



**GeoSphere**  
Austria

Bundesanstalt für  
Geologie, Geophysik,  
Klimatologie und  
Meteorologie

**Department Oberflächennahe Geophysik**

Kompetenzeinheit Geoelektrik, Radiometrie

**Projekt ÜLG83/POTGRAF**

*Potenzialabschätzung ausgewählter  
Grafitvorkommen/-lagerstätten in der Böhmischesen  
Masse*

**Jahresbericht 2022**

von

RÖMER, A., SCHUBERTH-HLAVAC, G., PREINER, A., OTTOWITZ, D.,  
BENOLD, C., AUER, C., TRÄXLER, B., LINNER, M

*mit Beiträgen von Flores-Orozco, A., Aigner, L.  
Rantitsch, G., Melcher, F.*

111 S., 76 Abb., 7 Tab.

Wien, Jänner 2023



BUNDESANSTALT FÜR GEOLOGIE, GEOPHYSIK, KLIMATOLOGIE UND  
METEOROLOGIE

STANDORT: NEULINGGASSE 38, 1030 WIEN

**PROJEKTLEITUNG:**

MAG. A. RÖMER (FA GEOPHYSIK) / MAG. G. SCHUBERT-HLAVAC (FA ROHSTOFFGEOLOGIE)

**MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER (GBA):**

MAG. D. OTTOWITZ	GEOPHYSIK
BSC. A. PREINER	GEOPHYSIK
M. HEIDOVITSCH	GEOPHYSIK
MAG. G. SCHUBERTH-HLAVAC	ROHSTOFFGEOLOGIE
MAG. <sup>a</sup> B. TRÄXLER	ROHSTOFFGEOLOGIE
DDI DR. C. BENOLD	GEOCHEMIE
ING. C. AUER	GEOCHEMIE
DR. M. LINNER	KRISTALLINGEOLOGIE

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

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

**KOOPERATIONSPARTNER**

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (TUW)**

**RESEARCH DIVISION GEOPHYSICS**

ASS. PROF. DR. A. FLORES-OROZCO, UNIV. ASS. DIPL.-ING. MSc T. KANTONA

**MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN (MUL)**

**LEHRSTUHL FÜR GEOLOGIE UND LAGERSTÄTTENLEHRE**

UNIV. PROF. MAG. DR. F. MELCHER, UNIV. PROF. DR. G. RANTITSCH

## Inhalt

1. Einleitung.....	5
Ausgangslage.....	5
2. Zusammenfassung.....	6
3. Prognose 2023 und nächste Schritte.....	8
4. Übersicht der Ergebnisse/Projektjahr 2 (2022).....	8
Messgebiet Amstall .....	8
Darstellung der geoelektrischen Messungen .....	11
Darstellung der Ergebnisse von SP und ERT .....	16
Darstellung der Ergebnisse von IP und ERT .....	20
Vergleich mit Bohrungen und chemischer Analyse.....	23
Literaturverzeichnis .....	29
Messgebiet Hengstberg.....	30
Grafit im Dunkelsteiner Wald/Lagerstätte Hengstberg .....	30
Geologie.....	31
Lagerstätte.....	32
Historisches .....	32
Fördermengen .....	33
Analytik.....	33
Röntgen-Pulverdiffraktometrie .....	33
.....	34
Geochemie.....	34
Umgebung der Lagerstätte.....	36
Strukturdaten .....	36
Befahrungen .....	38
IRIS.....	42
Ausblick.....	42
Literatur .....	43
Geophysik .....	43
Eigenpotenzial (SP) .....	45
Geoelektrik und IP .....	45
Ergebnisse TU Wien Geoelektrik/SIP/Seismik.....	46
Mise a la Masse Messungen.....	58
EM Messung .....	64
Frequency Domain Electromagnetics (FDEM)/Methodik .....	64

Untersuchungen im Raum Dunkelsteiner Wald .....	67
Umbach/Nölling.....	67
Eigenpotentialmessung (SP).....	68
Geoelektrik .....	69
Raintal.....	71
Literaturrecherche und Aufbau einer Flockengrafit-Datensammlung bzw. Datenbank.....	72
Vorexkursion Flockengrafit Mühlviertel.....	74
Methodik .....	74
Ergebnisse.....	75
Interpretation und Diskussion.....	76
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	77
Literatur .....	79
5. Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Zusammenarbeit mit Universitäten .....	80
6. Vorschau auf die Arbeitsplanung des Projektjahres 2023 .....	82
7. Literatur .....	82
8. Anhang.....	84
Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Zusammenarbeit mit Universitäten .....	84
<b>Bericht TU Wien 2022</b> .....	86
1. Einleitung.....	88
2. Feldmessungen.....	89
2.1. Spektrale Induzierte Polarisaton .....	90
2.2. Seismische Refraktionstomographie.....	92
3. Ergebnisse und Interpretation .....	93
3.1. P2: SIP-Ergebnisse .....	93
3.2. P3-4: Vergleich von SIP- und SRT-Ergebnissen .....	94
4. Zusammenfassung und Ausblick .....	96
9. Literaturverzeichnis .....	98
<b>Bericht MUL 2022</b> .....	100
1. Aufgabenstellung .....	100
2. Proben .....	100
3. Methodik .....	102
4. Ergebnisse.....	103
10. 5. Schlussfolgerungen.....	107
11. Literatur .....	108
12. Anhang: Methodik der Ramanspektroskopie .....	109

## 1. Einleitung

Aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen und des rohstoffwirtschaftlichen Kenntnisstandes bestehen in Österreich für Grafit durchaus noch abbauwürdige Rohstoffpotenziale. Fokus des Projektes ÜLG83 sind die im Rohstoffplan als sicherungswürdig/bedingt bzw. sicherungswürdig ausgewiesenen Grafitvorkommen u.a. im Bereich des Drosendorf-Deckensystems (Bunte Serie) im Bereich der Böhmisches Masse, bei denen noch ein wirtschaftlich interessantes Lagerstättenpotenzial vermutet wird. Im Zuge des Projekts ÜLG83/PotGraf sollen mit modernen Explorationsmethoden Grafitvorkommen in der Böhmisches Masse eingegrenzt und in Kombination mit lagerstättengenetischen Untersuchungen potenzielle Höffigkeitsgebiete charakterisiert werden.

### Ausgangslage

Die verstärkte Suche nach kritischen Mineralrohstoffen hat in den letzten 10 Jahren auch zu einer Weiterentwicklung innovativer Prospektions- und Explorationstechnologien bei vielen dieser Rohstoffe geführt. Der mineralische Rohstoff Grafit wird aufgrund seiner hohen ökonomischen Bedeutung und des vorhandenen Versorgungsrisikos auch in der aktuell geltenden Studie der Europäischen Kommission (EUROPEAN COMMISSION, 2014) als kritischer Rohstoff eingestuft. Aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen und des rohstoffwirtschaftlichen Kenntnisstandes bestehen in Österreich für Grafit im Bereich der Böhmisches Masse durchaus noch abbauwürdige Rohstoffpotenziale. Aus diesem Grund sind auch einige dieser Grafitlagerstätten im Österreichischen Rohstoffplan als sicherungswürdig bewertet worden. Fokus des geplanten Projektvorhabens sind die im Rohstoffplan als sicherungswürdig/bedingt sicherungswürdig ausgewiesenen Grafitvorkommen im Bereich des Drosendorf-Deckensystems (Bunte Serie) in Niederösterreich, bei denen noch ein wirtschaftlich interessantes Lagerstättenpotenzial vermutet wird. Im Zuge des MRI-Projektes ExploGraf konnten anhand geophysikalischer Methoden ausgewählte Grafitvorkommen in Zettlitz und Weinberg in ihrer räumlichen Ausdehnung genauer eingegrenzt und charakterisiert werden. Da die meisten Vorkommen in oberflächennahen, stark verwitterten Bereichen weitgehend abgebaut sind, gilt das aktuelle Interesse der Potenzialabschätzung vor allem der Tiefenfortsetzung der Grafitlagerstätten. Diese wurden im Zuge des seinerzeitigen Abbaus aus qualitativen Gründen (hohe Sulfidführung) nicht weiter erkundet. Da die Grafit-Lagerstätten hinsichtlich ihrer Tiefenfortsetzung bisher nicht untersucht wurden, fehlt daher auch eine valide Klassifizierung des noch vorhandenen Lagerstättenpotenzials.

Die im MRI-Projekt ExploGraf (Römer, et. al., 2020) eingesetzten geophysikalischen Methoden zur Ermittlung des Lagerstättenpotenzials sollen nun sowohl bei den bereits untersuchten bzw. bei weiteren Grafitvorkommen im Bereich des Drosendorf-Deckensystems (Bunte Serie) angewendet und weitergehend interpretiert werden. Eine entsprechende Interpretation der geophysikalischen Ergebnisparameter zur Charakterisierung dieser Grafitvorkommen müssen diese aber noch durch weitere Untersuchungen, wie geophysikalische Labormessungen, ergänzende geophysikalische Messprofile in abgebohrten Lagerstättenbereichen, Kalibrierung der Messergebnisse mit vorhandenen Bohrdaten validiert werden. Die Anwendbarkeit für Potenzialabschätzungen soll durch geologische Detailkartierung der Lagerstätten, sowie weitere geochemische Analysen nachgeprüft und gestützt werden. Auf Basis dieser neuen raumbezogenen Informationen über die untersuchten Grafitlagerstätten soll eine neue Klassifizierung der Lagerstättenvorräte vorgenommen werden, die sich an die UNFC-Vorratsklassifikation orientiert. Damit wird eine erhebliche Verbesserung in der Vergleichbarkeit mit internationalen Vorratsangaben erwartet. Zudem sollen aufgrund der Geländebeobachtungen sowie der geochemischen

und geophysikalischen Ergebnisse Rückschlüsse auf die Genese der Lagerstätten gezogen werden. Ziel dabei ist die Ableitung ergänzender Prospektions-/Explorationsparameter für die Suche und Bewertung von Grafitvorkommen in der Böhmischer Masse. Da in einigen der Lagerstätten auch das Auftreten von Trägerphasen anderer kritischer Rohstoffe (z.B. SEE, V) bekannt ist, sollen flankierend zur Untersuchung der Grafite auch ergänzende mikrochemische Untersuchungen dieser begleitenden Trägerphasen als Begleitrohstoffe für integrierte Nutzungskonzepte durchgeführt werden.

