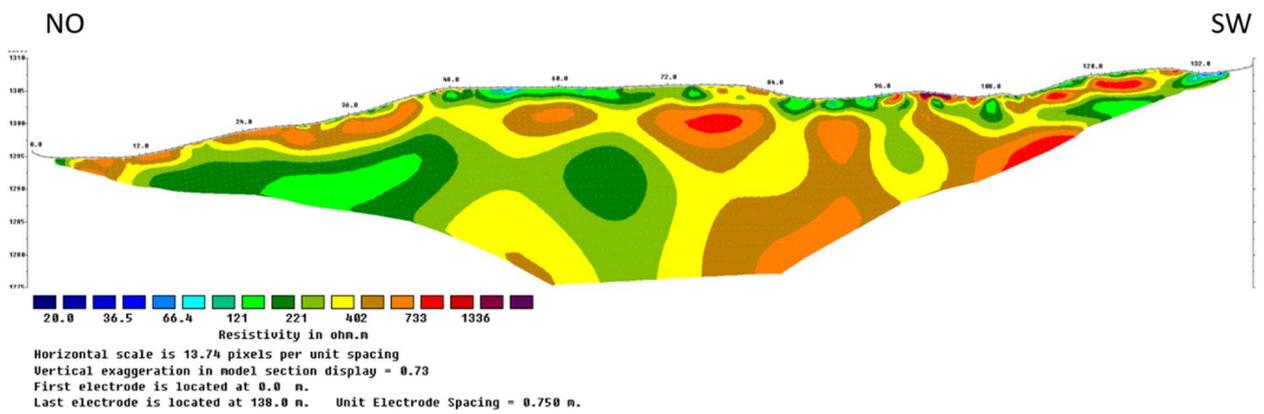


Abbildung 7: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient Geoelektrikprofil P2

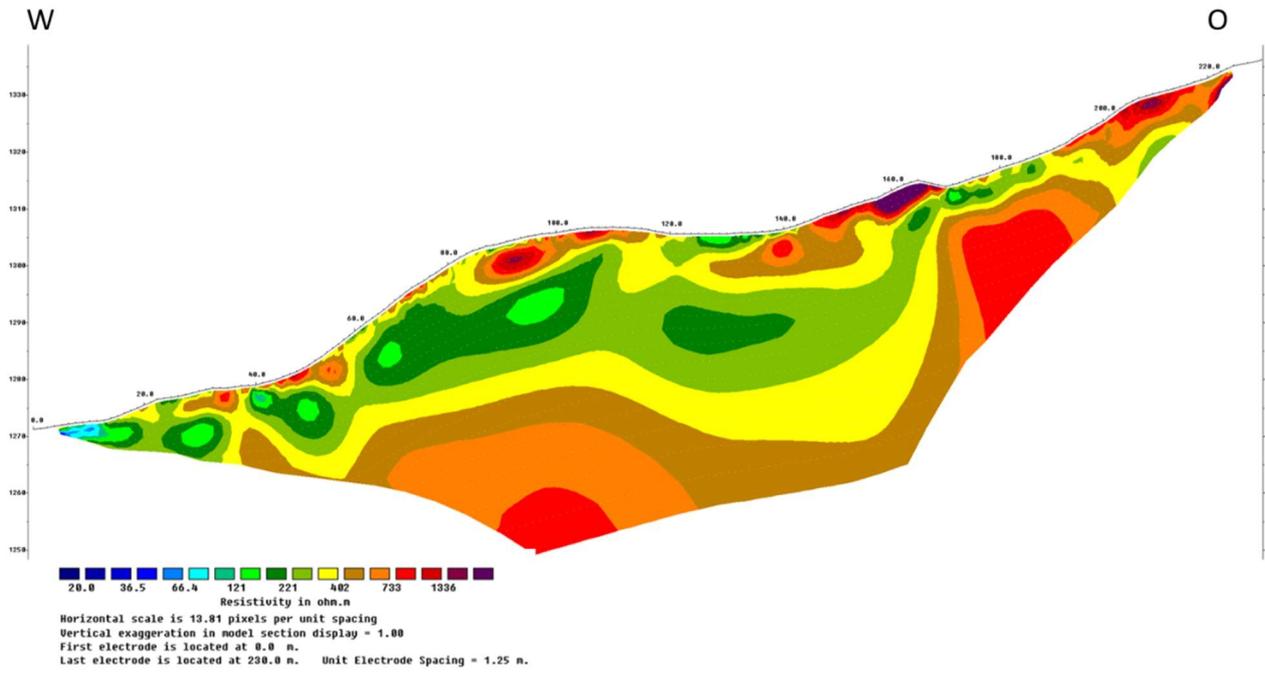


Abbildung 8: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient Geoelektrikprofil P3

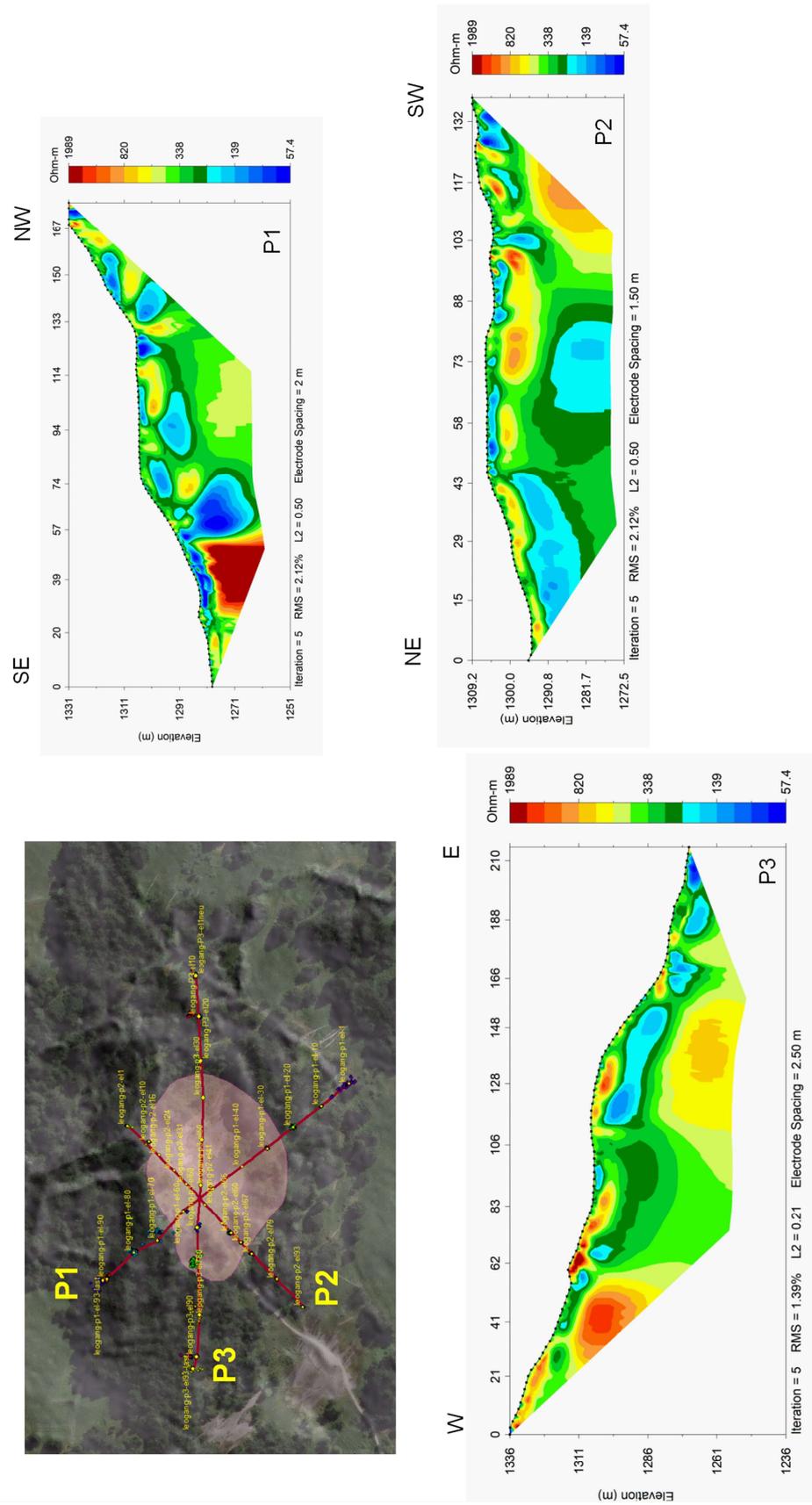


Abbildung 9: Gesamtdarstellung des Inversionsergebnisses EarthImager© (AGI) für die Messkonfigurationen Gradient der Geoelektrikprofile Otenthal Stollenhalde P1, P2, P3