## 2. Zusammenfassung

Die 2022 durchgeführten Projektarbeiten umfassten einerseits weitere Desktop-Arbeiten, wie Literaturrecherchen im Themenbereich Grafit, andererseits umfangreiche Geländetätigkeiten. So wurde im April 2022 gemeinsam mit dem externen Projektpartner TU Wien (Prof. A. Flores-Orozco, Leiter der Arbeitsgruppe Geophysik) eine Vorbegehung für die Messplanung für das laufende Projektjahr im Untersuchungsgebiet Hengstberg durchgeführt. Im Mai 2022 fand eine Projektbesprechung inkl. einer weiteren Begehung zusammen mit Vertretern der MUL Leoben (Melcher, Rantitsch) und Projektmitarbeitern der GBA (Römer, Schubert-Hlavac, Linner) für die Probennahme von Grafitproben statt. Die MUL wurde in diesem Projektjahr mit RAMAN Untersuchung an ausgewählten Grafitproben als weiterer externer Partner beauftragt. Erste Materialproben aus dem Untersuchungsgebiet Hengstberg wurden genommen. Im Mai fand eine Begehung von Schubert-Hlavac, Linner und Iglseider zur Inspektion bzw. Überprüfung der im Rohstoffinformationssystem IRIS dokumentierten Grafitvorkommen im Bavarikum statt. Eine weitere Stollenbegehung durch Auer und Schubert-Hlavac fand im bis dahin nicht zugänglichen Clarastollen im Osten des Hengstberges statt.

Der Schwerpunkt weiterer geophysikalischer Untersuchungen wurde im Bereich des Dunkelsteinerwalds, im Besonderen an die Lokation Hengstberg gelegt und an weiteren ausgewählten Bereichen im Dunkelsteiner Wald (siehe Abb. 1). Dabei wurden elektromagnetische Messungen (EM) mit dem Multifrequenzmessgerät PROMIS, weitere z.T. flächige Vermessungen von elektr. Eigenpotenzialen (SP) und „mise a la masse“ Messungen, als auch Profile mittel (Gleichstrom)geoelektrik (elektr. Widerstandsmessung und Messung des IP Effektes) und Seismik durch die FA Geophysik der GBA und des Kooperationspartners TU Wien (siehe Abb. 1) ausgeführt.

Im Detail führte die TU Wien dabei umfangreiche Messkampagnen am Hengstberg durch, die Messungen mittels Spektral Induzierte Polarisation (SIP), Time-Domain EM Messungen und seismische Untersuchungen beinhalteten. Erste Ergebnisse wurden gemeinsam besprochen und ergaben sehr vielversprechende Interpretationsansätze, v.a. auf Basis der beschriebenen Methodenkombination.

Beide externen Projektpartner (TU Wien, MUL) haben ihre jeweiligen Berichte fristgerecht Ende Oktober abgegeben

Als Teil der **Disseminationsstrategie** wurden, neben dem Abschluss einer Masterarbeit an der Montanuniversität Leoben (MUL), 3 fachspezifische Vorträge gehalten (Details, siehe Anhang).

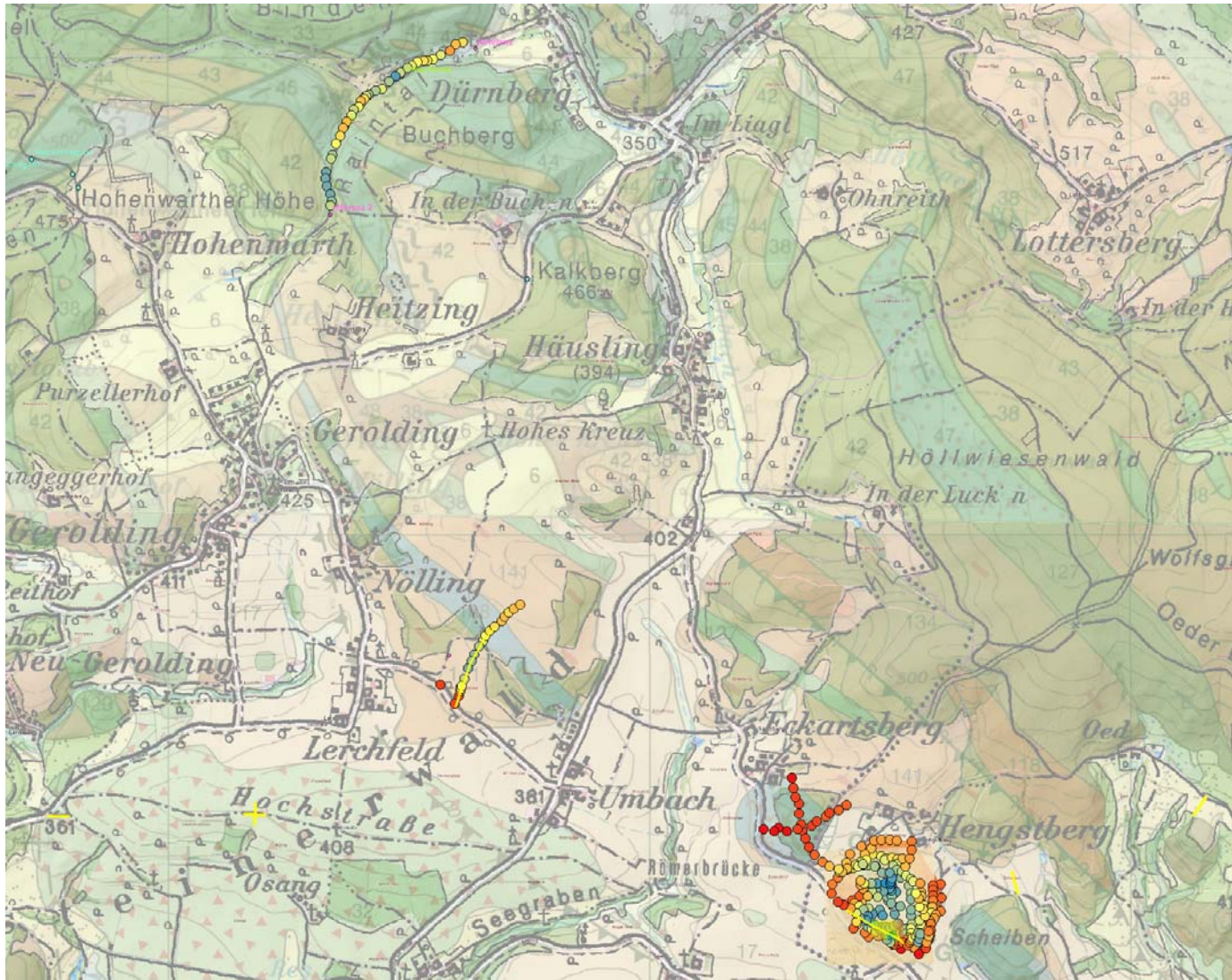


Abbildung 1: Messkampagnen GBA Hengstberg 2022 (mit Ausschnitt der geolog. Karte ÖK55 Obergrafendorf, 2012 (Schnabel, et. al., 2012))



### 3. Prognose 2023 und nächste Schritte

Weitere Arbeiten zur Datensammlung der Flockengrafitvorkommen des Bavarikums. Bei positiver Prognose der ausgewählten Gebiete sollen geologische und ev. geophysikalische Untersuchungen ebendort (z.B. Herzogsdorf) durchgeführt werden. Geplant sind weitere geologische Geländeaufnahme und geophysikalische Messungen in den Untersuchungsgebieten Amstall, Hengstberg und weitere Gebiete im Dunkelsteiner Wald mittels Einsatz von Eigenpotentialmessungen (SP), dem weiteren Einsatz von *mise à la masse* Messungen (SP Messungen über einem unter Strom gesetzten Störkörper) und geoelektrischen Verfahren (Parameter: elektr. Widerstand, induzierte Polarisation (IP)) zur möglichen Tiefenabgrenzung bzw. Charakterisierung grafitführender Bereiche. Es sollen gezielt Probennahme, ev. Bohrungen für weiterführende Laboranalytik (Grob- und Feinseparation, Dünn- und Sondenschliffherstellung) durchgeführt werden. Nachfolgend erfolgen geochemische Untersuchungen in Form von Mikroskopie, XRD und REM, sowie RFA, ICP-MS und EMS für geochemische Informationen zur Charakterisierung der unterschiedlichen Grafittypen im Hinblick auf Spurenelementchemismus unter Berücksichtigung weiterer kritischer Rohstoffelemente (z.B. SEE, V). Die Kooperation mit Univ. Prof. Adrian Flores-Orozco, von der TU Wien wird weitergeführt.