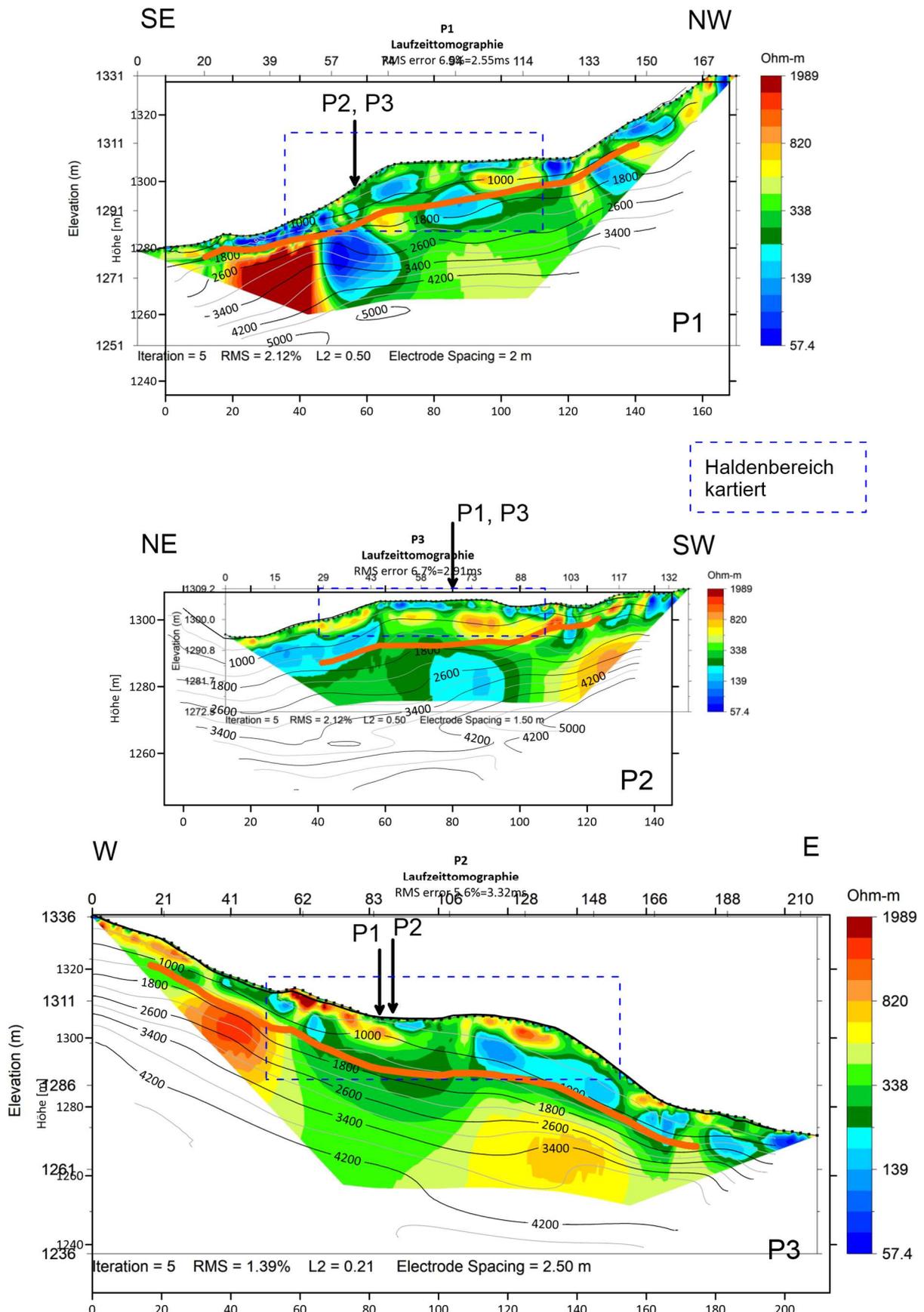


Abbildung 10: Gesamtdarstellung des Inversionsergebnisses EarthImager® (AGI) der Geoelektrikprofile Ottenthal Stollenhalde P1, P2, P3 im Vergleich zu den Ergebnissen der Seismik (Isolinien der Geschwindigkeiten in den Abbildungen)

2.1.1.2 Refraktionsseismik und Refraktionstomographie

Die refraktionsseismischen Messungen wurden am 11.09. und 12.09.2023 bei exzellenten Wetterbedingungen entlang dreier Profile durchgeführt. Die Messungen am Profil P1 mit einer Südost-Nordwest Ausrichtung erfolgten mit 57 Stück 30 Hz Geophonen, am Profil P2 mit einer West-Ost Ausrichtung mit 72 Geophone und am Profil 3 mit einer Nordost-Südwest Ausrichtung mit 48 Geophonen. Als Geophonabstand wurde bei jedem Profil 3 m gewählt und es konnten somit Gesamtprofilängen von ca. 155 m für P1, ca. 197 m für P2 und 135 m für P3 erreicht werden. Um eine adäquate Schussüberdeckung zu erreichen, wurde, beginnend beim ersten Geophon, an jedem zweiten Geophon mittels 5 kg Vorschlaghammer angeregt. Bei jeder Schussposition wurde mindestens zweifach angeregt, um durch Stapeln der seismischen Spuren die Signalqualität zu erhöhen. An den Profilrändern wurde zudem auch dreifach gestapelt. Die Aufzeichnung der seismischen Daten erfolgte mit einem Geode Multikanalseismographen von Geometrics über eine Länge von 512 ms mit einer Samplingrate von 0.25 ms. Das Bestimmen der Ersteinsätze für die refraktionsseismische Auswertung wurde im Programm ReflexW durchgeführt und die Inversion der gepickten Ersteinsätze erfolgte im Programm Rayfract®. Die Darstellung der refraktionsseismischen Ergebnisse erfolgt als farbkodierte 2D-Sektionen der seismischen P-Wellengeschwindigkeit. Eine Zusammenfassung der Aufnahmeparameter der drei Profile findet sich in Tabelle 4.

Profil	P1	P2	P3
Geophonart	Vertikal (P-Welle), 30 Hz	Vertikal (P-Welle), 30 Hz	Vertikal (P-Welle), 30 Hz
Anzahl Geophone	57	72	48
Auslagelänge (ca.)	155	197	135
Geophonabstand	3 m	3 m	3 m
Schussabstand	6 m	6 m	6 m
Schussquelle	Vorschlaghammer 5 kg	Vorschlaghammer 5 kg	Vorschlaghammer 5 kg
Stacking	2-3	2-3	2-3
Horchzeit	512 ms	512 ms	512 ms
Abtastrate	0.25 ms	0.25 ms	0.25 ms
Vermessung	RTK-GNSS	RTK-GNSS	RTK-GNSS

Tabelle 4: Aufnahmeparameter der refraktionseismischen Messungen.

Interpretation

Die Ergebnisse der 2D Refraktionstomographie (unten) und die Interpretation für alle drei Profile sind in der Abb. 11 dargestellt. In den Ergebnissen der Refraktionstomographie ist durch die rote Linie auch noch die interpretierte Felsoberkante, abgeleitet durch eine Synthese der 2D Refraktionstomographie und 1D Refraktionsauswertung eingezeichnet. Die 2D Refraktionstomographie zeigt den, für die Methode typischen, Anstieg der seismischen Geschwindigkeit mit der Tiefe. Dabei zeichnet sich die oberflächennahe Verwitterungsschicht durch Geschwindigkeiten bis zu 1000 m/s, der anstehende Fels (hier Dolomit) durch Geschwindigkeiten bis zu 4500 m/s aus. Der Haldenkörper befindet im Geschwindigkeitsbereich von ca. 500-1600 m/s. Die in der Interpretation eingezeichnete Verwitterungsschicht, die entlang der Felsoberkante unter dem Haldenkörper verläuft, ist durch die Auflast des Haldenkörpers stark verdichtet und zeichnet sich im Vergleich zu den Bereichen ohne Haldenkörper durch erhöhte Geschwindigkeiten bis zu 1600 m/s aus. Die interpretierten Maximalmächtigkeiten der Verwitterungsschicht und des Haldenkörpers sind mit ca. 4 und 15 m angegeben. Im Überschneidungsbereich der Profile ist der Haldenkörper ungefähr 12.5 m mächtig.

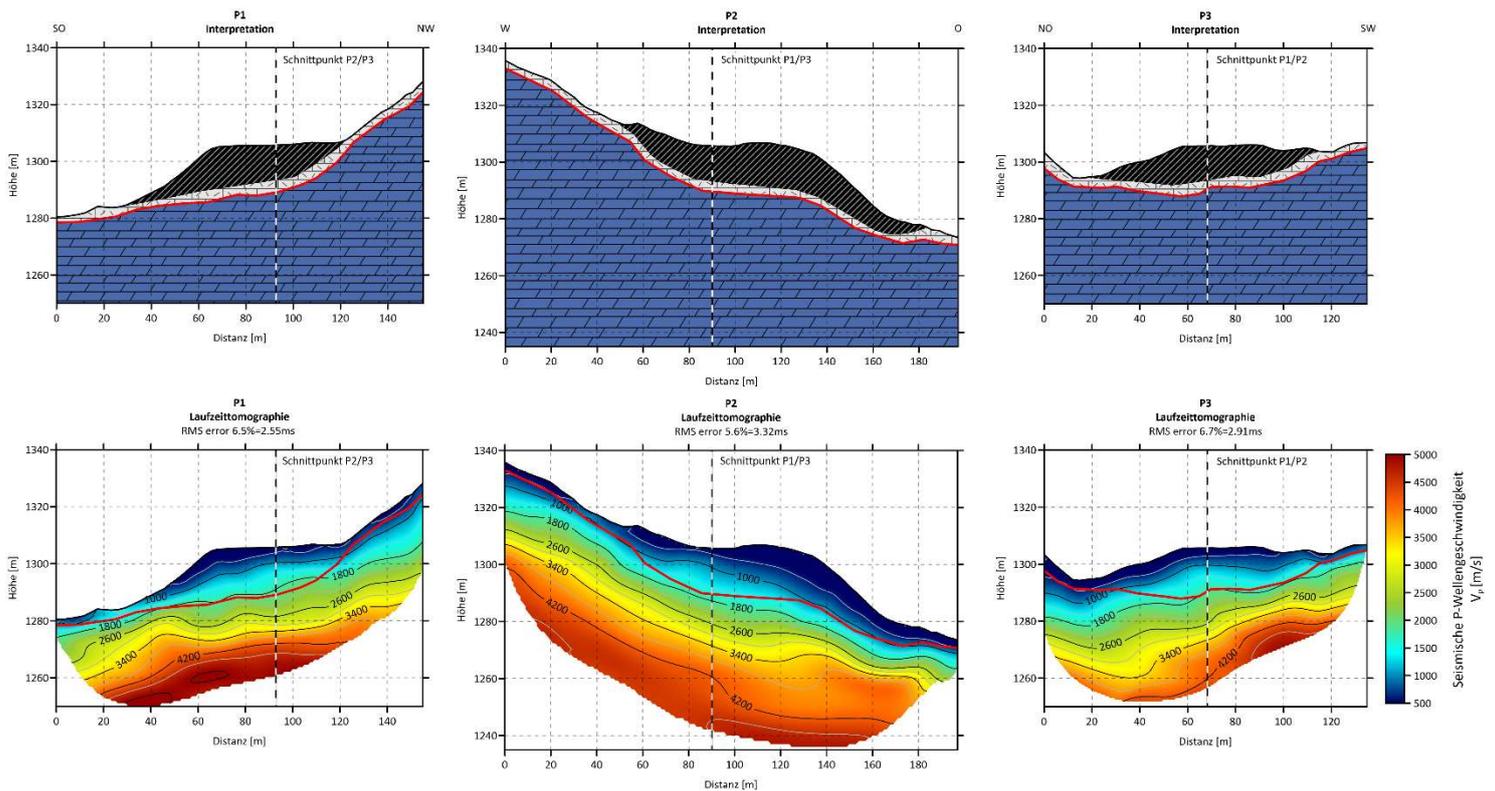


Abbildung 11: Ergebnisse der 2D Refraktionstomographie

Auswertung

Die Auswertung der refraktionsseismischen Daten erfolgt mit den Softwarepaketen *ReflexW* (Sandmeier geophysical research) und *Rayfract*[®] (Intelligent Resources Inc). Bei Vorhandensein von Hin- und Rückschuss, für jeden Geophonpunkt kann eine Tiefenberechnung durchgeführt werden. Voraussetzung dabei ist, dass für jeden Refraktor eine über die gesamte Profillänge zusammenhängende Ersteinsatzkurve konstruiert werden kann. Diese Bedingung kann durch einen entsprechend gewählten Schusspunktabstand erfüllt werden. Die wesentlichen Schritte der Auswertung sind:

- Einlesen der seismischen Daten
- Zuweisung jedes Schusses und Geophon einer eindeutigen Position und Höhe entlang des Profils
- Signalprozessierung: Bandpassfilter, Amplitudenverstärkung bzw. Amplitudennormalisierung
- Bestimmen der Ersteinsätze der refraktierten Wellen
- Berechnung eines 2D Startmodells mit flachen Refraktoren. Dieses Modell dient zur automatischen Zuweisung der Ersteinsätze bzw. Laufzeiten zu den verschiedenen Refraktoren und zur Berechnung der Reziprokzeiten
- Manuelle Korrektur falsch zugewiesener Laufzeiten
- Berechnung der 1D-Refraktionsauswertung

Das Ergebnis dieser Auswertung bilden **1-dimensionale Schichtmodelle** der seismischen Geschwindigkeiten und Tiefen.

Die finalen Laufzeiten werden exportiert und für die Auswertung der Refraktionstomographie mit dem Softwarepaket *Rayfract*[®] herangezogen, das den Verlauf der Tauchwellen unter Hinzunahme der Fresnelzone berechnet (Watanabe et al., 1991). Dabei handelt es sich um ein iteratives Verfahren, das für ein automatisch auf Basis der Laufzeiten erstelltes, 2D-Startmodell der seismischen

Ausbreitungsgeschwindigkeit schrittweise verbessert. Die folgenden fünf Schritte werden dabei mehrmals durchlaufen:

- Es wird der Strahlenverlauf für jedes Schuss-Geophon-Paar im aktuellen Geschwindigkeits-Tiefen-Modell ermittelt. Hier kommt das Raytracing-Verfahren zum Einsatz.
- Berechnung der theoretischen Laufzeit zwischen Schuss und Geophon für den jeweils ermittelten Strahlenverlauf unter Berücksichtigung der Fresnel-Zone.
- Ermittlung der Laufzeitdifferenz zwischen theoretischem und gemessenem Wert für das jeweilige Schuss-Geophon Paar, sowie
- Modifikation des Geschwindigkeits-Tiefenmodells anhand der festgestellten Laufzeitdifferenzen durch Anpassung der Geschwindigkeitsdaten derjenigen Zellen, die vom Strahl durchlaufen wurden.
- Glättung des Geschwindigkeitsmodells

Sobald die Laufzeitdifferenz zwischen theoretischen und gemessenem Werte einen Schrankenwert nicht mehr übersteigt wird der Vorgang gestoppt. Das Ergebnis dieser Auswertung ist die **2-dimensionale Verteilung** der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Untergrund.

2.1.2 Drohnengeophysik

2.1.2.1 Radiometrie

Aufgrund der Steilheit des Geländes und der Höhe der Bewaldung rund um die Lichtung des Zentrums der Untersuchungen war eine flächige Drohnenbefliegung in ausreichender Nähe zum Untergrund nicht möglich, da die Sicht zu eingeschränkt war, um eine sichere Befliegung zu gewährleisten. Allerdings konnte ein Steigflug senkrecht über der Halde durchgeführt werden (grüner Punkt in Abb. 12). Die relativ kleine Lichtung konnte mit einer Bodenmessung abgedeckt werden. Dabei wurde das Gerät entlang von Profilen, die teilweise auch entlang der Geoelektrik und Seismik Profile verliefen, über das Gelände getragen. Die aus dieser Messung berechnete Countrate ist in den Abb. 14 dargestellt.

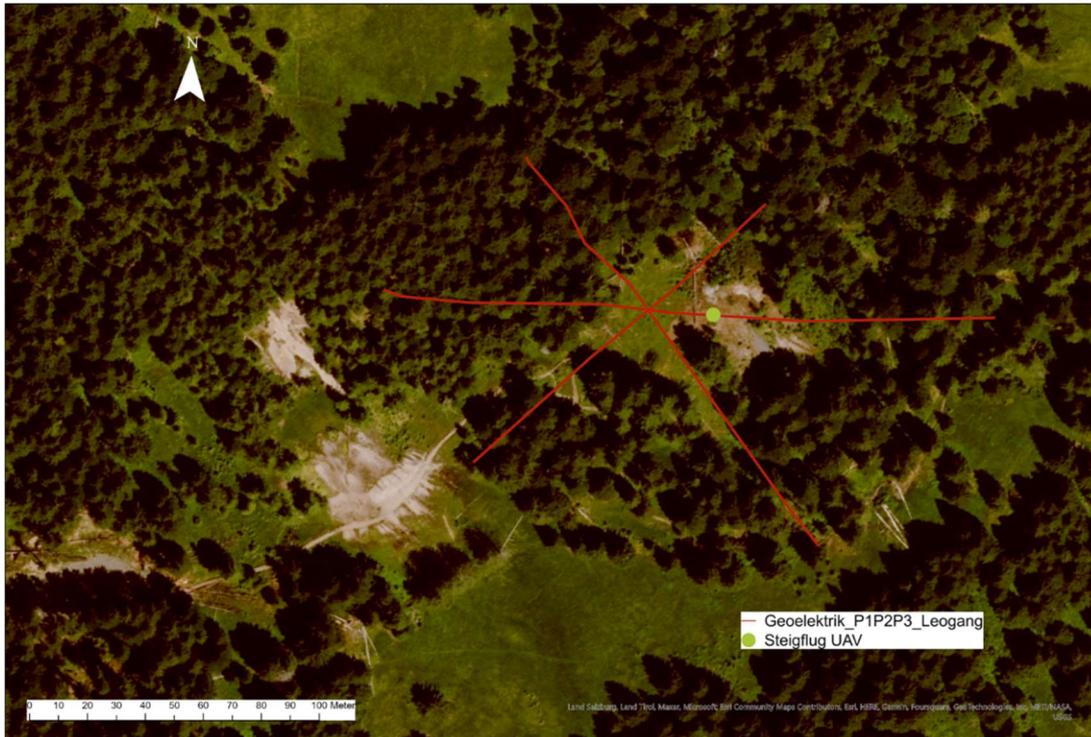


Abbildung 12: Untersuchungsgebiet Erzhalde Leogang. Der grüne Punkt bezeichnet die Lage des Steigfluges und befindet sich im Bereich des aufgeschlossenen Haldenmaterials. Die roten Linien bezeichnen die Lage der Goelektrik Profile.