#### **Abweichungen von der Jahresprojektplanung**

In einer zusätzlichen Kooperation mit der Montanuniversität Leoben wurde das Institut für Geologie und Lagerstättenlehre (Univ. Prof. F. Melcher) mit der Untersuchung von Grafitproben mittels Ramananalytik, Modellierung der Ramanspektren, der Charakterisierung der Metamorphosetemperaturen und der entsprechenden REM-Charakterisierung an ausgewählten Grafitproben beauftragt.

### 4. Übersicht der Ergebnisse/Projektjahr 2 (2022)

Im zweiten Projektjahr 2022 lag der Schwerpunkt der Arbeiten, neben einer weitergehenden detaillierten Literaturrecherche zum Thema Flockengrafit, bei den geophysikalischen Feldarbeiten und geologische/geochemischen Beprobungen im Gelände im neuen Untersuchungsgebiet Hengstberg.

#### Messgebiet Amstall

Im Untersuchungsgebiet Amstall (NÖ) wurden 2021, wie im Jahrebericht 2021 dargestellt (Römer et al, 2021) weitere geoelektrische Messungen (elektr. Widerstand und IP) durchgeführt. Aufzeichnungen von einigen älteren Erkundungsbohrungen konnten von Kollegen Dr. A. Schedl aus dem Fundus des ehemaligen Betriebsleiters des Grafitbetriebes in Amstall recherchiert werden. Die in Papierform vorliegenden Informationen (Karten, Bohrungen, etc.) mussten zunächst entsprechend verortet werden. Dies stellte sich auf Grund z.T. fehlender Koordinateninformationen als durchaus aufwendig dar. Die Ergebnisse konnten anschließend im GIS weiterverarbeitet werden. Abb. 2 und Abb. 4 zeigen den Lageplan der geoelektrischen Profile 2021 Profil 23, Profil 5B/6B (inkl. Geoelektrikprofile aus

Projekt Explograf) und die Lage der Schürfe im Untersuchungsgebiet Weinberg. In Abb. 3 sind die Positionen der Bohrungen in der Abbaugrundrisssskizze auf einem Ausschnitt aus der geolog. Karte (Fuchs, G., Fuchs, W., 1986) dargestellt. In diesem Bereich wurden bereits 2021 weitere 3 detaillierte geoelektrische Profile vermessen und in seichten Schürfen Probenmaterial genommen. Die Lage aller Geoelektrikprofile ist im Überblick nochmal in Abb. 5 auf einem Ausschnitt aus der geolog. Karte (Fuchs, G., Fuchs, W., 1986) zu sehen.

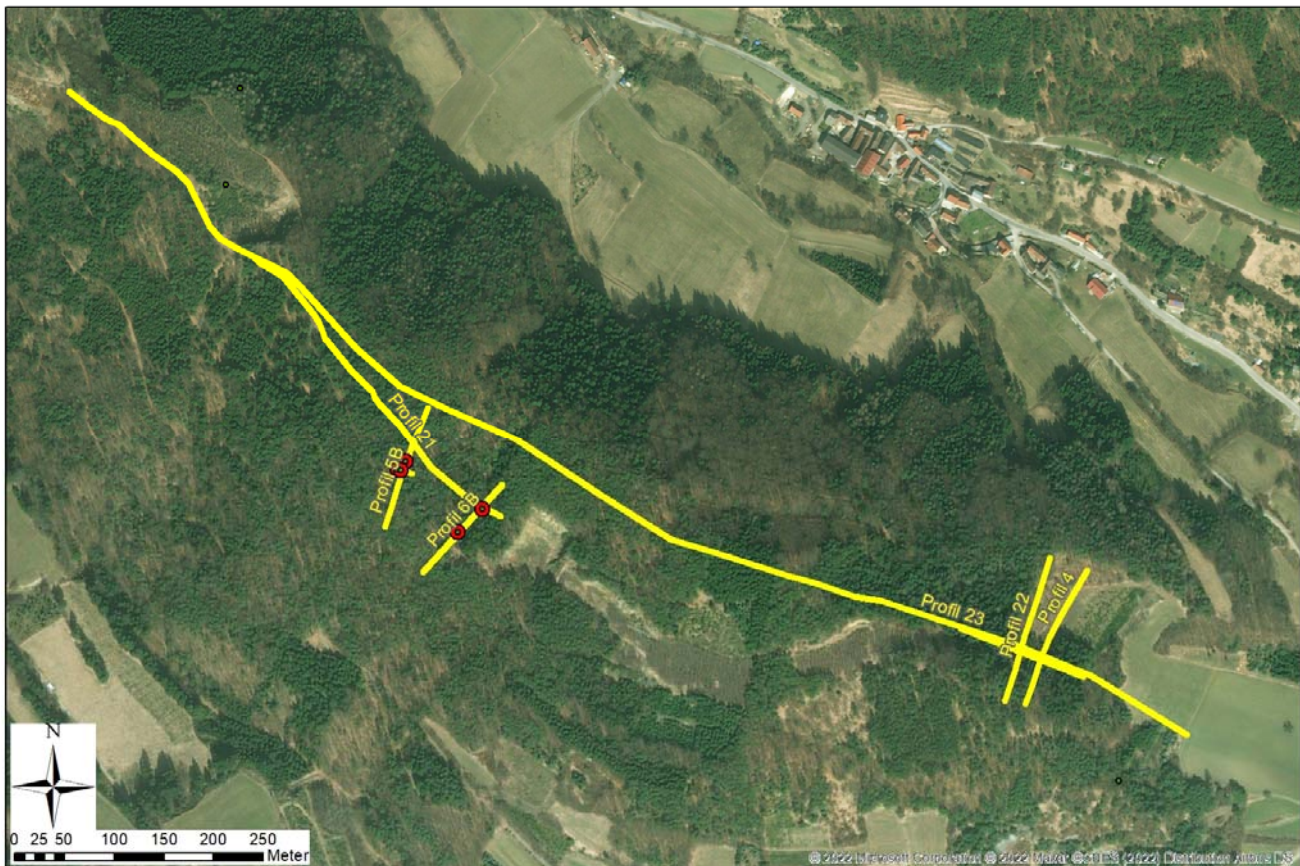


Abbildung 2: Lageplan der geoelektrischen Profile 2021 Profil 23, Profil 5B/6B (inkl. Geoelektrikprofile aus Projekt Explograf), Lage der Schürfe im Untersuchungsgebiet Weinberg/Amstall auf Google maps

Diese Messungen und Ergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet Amstall stellten die Grundlage der Masterarbeit von A. Preiner an der Montanuniversität Leoben dar.

Die folgenden Kapitel sind ein Auszug aus der Masterarbeit von A. Preiner (2022) und sollen die Auswertungen von ERT-, IP- und SP-Messungen im Messgebiet Amstall präsentieren und miteinander vergleichen. Dafür wurden die Ergebnisse der geoelektrischen Profile Amstall und die Angaben aus den Bohraufnahmen als Datengrundlage verwendet (siehe Abb. 3, 4, 5).



Abbildung 3: Lage der Erkundungsbohrungen im Abbaugrundriss auf Ausschnitt aus geolog. Karte (Fuchs, G., Fuchs, W., 1986)

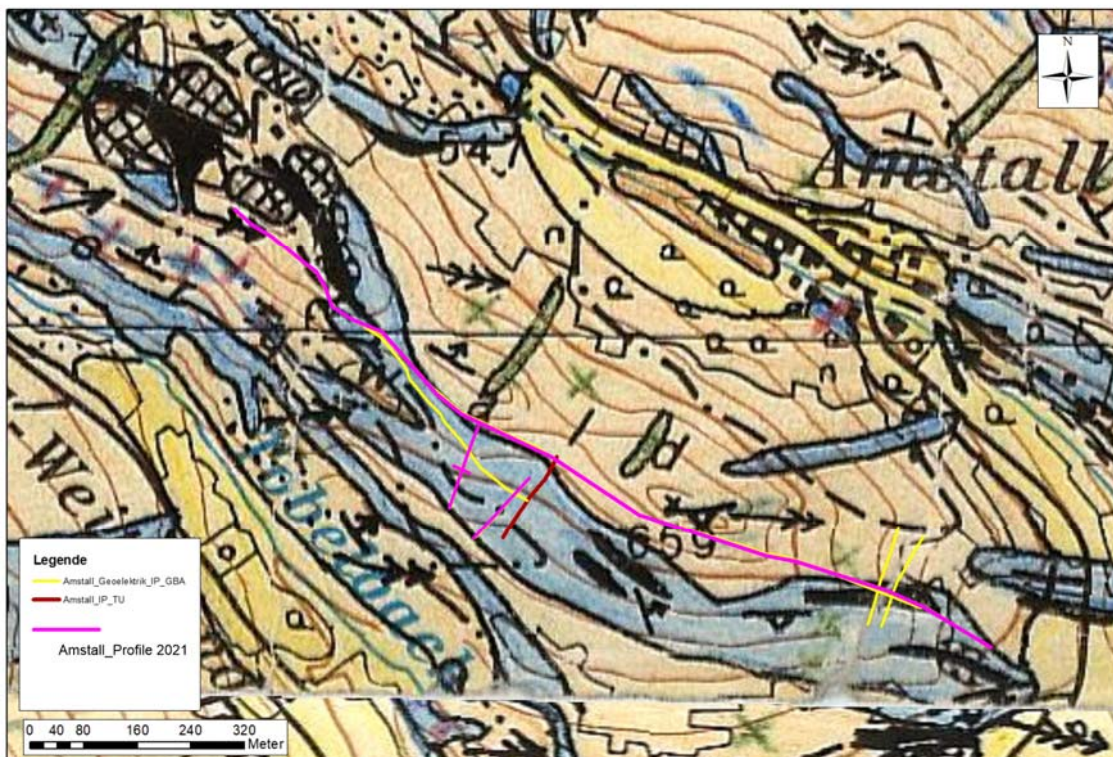


Abbildung 4: Lageplan der geoelektrischen Profile 2021/magenta (inkl. Geoelektrikprofile aus Projekt Explograf/gelb bzw. rot) auf Ausschnitt aus geolog. Karte (Fuchs, G., Fuchs, W., 1986), Legende Geologie siehe Abb. 4