Der Steigflug wurde oberhalb des nicht überwachsenen, aufgeschlossenen Haldenmaterials durchgeführt. Abb. 13 zeigt die einsatzbereite Drohne mit montiertem Radiometrie Messgerät im Vordergrund der Halde oberhalb welcher der Steigflug stattfand. Ziel war es zu untersuchen, wie sich die Abnahme der Radionuklidkonzentrationen mit steigender Höhe verändert, wenn sich zugleich der Footprint ändert, und wie diese Abnahme mit den, am Boden gemessenen, Ergebnissen korreliert. Der Steigflug wurde bis in ca. 120m Höhe durchgeführt. Der Großteil der Strahlung kommt in dieser Höhe aus einer Fläche mit einem Radius von 250m. Dabei wurde bei verschiedenen Höhenstufen jeweils rund eine Minute gemessen. Die berechneten Nuklidkonzentrationen jeder Stufe wurden dann gemittelt, prozessiert und in Diagrammen dargestellt.



Abbildung 13: einsatzbereite Drohne mit dem befestigten Radiometrie Spektrometer- im Hintergrund die Erzhalde oberhalb welcher der Steigflug durchgeführt wurde.

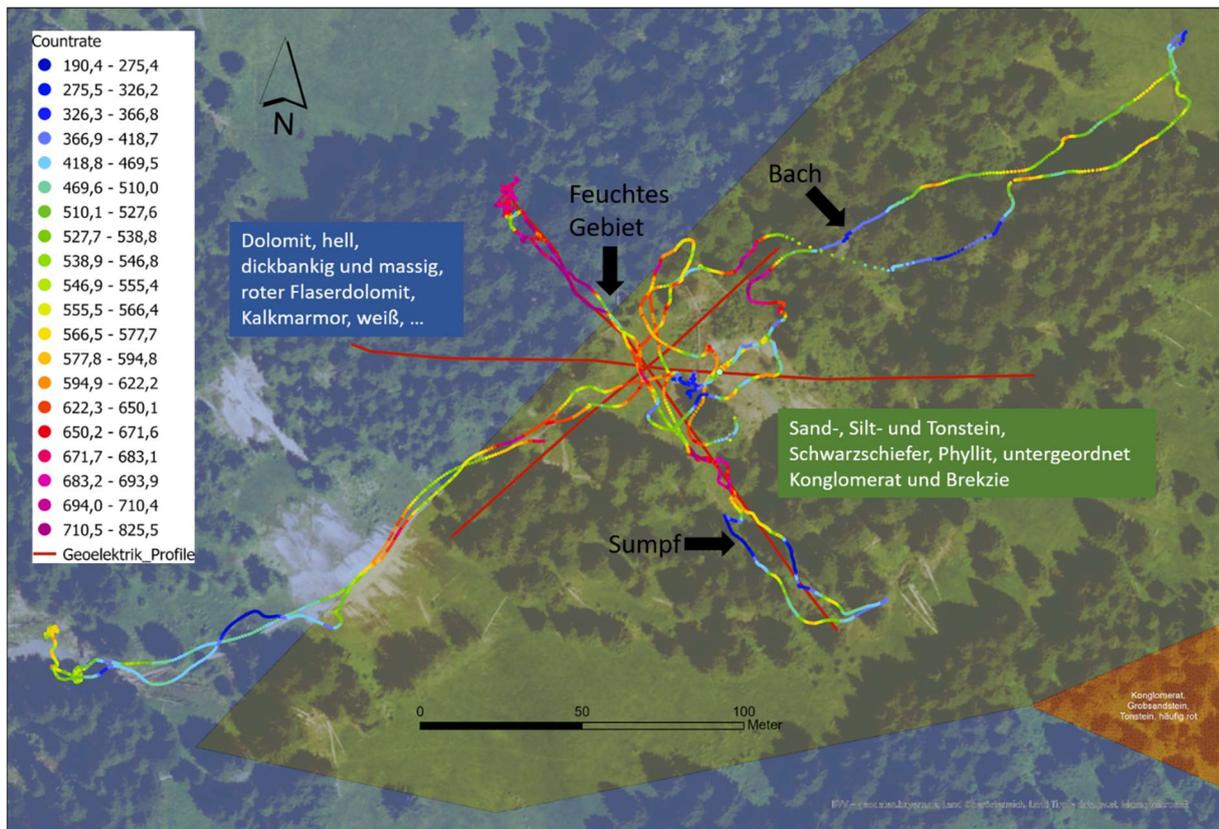


Abbildung 14: Countrate aus der Bodenmessung mit dem Gerät MS-700 im Bereich der Erzhalde Leogang -im Hintergrund das Orthofoto sowie transparent die Polygone der geologischen Karte von Salzburg im Maßstab 1:200 000.

Interpretation

Bezüglich der Korrelation der Countrate und der Elemente Kalium, Uran und Thorium mit den geologischen Gegebenheiten wurde keine konkrete Interpretation durchgeführt, da die Fragestellung im Zusammenhang mit der Erzhalde auf ihre vertikale Erstreckung zielt. Da durch radiometrische Bodenmessungen nur die Oberflächengesteine bis in maximal 0,5m Tiefe aufgelöst werden können, haben diese Messungen hier keine Relevanz.

Allerdings sollen in unterschiedlichen Rohstoffvorkommen auch drohnenradiometrische Daten gesammelt werden um am Ende der Projektlaufzeit einen Überblick über deren Absolutwerte zu bekommen. Außerdem sollen überprüft werden, wie die mit der Drohne gesammelten Daten mit jenen der mit unterschiedlichen Bodenmessgeräten gemessenen Daten zusammenpassen.

2.1.2.2 Magnetik

Die zu untersuchende Struktur (Halde) ist relativ klein und von Wald umgeben bzw. besetzt. Ein Flächenscanning ist nur möglich, wenn die Drohne in sicherem Abstand über den Bäumen fliegt, d.h. in etwa 50m über Boden. In Anbetracht der relativ kleinen Struktur, ist die Auflösung der Magnetik, wie auch der Elektromagnetik, aus der Luft zu gering, um in diesem Fall verwertbare Information zu liefern. Außerdem ist durch die Bäume die Sicht auf die Drohne nur in wenigen Teilen des Arealen möglich (UAV Einsatz-Kategorie A1/3). Fazit: Leogang ist für hochauflösende Befliegungen in niedriger Höhe nicht geeignet. Für geringer auflösende Befliegungen über Baumwipfeln gibt es allerdings Möglichkeiten, die noch getestet werden müssen.

Da eine Drohnenbefliegung im Messgebiet Leogang nicht möglich war, wurde eine Bodenmagnetik-Messung mit dem Gerät *MagDrone R3* durchgeführt (Abb. 15). Da die laterale Ausdehnung des Untersuchungsobjektes (Haldenkörper) relativ kleinräumig ist, kann auch mit einer Bodenmessung

eine gute Überdeckung des Messgebietes erreicht werden. Um die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Geoelektrik-, Seismik- und Radiometrie- Messungen korrelieren zu können, wurde entlang der Geoelektrik Profile 1 und 2 gemessen.

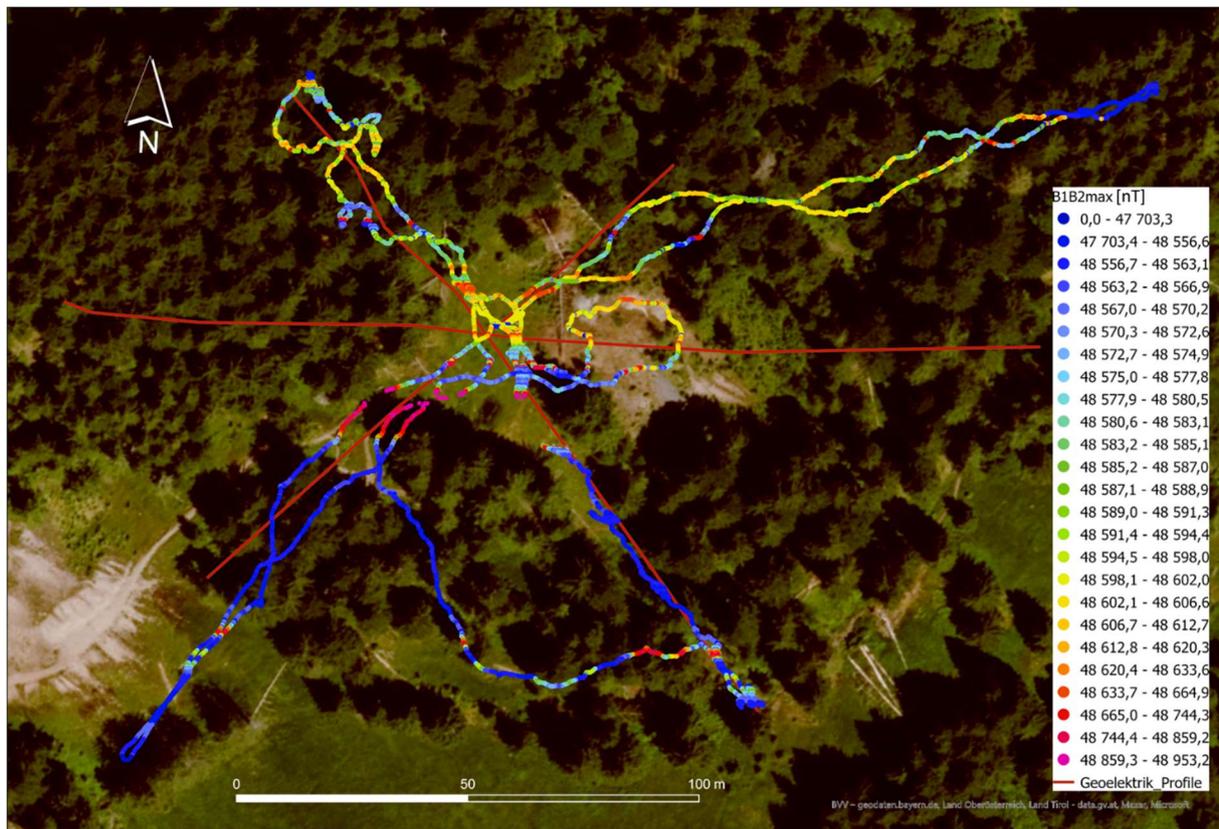


Abbildung 15: Totalintensität [nT] im Messgebiet Leogang

2.2 Schwaz / Tirol (Bergbauhalde)

Von 11. -15. September fanden erste bodengeophysikalische Messungen im Messgebiet Schwaz statt. Dabei wurden einerseits klassische Radiometrie- und EM- Bodenmessungen durchgeführt. Im gleichen Zeitraum wurden mit Drohnenmessgeräten Bodenmessungen (Radiometrie, Magnetik und EM) vorgenommen. Außerdem wurde eine Geländebegehung für die Planung von Geoelektrik- und Seismik- Messungen mit Vorort kartierenden Geologen der GeoSphere durchgeführt. Diese Messungen sind im 2. Projektjahr geplant.

2.2.1 Bodengeophysik

2.2.1.1 Bodenradiometrie

Am 13.09.23 wurden über die Halde Schwaz verteilt insgesamt 11 Einzelmessungen (3 Minuten Messzeit) plus mehrere Profile (Totalcount jede Sekunde und Spektren integriert über 30 Sekunden) durchgeführt. Die Lage der Einzelmesspunkte und der Totalcountmesspunkte ist in Abbildung 34 dargestellt. Dabei wurde das Gerät direkt auf den Erdboden gestellt und die Position mit einem GPS-Empfänger (Mobiltelefon Sony) bestimmt.

Die Ergebnisse der Einzelspektralmessungen sind in Tab. 5 zusammengefasst. Wie aus den statistischen Parametern zu erkennen ist, herrscht eine sehr homogene Verteilung von Kalium, eUran und eThorium vor. Die natürliche Strahlenbelastung liegt bei 22.4 nSv/h (=0.2 mSv/a). In Tab. 6 sind die statistischen Kennwerte der 30 Sekunden Messungen entlang der Profile zusammengefasst. Mit Ausnahme eines

kleinen Bereichs im NE der Halde, sind auch hier die Werte sehr homogen.

Id	Totalcount [cpm]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	Dose [nSv/h]	Latitude [WGS84]	Longitude [WGS84]	Altitude [m]
4382	1515,5	0,4	1,8	1,9	24,4	47,351648	11,75255	1152
4392	1395	0,2	1,8	0,9	18,1	47,352498	11,752957	1135
4406	2916,9	0,9	1,9	4,9	43,1	47,352705	11,752228	1112
4415	1522,4	0,2	1,9	1,5	20,8	47,352163	11,751372	1084
4416	1223,7	0,3	2,2	0,9	21,2	47,351992	11,751158	1107
4417	1246	0,2	2,2	0,6	20,2	47,351965	11,751188	1085
4418	1445,5	0,2	1,7	1,3	18,5	47,351758	11,750313	1092
4419	1137,7	0,2	1,9	1,4	21	47,351302	11,750392	1083
4420	1371,3	0,3	2,2	2	26	47,350957	11,750143	1080
4421	1189,6	0,3	1,2	0,9	15,6	47,350378	11,749217	1093
4422	1228,9	0,3	1,7	0,6	17,2	47,352433	11,752198	1108
Mittelwert	1472,0	0,3	1,9	1,5	22,4			
Median	1371,3	0,3	1,9	1,3	20,8			
Min	1137,7	0,2	1,2	0,6	15,6			
Max	2916,9	0,9	2,2	4,9	43,1			

Tabella 5: Ergebnisse Radiometrie Einzelmessungen 3 Minuten Halde Schwaz.

n=143	Totalcount [cpm]	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	Dose [nS.v/h]
Mittelwert	1543,1	0,3	1,9	1,6	22,8
Median	1514,1	0,3	1,8	1,6	23,1
Min	1185	0	0,5	0	9,1
Max	2316,8	0,8	3,5	4,9	36,9

Tabella 6: Ergebnisse Radiometrie Profilmessungen 30 Sekunden Halde Schwaz.



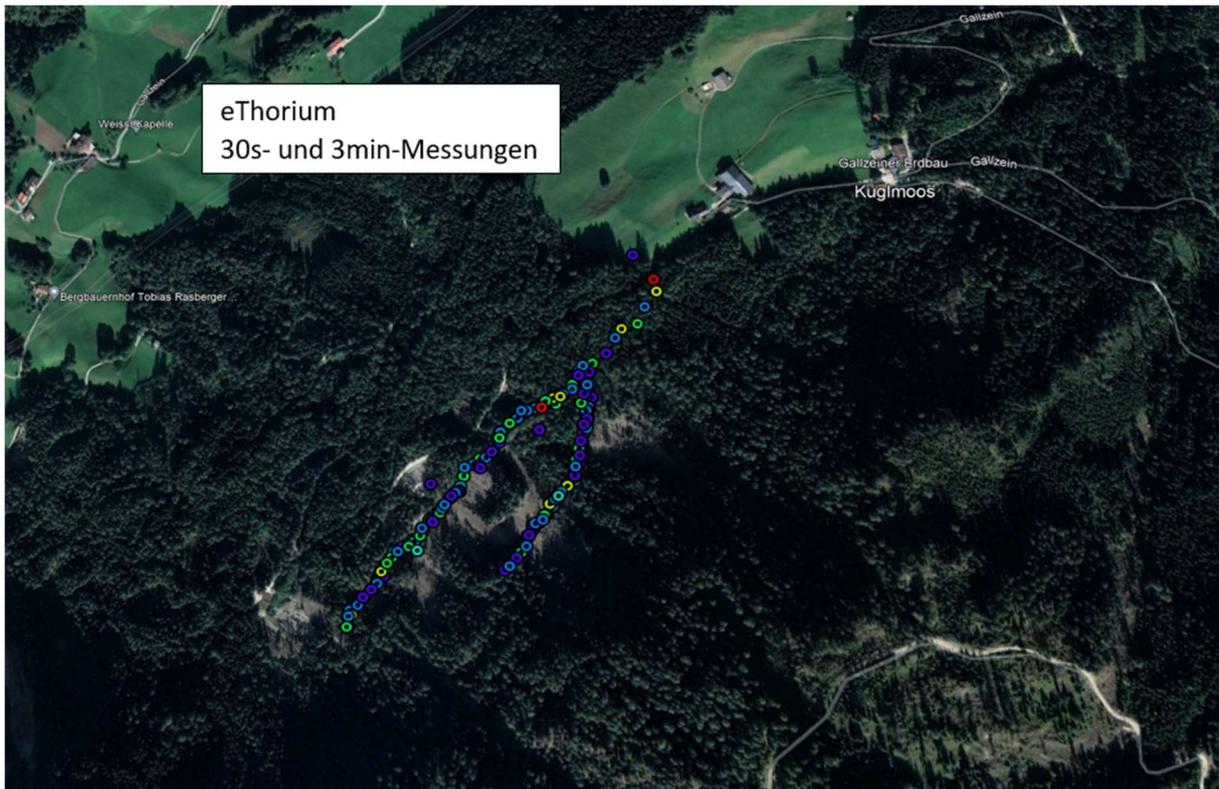


Abbildung 16: Radiometrie Schwaz: Totalcount 1s-Messungen, eThorium 30 s- und 3 min-Werte.

2.2.1.2 Elektromagnetik

Die Lage der beiden in Schwaz gemessenen EM-Profile ist aus Abb. 17 ersichtlich. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger betrug 100 Meter, der Messpunktabstand 10 Meter.

Die gemessenen In- und Out-Phase Werte dienen als Input für das Inversionsprogramm IX1D der Firma Interpex und als Ergebnis erhält man pro Messpunkt einen horizontalen Mehrschichtfall mit wahren elektrischen Widerständen. Durch das Variieren mehrerer Inversionsparameter (vor allem der Anzahl der Schichten) kann der Fehler des Inversionsergebnisses verkleinert werden. In Abb. 18 und Abb. 19 sind die Ergebnisse der Inversionen der beiden Profile dargestellt.