## Darstellung der geoelektrischen Messungen

Auf Grundlage der vorliegenden Inversionsergebnisse kann man davon ausgehen, dass ein oder mehrere Grafitkörper mit einer spezifischen Widerstandsverteilung von  $1-10 \Omega \cdot m$  in allen gemessenen Profilen angetroffen werden konnte. Im Profil 23, welches über den Bergrücken ging, konnten klare Bereiche ausgemacht werden, welche auf Grafit (in Abbildung mit schwarzen Ellipsen gekennzeichnet) hinweisen. Die Auswertung dieses Profils war aufgrund der starken Topografie und des zu Grunde liegenden 3D-Effekts schwierig. Der 3D-Effekt resultierte daraus, dass der Halbraum, in dem das Potential gemessen wurde, nicht mehr einer perfekten Halbkugel ähnelte, wodurch sich Artefakte in der späteren Auswertung bildeten. Die Bereiche in Abbildung, die einen hohen spezifischen Widerstand aufweisen, könnte als Marmorgestein identifiziert werden, welcher hier den Grafit umgibt. Eine Schwierigkeit, welche in Abbildung 5 dargestellt ist, stellt der sehr geringe spezifische Widerstand von Grafit dar (hier ungefähr  $1 \Omega \cdot m$ ). Möglicherweise handelt es sich hier nur um eine dünne Grafitschicht unterhalb des Marmorgesteins. Nichtsdestotrotz lässt sich über das Inversionsergebnis etwas über die generelle Form und Erstreckung des Grafitkörpers sagen. Dies ist vor allem im Nordwesten möglich. Das Profil 23 ist jenes mit den höchsten spezifischen Widerständen, daraus resultiert, dass es sich bei den Gesteinen, die diesen Bereich im Modell verursachen, um Festgesteine von Marmor oder Paragneisen handelt.

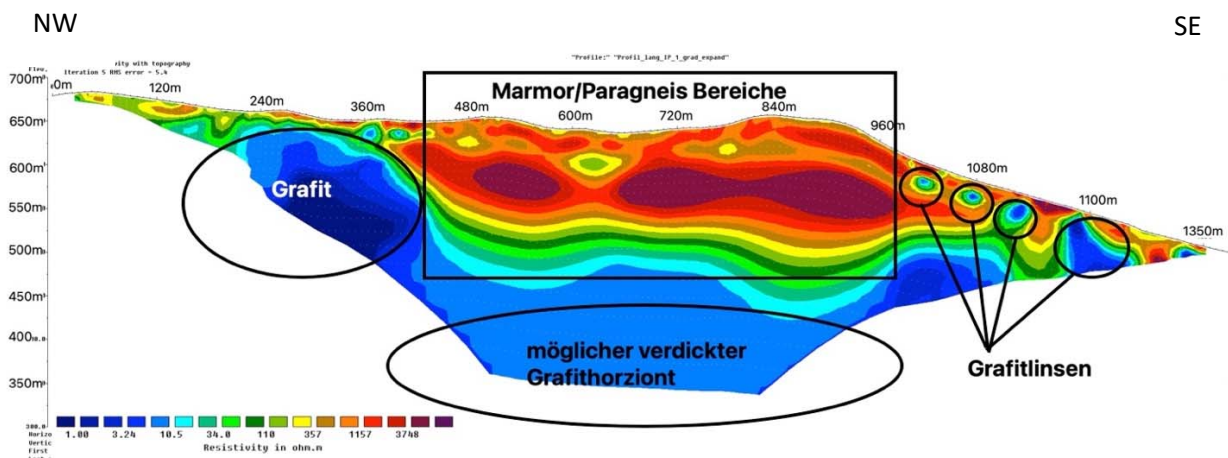


Abbildung 5: Profil 23 mit Gradientenanordnung mit einem RMS-Error von 5.4%, mögliche Grafitbereiche sind mit schwarzen Ellipsen gekennzeichnet.

Im Gegensatz dazu befindet sich das Profil 6B (6B\_1 und 6B\_2) in Hanglage. Die Widerstandsverteilung in Abbildung 6 lässt darauf schließen, dass die höchsten spezifischen Widerstände generell geringer sind als im Profil 23 (siehe Abbildung 5). Die größere Eindringtiefe des Profils 23 könnte dafür der Grund sein. Die prägnant niedrig vorkommenden Widerstände (in grünlicher Färbung) in diesem Profil (siehe Abbildung 6) deuten darauf hin, dass es sich hierbei womöglich um durch den ehemaligen Abbau aufgelockertes Gesteinsmaterial handelt. Lockermaterialien, die nicht mehr in einem festen Verbund zusammengekittet sind, wie bei Festgestein üblich, schaffen Wasserwegigkeiten, wodurch sich der spezifische Widerstand erniedrigt wird.

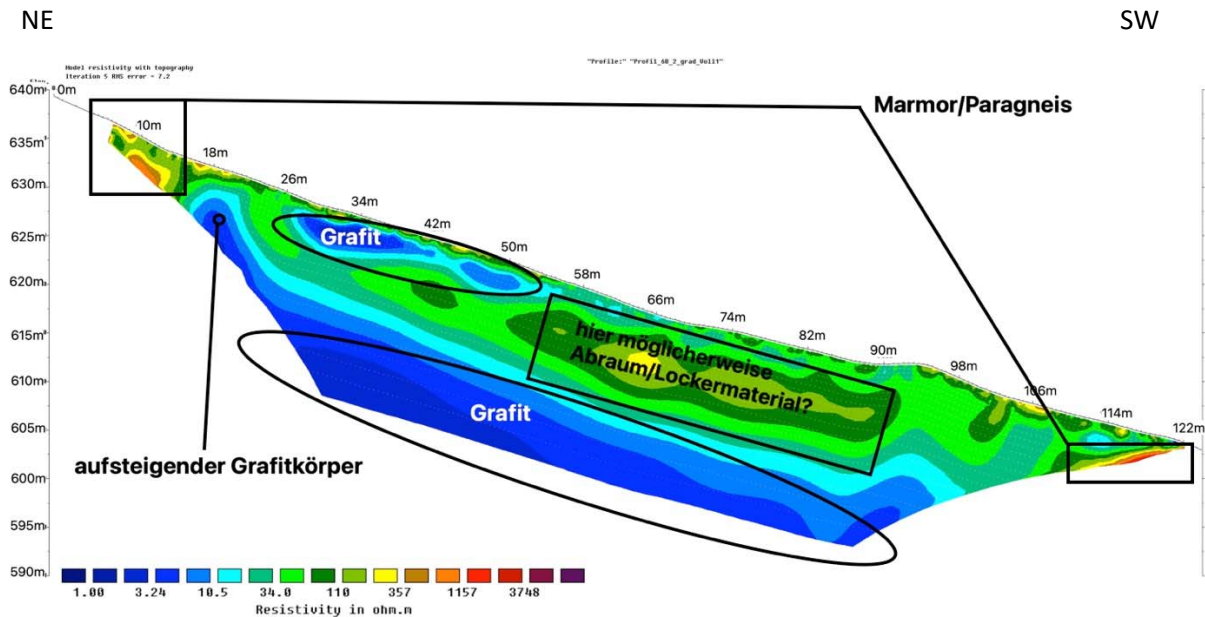


Abbildung 6: Profil 6B zusammengefasst aus 6B\_1 und 6B\_2. Gradientenanordnung mit einem RMS-Error von 7.2%. Mögliche Grafitbereiche sind mit schwarzen Ellipsen gekennzeichnet.

Das Profil 5B\_1 (siehe Abbildung 7) zeigt, dass sowohl im Anfangs-, als auch im Endbereich deutlich höhere spezifische Widerstände vorkommen. Aufgrund der generell höher vorkommenden spezifischen Widerstandswerte in diesen Bereichen, würde man hier Gesteine, wie Paragneise oder Marmor annehmen. Der heterogene eher niedrigohmige Bereich über dem klar erkennbaren Grafitkörper spricht wieder dafür, dass es sich hier um abgetragenes Lockermaterial handelt, welches nach dem Abbau aufgeschüttet wurde. Bei der Profilaufnahme konnten sowohl an Profilanfang, als auch am Profilende grobe Blöcke mit Marmorgestein (Abbildung 8) gefunden werden. Ab einer Tiefe von 15m unterhalb der Geländeoberkante konnte der Grafit aufgrund eines spezifischen Widerstandes von 1-10  $\Omega \cdot m$  klar identifiziert werden. Die Profile 8B\_1 und 8\_2 liegen genau am Rand der Anomalie. Aufgrund der geringeren Untersuchungstiefe dieser kürzeren Profile konnte nur der Grafit an der näheren Oberfläche identifiziert werden.