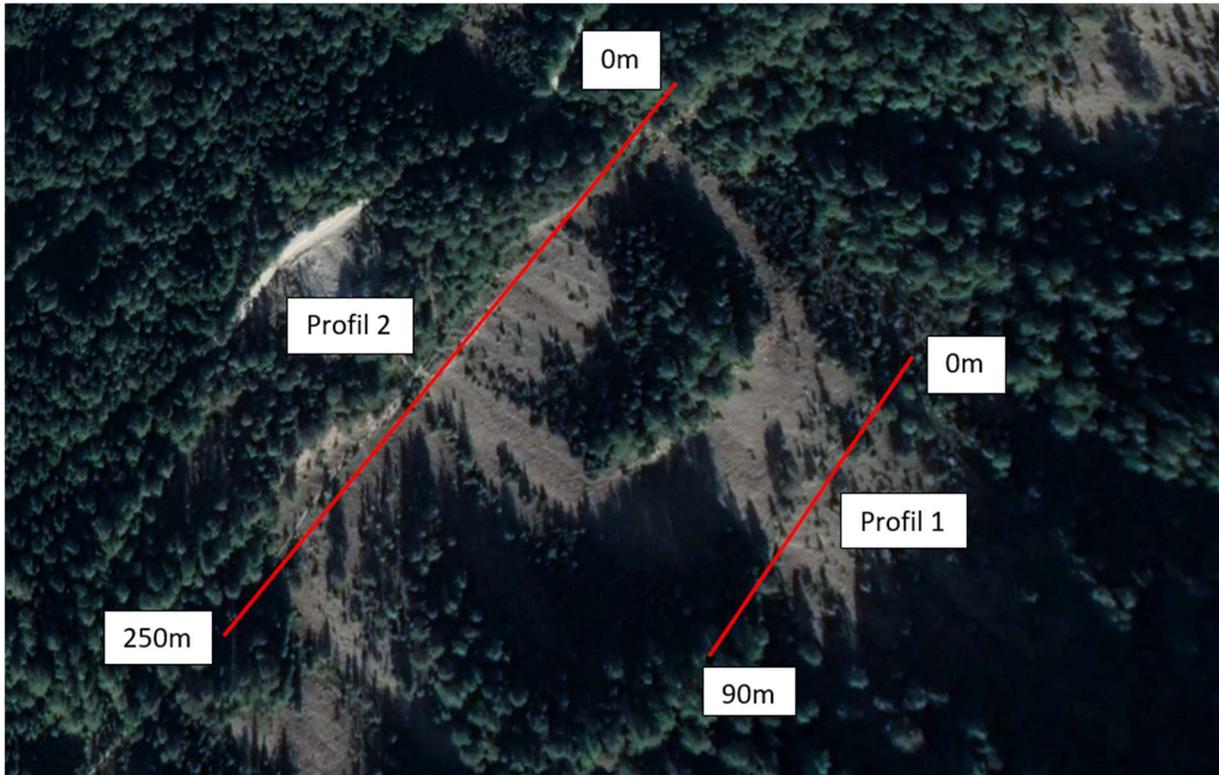


Abbildung 17: Lage der EM-Profile.

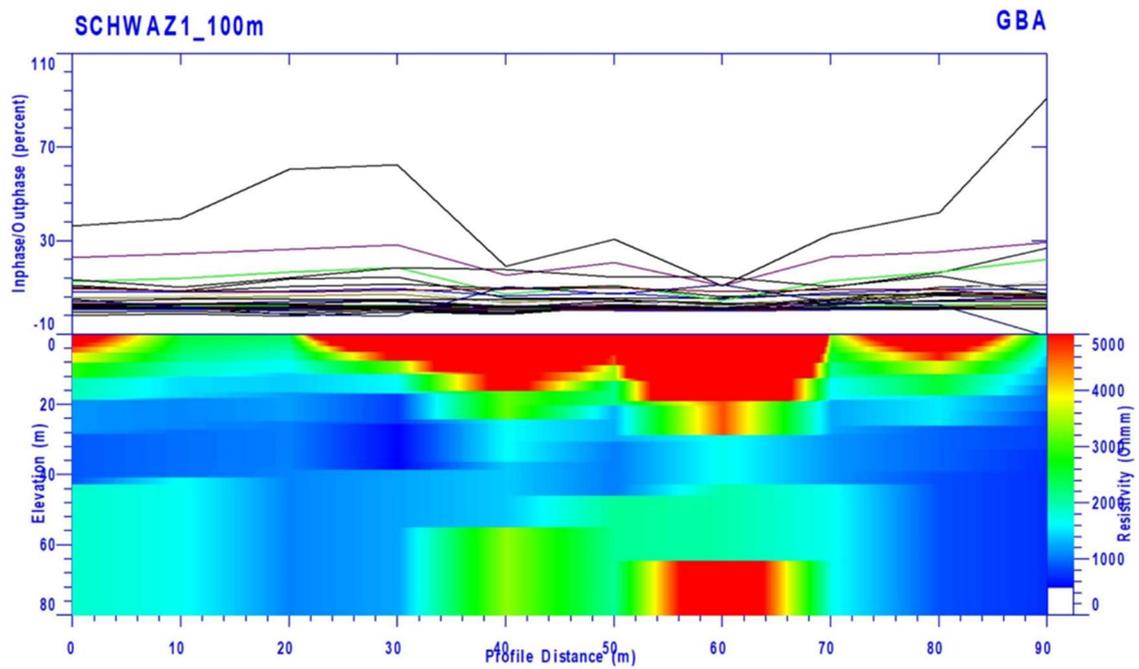


Abbildung 18: Ergebnis der Inversion für Promis - Profil 1.

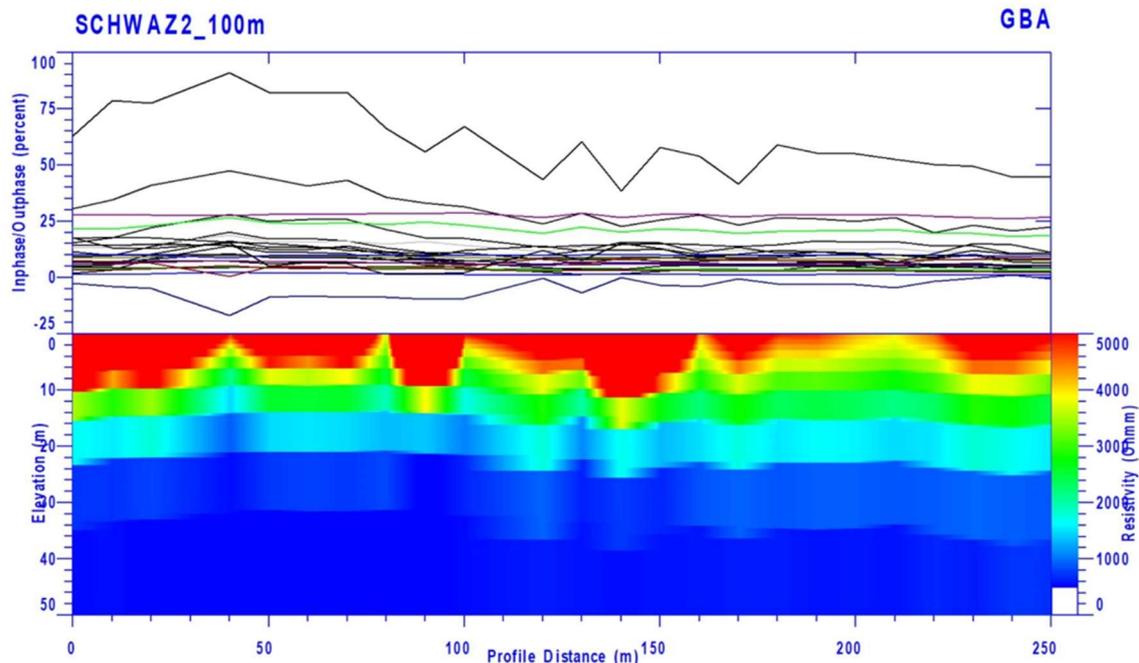


Abbildung 19: Ergebnis der Inversion für Promis - Profil 2.

Beide Profile zeigen sehr hohe Widerstände (500 Ωm bis einige tausend Ωm) und die auf Grund der Topographie unvermeidlichen Fehler im Tx-Rx-Abstand, wirken sich daher verstärkt aus. Profil 1 und 2 zeigen eine Abnahme des elektrischen Widerstandes mit der Tiefe, Profil 1 teilweise einen 3-Schichtfall. Die RMS-Fehler der Inversionen liegen bei 19 bzw. 7%.

2.2.2 Drohnengeophysik

Für die Drohnenbefliegung, die für das nächste Projektjahr geplant ist, wurden das Gelände im Haldenbereich im Hinblick auf die Durchführbarkeit der Messungen begutachtet:

Die Halde ist sporadisch mit Bäumen besetzt und das Gefälle nahe dem kritischen Winkel, es gibt an der Halde keine ausreichende Start- und Landemöglichkeit. Das ist aber notwendig, um die Sicht auf die Drohne zu gewährleisten (UAV Kategorie A1/3). Der nächste geeignete Start/Landeplatz liegt an einem Lagerplatz an der nahen Forststraße, allerdings verstellt ein Wald die Sicht. Als Konsequenz wird für solche Situationen ein Pilotierungsverfahren eingeführt mit zwei Piloten: Der erste Pilot startet die Drohne und bringt sie über die Baumwipfel bis sie in Sicht des zweiten Piloten am Messareal ist. Dieser übernimmt mit einer zweiten Fernsteuerung auf derselben Frequenz und verfolgt/kontrolliert den Messflug über dem Messareal. Nach beendeter Messung steuert der zweite Pilot die Drohne wieder in Sichtweite des Start-/Landepiloten, der für die Landung übernimmt. Schwaz kann in weiterer Folge mit diesem Verfahren auch unter Baumhöhe befliegen werden (Plan für 2024).

2.2.2.1 Radiometrie

Am 13.9. fanden zeitgleich mit den bodenradiometrischen Aufnahmen, Bodenmessungen mit dem Gerät MS-700 statt (Countrate und Lage siehe Abb. 20). Ein Projektziel ist es, die Vergleichbarkeit der Drohnenmessgeräte mit, an der GeoSphere vorhandenen, Messgeräten zu vergleichen. Eine zeitgleiche Messung optimiert die Vergleichbarkeit, da die Dämpfung der Messwerte durch den Wassergehalt im Boden für beide Messungen dieselbe ist. Die Klassifizierung der unten dargestellten Ergebnisse umfasst jeweils die Gesamtdynamik der berechneten Werte, und beinhaltet noch keine statistische Analyse.

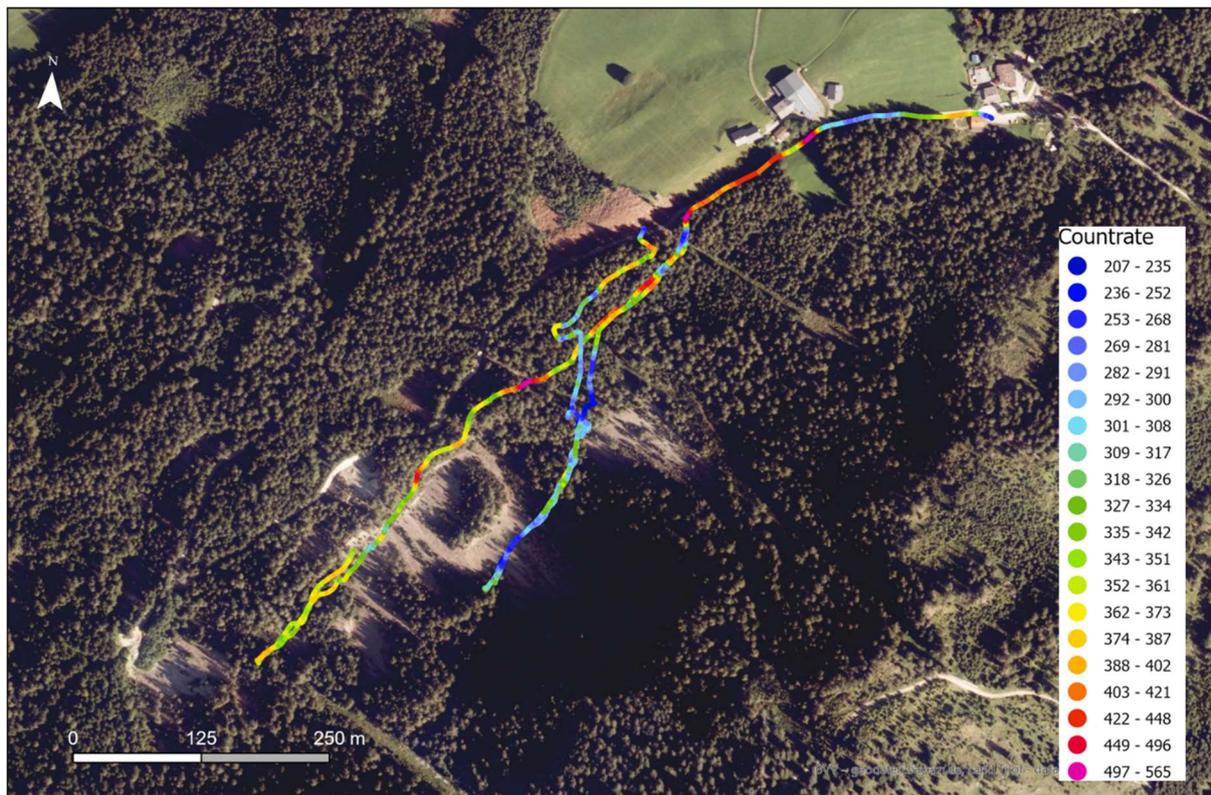


Abbildung 20: Countrate-Bodenmessung mit dem Gerät MS-700 im Bereich der Erzhalde Schwaz

2.2.2.2 Magnetik

Für den Vergleich mit den, von der Luft aufgenommenen, Messungen die für das nächste Projektjahr geplant sind wurden am 13.9. fünf Bodenprofile mit dem Messgerät MagDrone R3 vermessen. Die Auswertung erfolgt im 2. Projektjahr.

2.2.2.3 Elektromagnetik

Da EM-Messungen für die Fragestellung der Geometrie von Bergbauhalden generell gut geeignet sind (Tiefenauflösung je nach gewähltem Frequenzspektrum von mehreren Zehner Metern), fanden im ersten Projektjahr in Schwaz Testmessungen mit dem Drohnen-EM Messgerät statt. Bei dieser Messkonfiguration befindet sich der Sender am Boden (eine größere Spule wird dabei ausgelegt) und der an der Drohne befestigte Empfänger fliegt das geplante Mess-raster bzw. -profil ab. Die Sendespule sollte am besten auf einer ebenen Fläche ausgelegt werden, um methodische Fehlerquellen zu minimieren. Aufgrund der topografischen Rauheit sowie der Steilheit des Geländes im Messgebiet Schwaz ist dies aber eine sehr herausfordernde Aufgabenstellung. Trotzdem sollen auch hier Daten gesammelt werden, um zu testen wie dieses System in solch einer grenzwertigen Situation funktioniert und ob valide Daten generiert werden können. Da in diesem Projektjahr in diesem Gebiet zwei Boden-EM Profile gemessen wurden, und für nächstes Jahr ebendort ein Geoelektrik Profil geplant ist, sind die Voraussetzungen für eine Evaluierung des Drohnen-EM Systems gegeben, da das Ergebnis aller drei Messmethoden, Modelle des spezifischen elektrischen Widerstandes entlang von Profilen beinhalten.

2.3 Leisach / Osttirol (Bergsturzaflagerungen)

Von 6. – 9. November fanden Messungen der Radionuklidkonzentrationen mit dem Drohnenmessgerät MS-700 statt. Einerseits wurden Bodenmessungen entlang der Straße im Bergbaugelände und andererseits 4 Flugmessungen durchgeführt. Bei den ersten zwei Flügen wurde versucht mit

Profilflügen eine möglichst gute Überdeckung aller im Gebiet kartierter geologischer Schichten zu erreichen. Am zweiten Flugtag lag der Fokus auf Wunsch des Bergwerkbetreibers auf dem Gebiet im NO des Untersuchungsgebietes. Da das Gelände zwar steil aber relativ übersichtlich ist, konnte auf Sicht in ungefähr 15-20m Höhe über der Geländeoberkante geflogen werden. Abb. 21 zeigt die Countrate sowohl der Ergebnisse der Flugmessungen als auch jene der Bodenmessungen. Es ist zu beachten, dass die Bodenmessungen mit einem Footprint von ca. 40cm ein deutlich höheres Auflösungsvermögen besitzen als die Drohnenmessungen (Footprint von bis zu 30m Radius). Auch wurde noch keine Höhenkorrektur der Drohnenmessungen durchgeführt und die Ergebnisse sind daher entsprechend abgeschwächt. Aufgrund der Steilheit und der Zerklüftung des Geländes müsste für valide Absolutwerte auch eine topografische Korrektur vorgenommen werden, da die zu den Zählraten beitragenden Massen sehr inhomogen im Raum verteilt sind. Für die Fragestellung, wo sich welche Einheiten befinden, kann aber mit den Daten in diesem Auswertestadium gearbeitet werden. Eine detaillierte geologische Interpretation der Ergebnisse kann dem Projektbericht des VLG-095 entnommen werden.