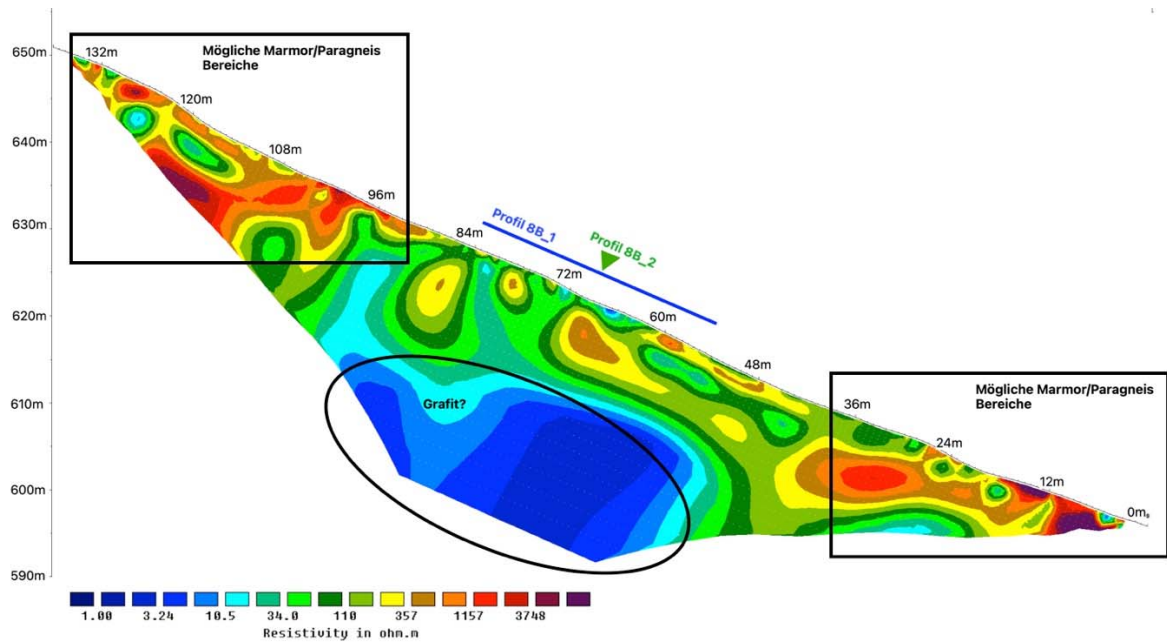


Abbildung 7: Profil 5B\_1 gemessen mittels Schlumbergermessanordnung mit einem RMS-Error von 9.2%. Der Verlauf des Detailprofils (8B\_1) ist hierbei mit einer blauen Linie gekennzeichnet. Die Lokalisation des gekreuzten Profils (8B\_2) ist mit einem grünen Pfeil angezeigt. Der mögliche Grafitkörper ist mit einer schwarzen Ellipse gezeigt.

Im Vergleich mit den im Messgebiet vorzufindenden Bedingungen (siehe Abbildung 8) ist das Widerstandsmodell (Abbildung 7) gut belegbar. Am unteren Ende des Profils (siehe Abbildung 8 rechts) zeigen die Gesteine eine hellere Färbung, was darauf schließen lässt, dass es sich hierbei um Marmor handeln könnte.



Abbildung 8: Fotos des Profilverlaufs 5B\_1. Links: Oberes Ende des Profils ab Elektrode 83 mit sichtbarem Felsen. Rechts: Bereich ab Elektrode 19 mit deutlich sichtbaren hellen Gesteinen möglicherweise Marmorgestein.

Der direkte Vergleich zwischen Profil 5B\_1 und 8B\_1 weist mehrere ähnliche Strukturen aus. Der möglicherweise vertikal stehende Grafitkörper (siehe Abbildung 9) ist auch klar in 5B\_1 (siehe Abbildung 7) ersichtlich. Ein oberflächennaher Grafitbereich ist zwischen Profilmeter 12.5m und 8.5m zu erkennen. Um diesen Bereich auch lateral erfassen zu können, wurde das Profil 8B\_2 gemessen, welches im rechten Winkel darauf steht. Der mit einem orangenen Rechteck eingezeichnete Bereich legt aufgrund der spezifischen Widerstandsverteilung (um ca.  $100 \Omega \cdot m$ ) Nahe, dass es sich hier, wie bei Profil 6B um einen durch den Abbau aufgelockerten Bereich handelt. Dies ist vor allem deswegen interessant, da das Profil 8B\_1 direkt über dem großen im Untergrund verlaufenden Grafitkörper (5B\_1) gemessen wurde.

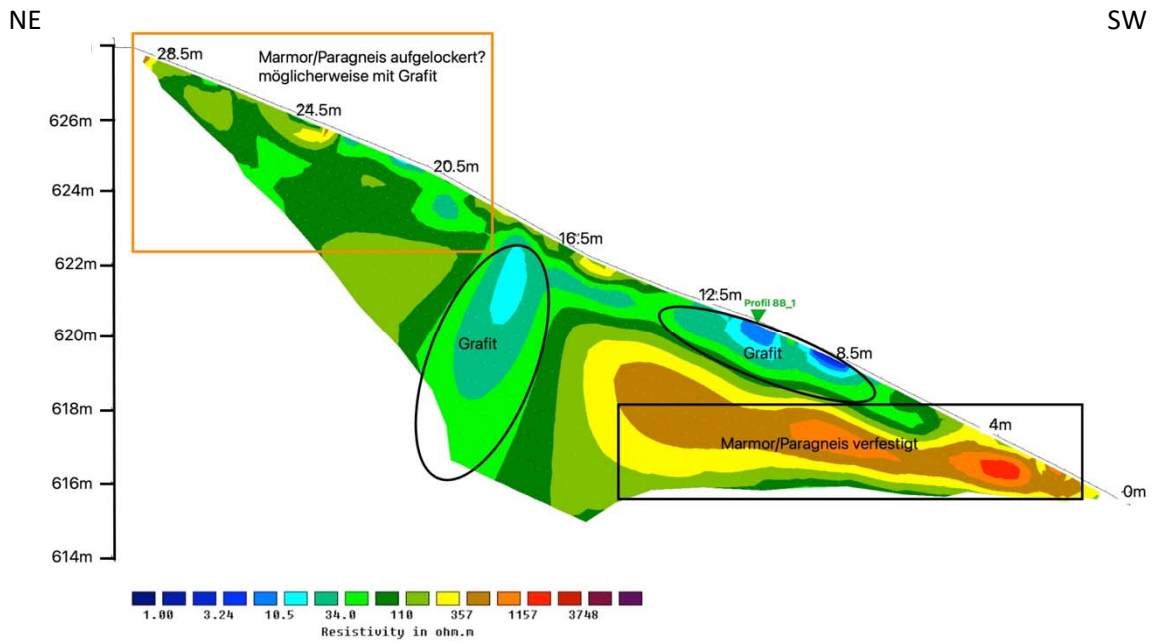


Abbildung 9: Profil 8B\_1 gemessen mittels Schlumbergermessanordnung mit einem RMS-Error von 3.8%. Mögliche Grafitbereiche sind mit schwarzen Ellipsen gekennzeichnet. Mögliche verfestigte Paragneis/Marmor Strukturen sind mit einem schwarzen Rechteck eingezeichnet. Kreuzungsprofil 8B\_2 ist hier mit einem grünen Pfeil gezeigt.

Anhand des in Abbildung 10 gezeigten Grafitkörpers bei Profilmeter 12 lässt sich erahnen, dass sich der Grafitkörper nach Osten hin ausdehnt und sich im Untergrund weiter fortsetzt. Dies deckt sich auch mit den SP-Anomalien, die ebenfalls nach Osten hin stärker werden.

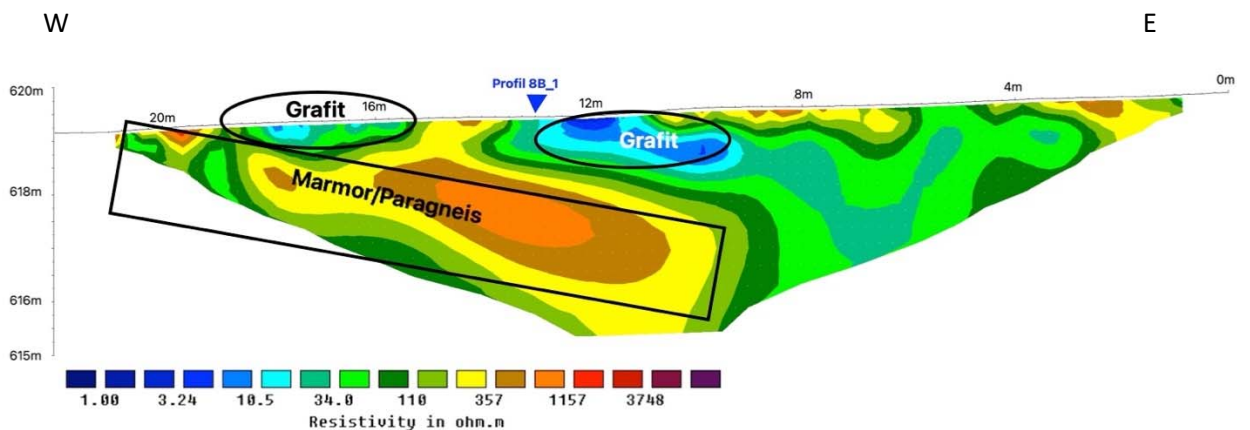


Abbildung 10: Profil 8B\_2 gemessen mittels Gradientenanordnung mit einem RMS-Error von 7.0%. Mögliche Grafitbereiche sind mit schwarzen Ellipsen gekennzeichnet.



Die in den Profilen beobachteten Widerstandsverteilungen sind sehr ähnlich der in der Literatur besprochenen Widerstandsbereiche für grafitführende Zonen, da sich hier oft Bereiche zeigen, die einen deutlich geringeren spezifischen Widerstand als  $10\Omega\cdot\text{m}$  besitzen.

#### Darstellung der Ergebnisse von SP und ERT

Eine genaue Korrelation zwischen SP-Anomalien und Geoelektrik stellt eine Herausforderung dar, da man nicht genau sagen kann in welcher Tiefe sich das Erz befindet, welches die Anomalie auslöst. Aufgrund der SP-Messungen (siehe Abbildung 11) lässt sich klar ein Grafitkörper in einer Nordwest-Südost Erstreckung erkennen. Diese Erstreckung deckt sich auch mit den Aufzeichnungen von Pichlhöfer (1985), der hier von einer NW-SE verlaufender Grafitlinse spricht. Eine weitere stark negative Anomalie im Südwesten deutet einen zweiten Grafitkörper an, dieser ist jedoch nicht durch genügend Messpunkte belegt. Auch das Widerstandsmodell von Profil 5B\_1 lässt in diesem Bereich noch auf keinen weiteren Grafitkörper schließen. Dies könnte jedoch damit zusammenhängen, dass das Profil diese Anomalie nur am äußersten Rand streift. Die ERT-Profile, die in Abbildung 11 innerhalb der Anomalie liegen, zeigen deutliche Unterschiede in der Widerstandsverteilung. Am auffälligsten ist der Unterschied im Profil 6B\_1 und 6B\_2 zu erkennen, da der Trend der spezifischen Widerstände hier deutlich geringer ist als in den anderen Profilen (siehe Abbildung 11).

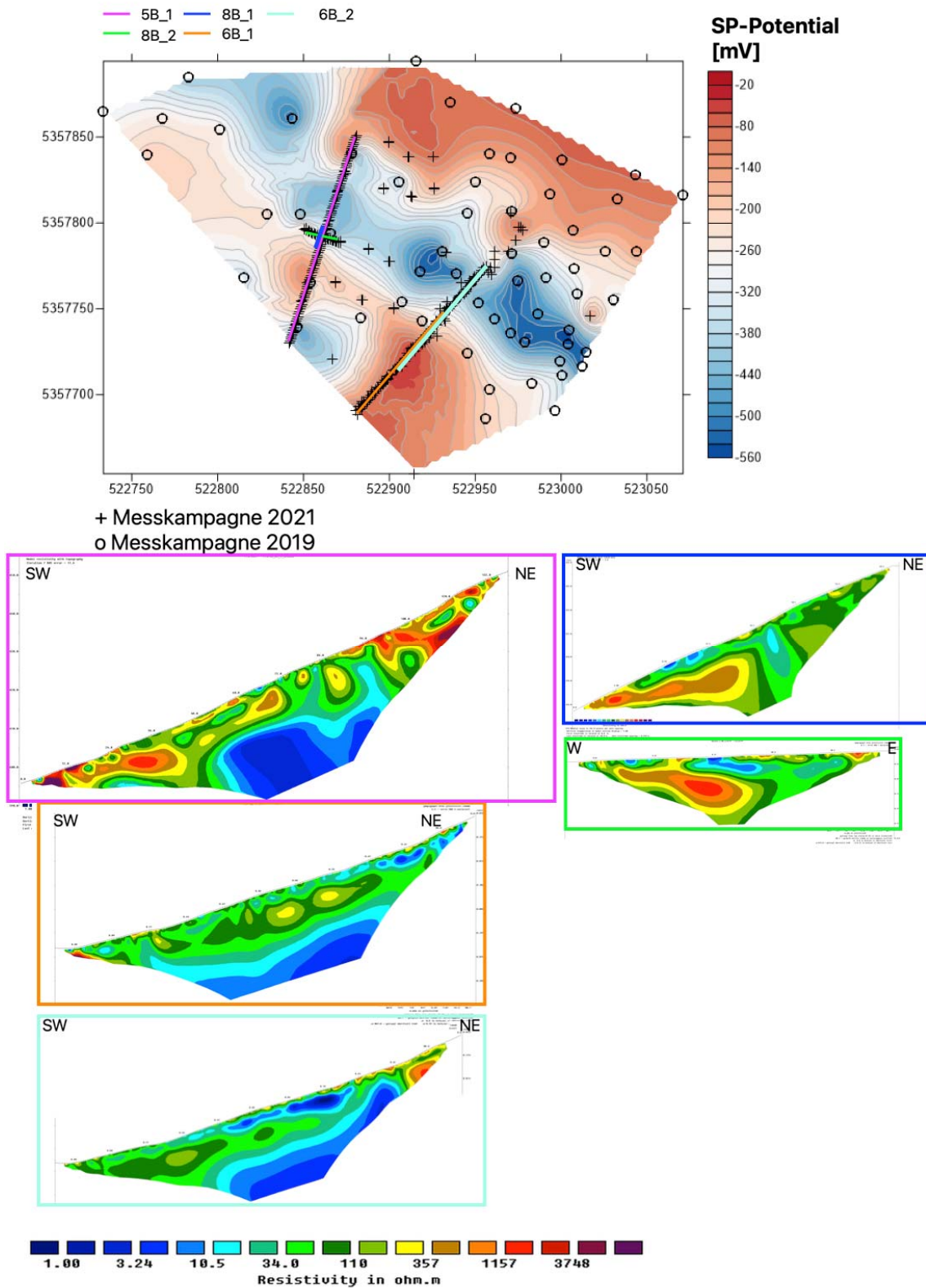


Abbildung 11: SP-Karte mit den einzelnen Geoelektrikprofilen zur Korrelation in UTM 33N Koordinaten. Jeder SP-Messpunkt ist mit einem + (für 2021) und einem o (für 2019) gekennzeichnet. Die Profile sind farblich gekennzeichnet: grün = Profil 8B\_2, pink = Profil 5B\_1, blau = Profil 8B\_1, orange = Profil 6B1 und türkis = Profil 6B\_2.

In Profil 5B\_1 ist die negative SP-Anomalie sehr gut in der Widerstandsverteilung wieder zu erkennen. Die Eigenpotentiallinie des Profils 5B\_1 (siehe Abbildung 12) zeigt eine eindeutige Kennzeichnung eines Grafitkörpers, der sich unterhalb des größten Gradienten der Kurve befindet. Der Graph in Abbildung 12 zeigt eine gewisse Asymmetrie, die auf eine mögliche Neigung, des im Untergrund liegenden Grafitkörpers schließen lässt. Möglicherweise wird am Profilanfang, ein weiterer Grafitkörper angeschnitten, da hier wiederum starke negative Messwerte vorliegen. Die Korrelation zwischen den beiden Profilen 5B\_1, 8B\_1 und der SP-Messpotentiallinie funktioniert hier sehr gut.