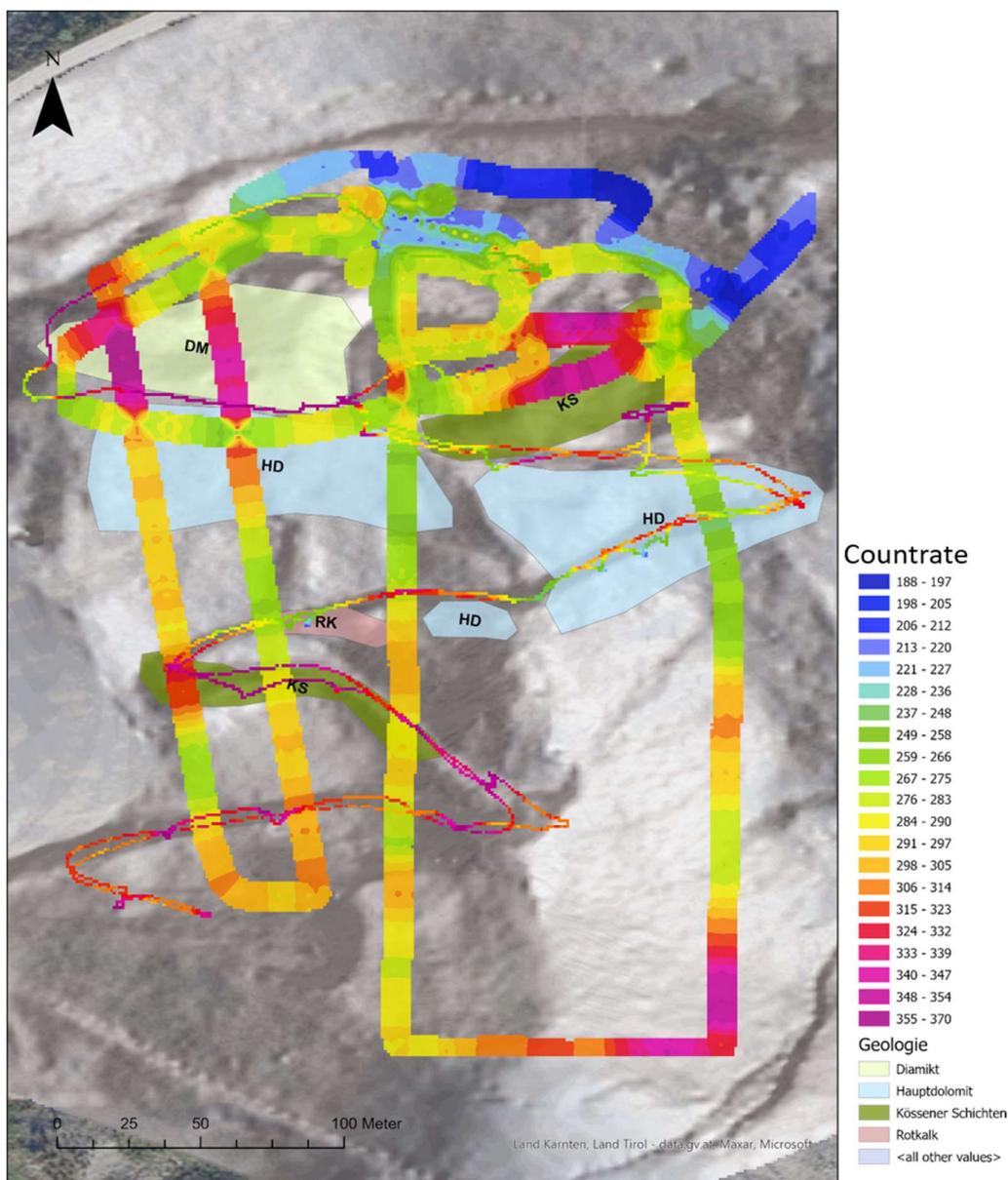


Abbildung 21: gemessene Zählraten; Drohnenmessung und Bodenmessung entlang der Straße

3 Verfügbarkeit der geophysikalischen Projekt-Ergebnisse

Die innerhalb dieses Projektes generierten Messergebnisse und ihre Auswertungen sollen in idealer Weise abgelegt und für zukünftige Verwendungen verfügbar gemacht werden. Innerhalb des Departments *Oberflächennahe Geophysik* gibt es für die Bereiche Bodengeophysik und Aero-geophysik eine seit Jahren gut funktionierende Infrastruktur, um diese Daten nachhaltig abzulegen. Herzstück bildet die Datenbank „Geophysik“, die als ständig erweiterbare Arbeitsdatenbank funktioniert. Diese beinhaltet im Wesentlichen alle an der früheren Geologischen Bundesanstalt generierten Metadaten der durchgeführten Messungen sowie einige ausgewählte Messergebnisse und ist für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der GeoSphere zugänglich. Bisher beinhaltet diese Datenbank allerdings noch keine drohnengeophysikalischen Daten, da das Messsystem erst seit Kurzem an der GeoSphere im Einsatz ist. Die Metadaten der Drohnen- Messungen werden daher derzeit noch in eigenen projektbezogenen GIS Projekten bereitgehalten, bis eine Zusammenführung mit der Geophysik Datenbank erfolgt.

Relevante Projektdaten (zumindest Messdaten und Ergebnisse der Auswertung) werden nach Messgebietsnamen geordnet am Server `\\FS-GPH\GPH_Geophysik\DATENBANK DATEN` in entsprechenden Unterverzeichnissen abgelegt. Um eine Bereithaltung der Drohnen-daten in analoger Weise zu gewährleisten, wurde hier ein weiteres Verzeichnis für die Ablage drohnengeophysikalischer Daten erstellt (`\\FS-GPH\GPH_Geophysik\DATENBANK DATEN\DROHNEN`).

Die INSPIRE-Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments erfordert eine einheitliche (interoperable) Beschreibung und Weitergabe von qualitativ hochwertigen Geoinformationen und deren Bereitstellung im Internet (Inspire EU, 2023; Inspire Österreich 2024). Deshalb wurde mit Esther Hintersberger (KE Basisdaten und Modelle) besprochen, welche Punkte es zu beachten gilt, um eine eventuell spätere INSPIRE-konforme Veröffentlichung der im Projekt generierten Metadaten und Daten zu erleichtern.

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messkampagnen im Projektjahr 2023	4
Abbildung 2: Montage des Radiometrie-Sensors MS-700 auf einen Oktokopter	6
Abbildung 3: Geräte Spezifikationen (lt. Hersteller) des Gammaskpektrometers MS-700 der Fa. Medusa Radiometrics.....	6
Abbildung 4: Technische Spezifikationen des Drohnen Magnetik Messgerätes MagDrone R3 der Fa. SENSYS.....	7
Abbildung 5: Lage der Geoelektrik- und Seismikprofile P1, P2 und P3 mit Umriss des kartierten Haldenbereichs.....	8
Abbildung 6: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient - Geoelektrikprofil P1.....	9
Abbildung 7: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient Geoelektrikprofil P2	9
Abbildung 8: Ergebnis Res2DInv© für die Messkonfigurationen Gradient Geoelektrikprofil P3	10
Abbildung 9: Gesamtdarstellung des Inversionsergebnisses EarthImager© (AGI) für die Messkonfigurationen Gradient der Geoelektrikprofile Ottenthal Stollenhalde P1, P2, P3	11
Abbildung 10: Gesamtdarstellung des Inversionsergebnisses EarthImager© (AGI) der Geoelektrikprofile Ottenthal Stollenhalde P1, P2, P3 im Vergleich zu den Ergebnissen der Seismik (Isolinien der Geschwindigkeiten in den Abbildungen)	12
Abbildung 11: Ergebnisse der 2D Refraktionstomographie	14
Abbildung 12: Untersuchungsgebiet Erzhalde Leogang. Der grüne Punkt bezeichnet die Lage des Steigfluges und befindet sich im Bereich des aufgeschlossenen Haldenmaterials. Die roten Linien bezeichnen die Lage der Geoelektrik Profile.....	16
Abbildung 13: einsatzbereite Drohne mit dem befestigten Radiometrie Spektrometer- im Hintergrund	

die Erzhalde oberhalb welcher der Steigflug durchgeführt wurde.....	16
Abbildung 14: Countrate aus der Bodenmessung mit dem Gerät MS-700 im Bereich der Erzhalde Leogang -im Hintergrund das Orthofoto sowie transparent die Polygone der geologischen Karte von Salzburg im Maßstab 1:200 000.....	17
Abbildung 15: Totalintensität [nT] im Messgebiet Leogang	18
Abbildung 16: Radiometrie Schwaz: Totalcount 1s-Messungen, eThorium 30 s- und 3 min-Werte... ..	20
Abbildung 17: Lage der EM-Profile.....	21
Abbildung 18: Ergebnis der Inversion für Promis - Profil 1.	21
Abbildung 19: Ergebnis der Inversion für Promis - Profil 2.	22
Abbildung 20: Countrate-Bodenmessung mit dem Gerät MS-700 im Bereich der Erzhalde Schwaz	23
Abbildung 21: gemessene Zählraten; Drohnenmessung und Bodenmessung entlang der Straße.....	24

5 Referenzen

- “INSPIRE Knowledge Base - European Commission,” July 31, 2023. https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/index_en.
- “INSPIRE Österreich, Inspire.” Accessed January 2, 2024. <https://www.inspire.gv.at/>.
- Schiller, Arnulf, Manon Trottet, Philippe Renard, Myeong-Jong Li, Luzian Wolf, Ingrid Schattauer, Anna Sara Amabile, Gerhard Kreuzer, Robert Schmittner, Vojko Daneu, Israel Ortiz, Gonzalo Merediz Alonso. „Project FLOWCAST - FINAL REPORT”, 2023. <https://doi.org/10.1553/ESS-Flowcast>
- Watanabe, Toshiki, Toshifumi Matsuoka, and Yuzuru Ashida. “Seismic Traveltime Tomography Using Fresnel Volume Approach.” In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1999*, 1402–5. Society of Exploration Geophysicists, 1999. <https://doi.org/10.1190/1.1820777>.