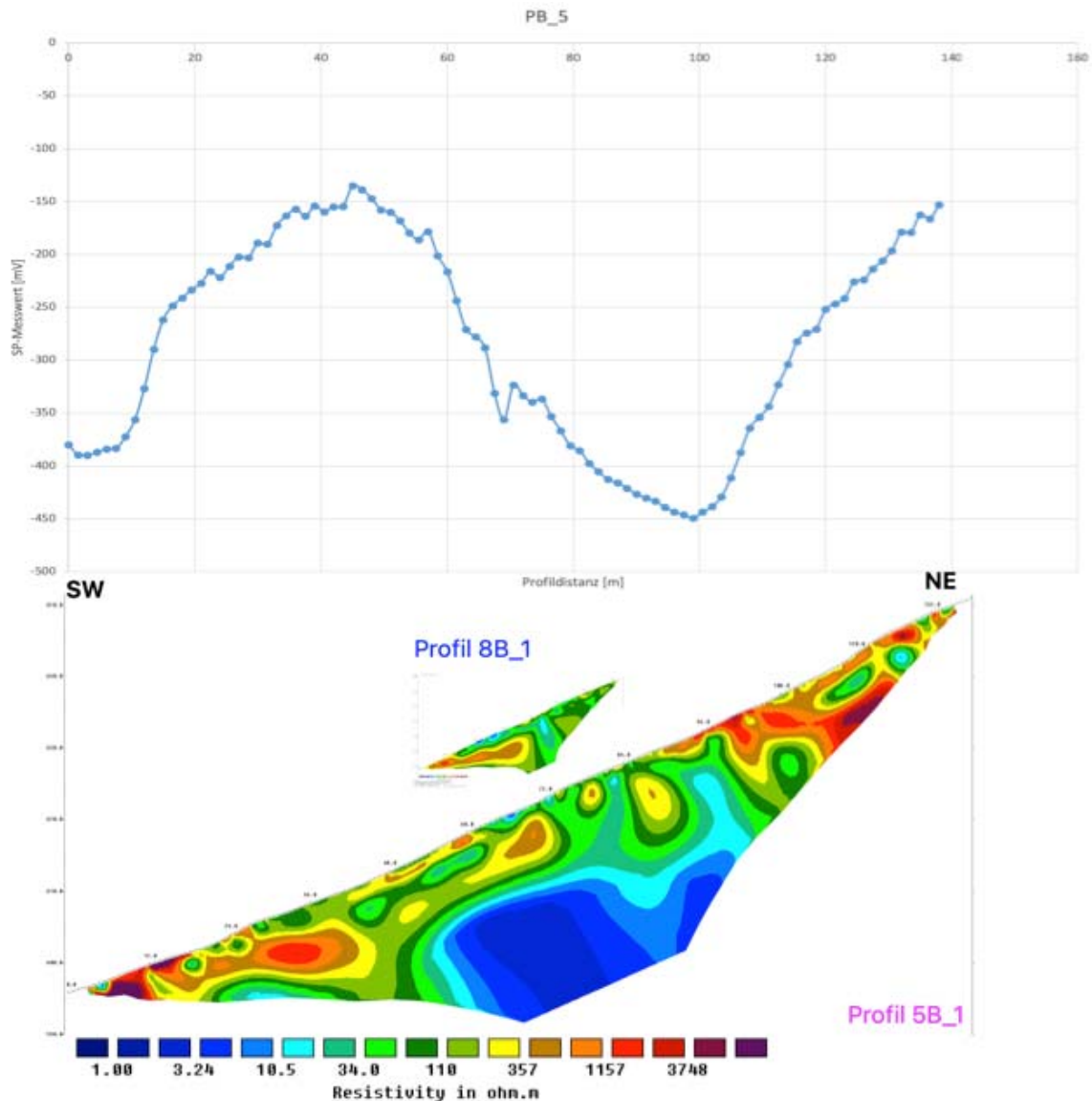


Abbildung 12: SP-Anomalie des Profils 5B\_1 im Vergleich mit den Geoelektrikprofilen 5B\_1 und 8B\_1.

Die Messwerte der Eigenpotentiale in Abbildung 13 zeigen eine markante Abnahme ab 61.5m, was möglicherweise mit der Form der niedrigohmigen Zone im Geoelektrikprofil zusammenhängt, die sich in diesem Bereich weiter in Richtung Südwesten hin an die Oberfläche kommt. Die eigenartige Form der SP-Messpotentiallinie in Abbildung 13 könnte möglicherweise von dem vermuteten Lockermaterialbereichen, welche möglicherweise noch Grafit enthalten, kommen. Erwähnenswert ist

auch der Unterschied in der Form des Grafitkörpers zu Profil 5B\_1. Nichtsdestotrotz lässt sich der Trend klar erkennen. Ab 100m des Profils kommt es zu einer starken Erhöhung der SP-Messwerte, dies könnte mit dem Auftreten von hochohmigen Marmoren/Paragneisen im Südwesten des Profils 6B\_2 zusammenhängen. Die Messlinie in Abbildung 13 spiegelt auch das Geoelektrik Profil gut wider.

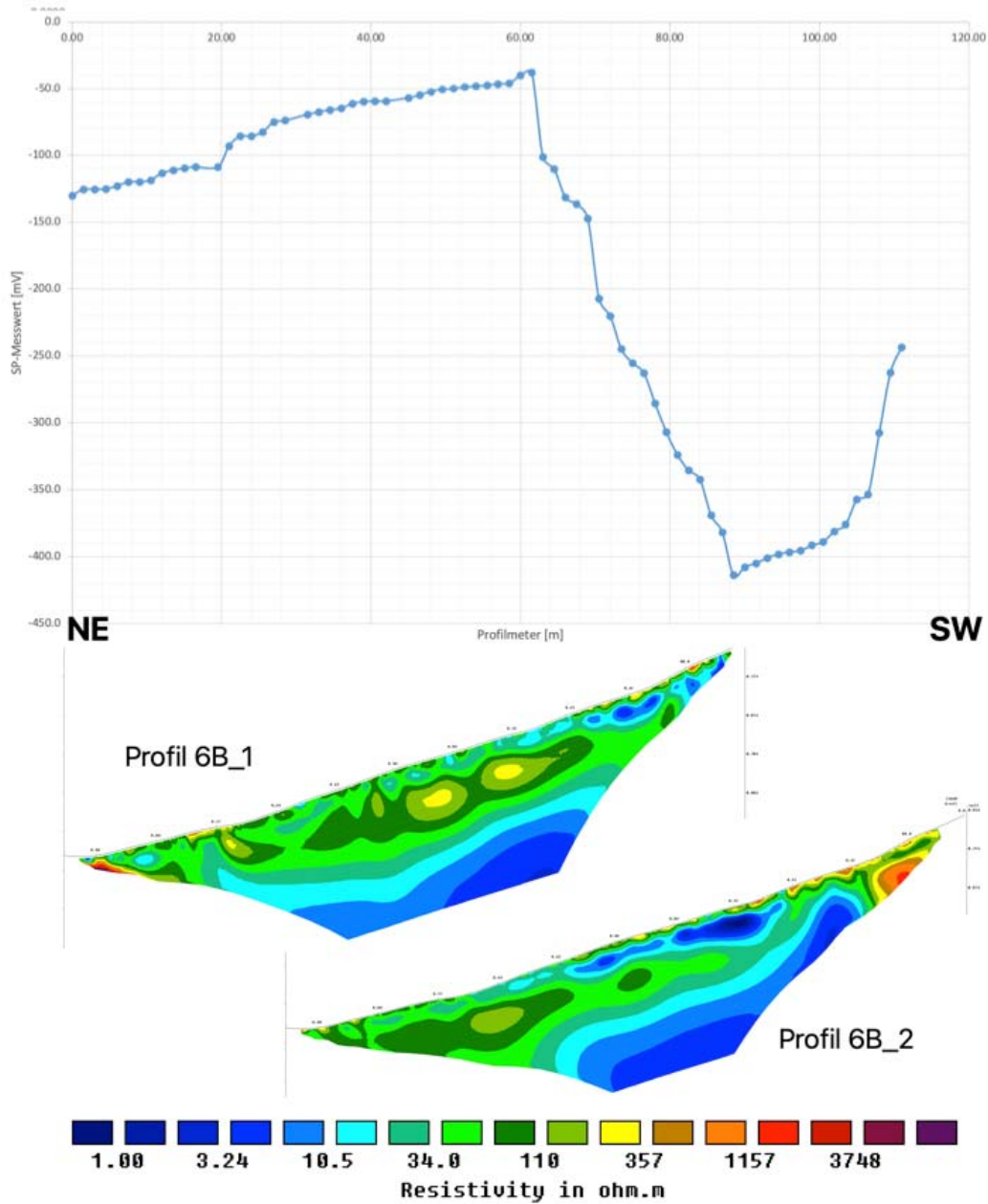


Abbildung 13: Eigenpotentialmesswerte im Profil 6B mit den Geoelektrikprofilen 6B\_1 und 6B\_2. Beide Profile sind hier mittels Schlumbergermessanordnung gemessen.

## Darstellung der Ergebnisse von IP und ERT

Die IP-Modellberechnung ist von sehr vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig, was eine genaue Interpretation sehr schwierig macht. Die detaillierte Auswertung, Datenaufbereitung und Berechnung der IP-Messwerte ist der Masterarbeit von Preiner (2022) zu entnehmen. Bereits geringe Fehler in der Messung, wie zum Beispiel die korrekte Kabelauslage, haben immense Auswirkungen auf die spätere Modellberechnung. In der Literatur wurde immer wieder auf die Schwierigkeit der IP-Modellrechnung, besonders in grafitführenden Bereichen eingegangen (Gautneb et al., 2020). Die kurzen Profile 8B\_1 und 8B\_2 zeigen deutlich besser interpretierbare IP-Inversionsmodelle als die mit einer längeren Auslage. Der größte IP-Effekt ergibt sich an den Grenzflächen des Minerals, wodurch sich der Verursacher, wie zum Beispiel ein Grafitkörper, nicht direkt innerhalb der Anomalie befindet. Die besten IP-Inversionsmodelle liefern die Profile 5B\_1, 8B\_1 und 8B\_2. Abbildung 14 zeigt sowohl das IP-Modell als auch das Widerstandsmodell für das Profil 5B\_1. Strukturell zeigen in Abbildung 14 jene Bereiche die beste Interpretierbarkeit, die in den gleichfarbigen Rechtecken der beiden Modelle liegen. Innerhalb des orangenen Rechtecks lässt sich vermuten, dass die Polarisation aufgrund des darunterliegenden Grafitkörpers entstanden ist. Nicht alle Bereiche in Abbildung 14 sind durch einen klar in dem Widerstandsmodell kennzeichnenden Grafitkörper zu erklären. Möglicherweise handelt es sich in dem IP-Modell um Inversionsartefakte. Weiters wären hier auch Mineralien oder Gesteine möglich, die diese hohe Aufladbarkeit an Grenzflächen produzieren könnten.

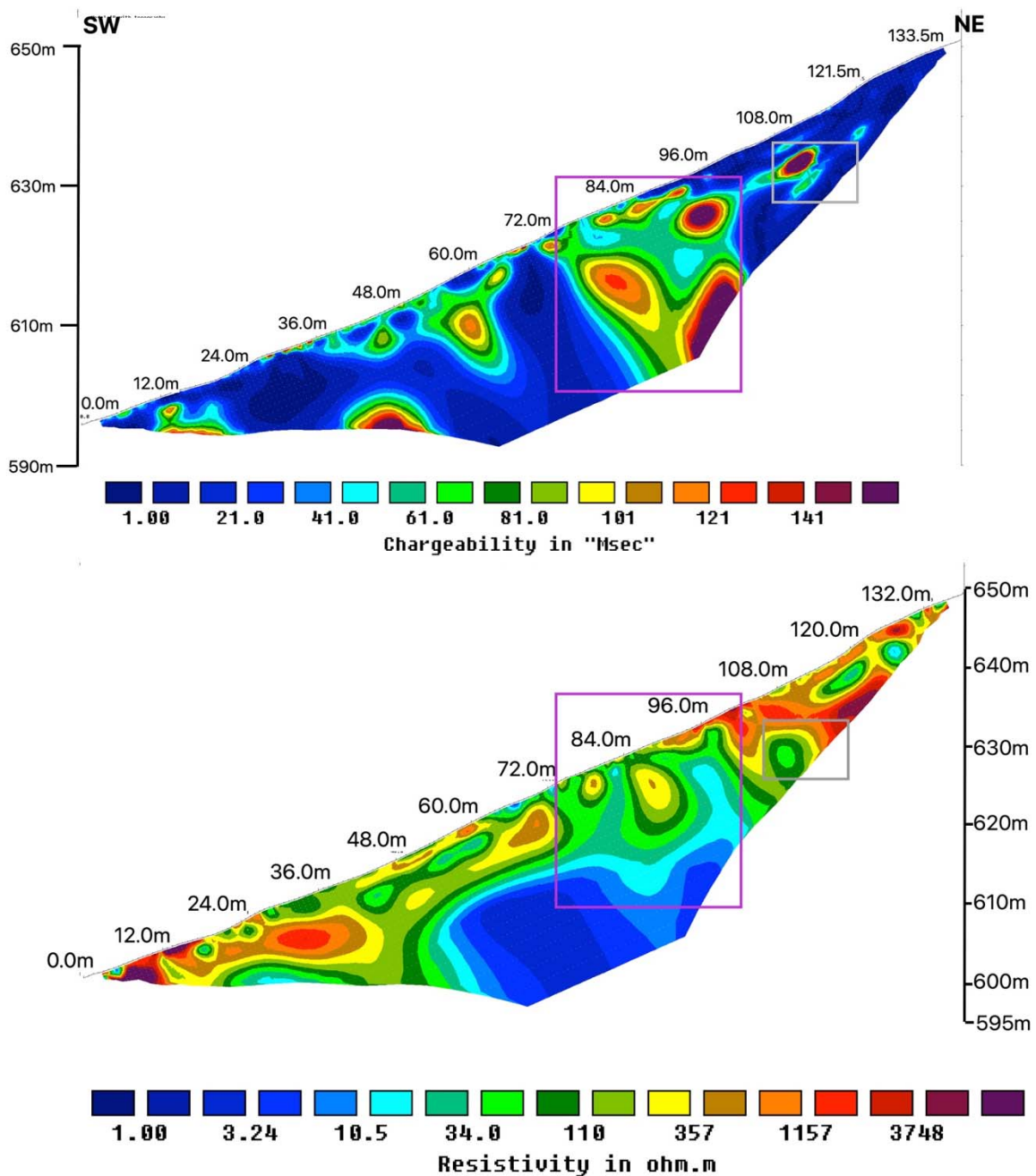


Abbildung 14: Profil 5B\_1 mit IP-Modell (oben) mit einem RMS-Error von 6.0% und dem ERT-Modell (unten) mit einem RMS-Error von 11.2%. Die strukturell vergleichbaren Bereiche sind mit einem violetten und grauen Rechteck gekennzeichnet.

Besonders gut miteinander korrelierbar ist das Profil 8B\_1 (siehe Abbildung 16). Hier zeigen sich starke Ähnlichkeiten zwischen dem Widerstandsmodell und dem IP-Modell. Hervorstechend ist die hohe Chargeability im violetten Bereich. Hier würde man mit großer Wahrscheinlichkeit Grafit vermuten. In den IP-Modellen erkennt man immer wieder Strukturen, die sich nicht mithilfe des Widerstandsmodells korrelieren lassen, wie zum Beispiel die braune Ellipse in Abbildung 16.

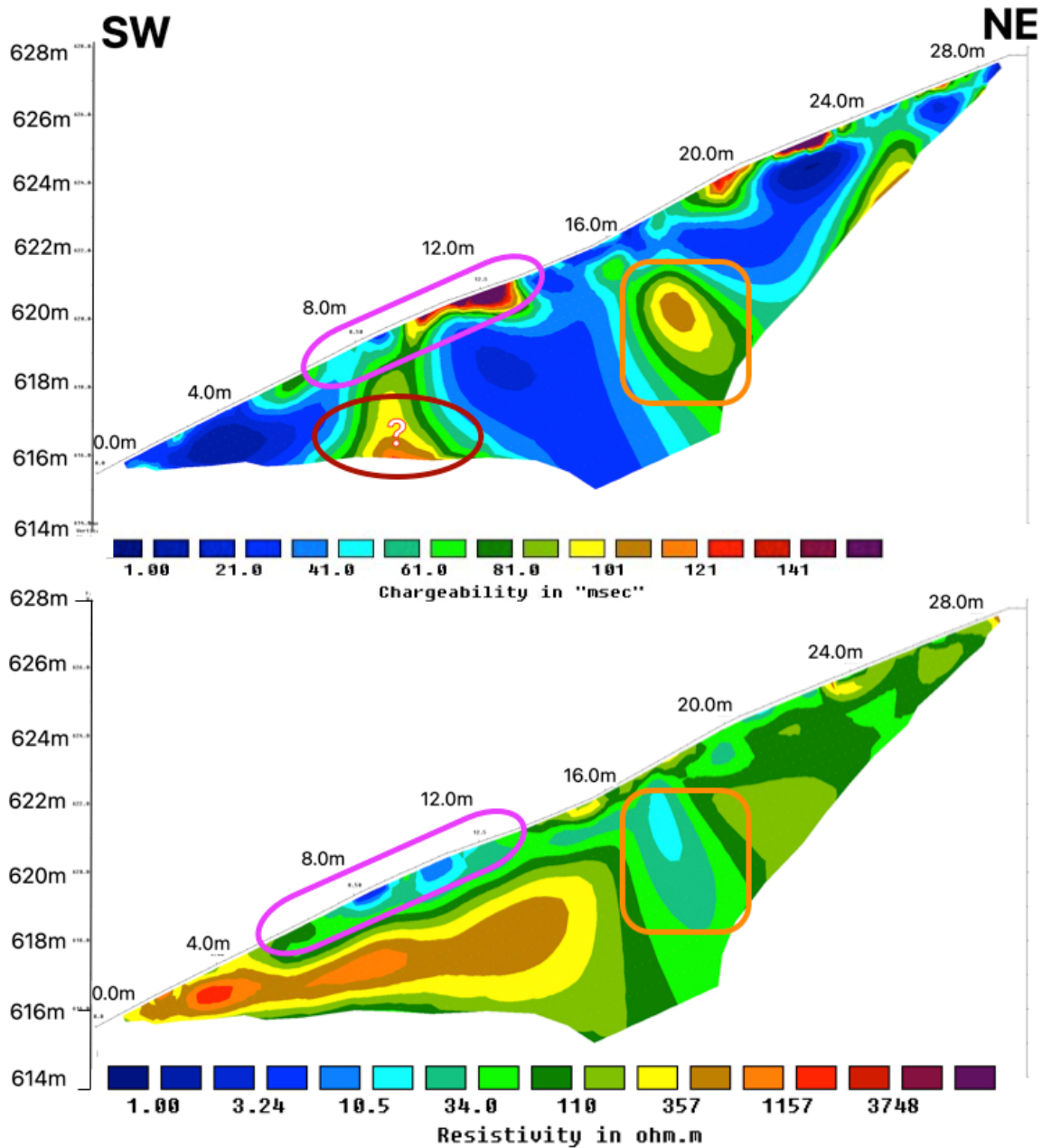


Abbildung 16: Profil 8B\_1 mit IP-Modell (oben) mit einem RMS-Error von 4.1% und dem ERT-Modell (unten) mit einem RMS-Error von 3.8%. Beide Modelle wurden mittels Schlumbergermessanordnung gemessen, wobei bei dem IP-Modell eine Einspeiszeit von 1s gewählt wurde

Wie gut der Vergleich selbst bei kleinen Strukturen funktionieren kann, zeigt Abbildung 17. Im Profil 8B\_2 sind die Strukturen im IP-Modell nahezu deckungsgleich (verschoben aufgrund des Effektes am Rande der Strukturen). Da oberflächennahe Strukturen oft schwer zu erklären sind und nur auf möglicherweise hohe oder niedrige Kontaktwiderstände hindeuten, ist es hier noch bemerkenswerter, dass sich der Bereich innerhalb des orangenen Rechtecks nahtlos übereinanderlegen lässt.

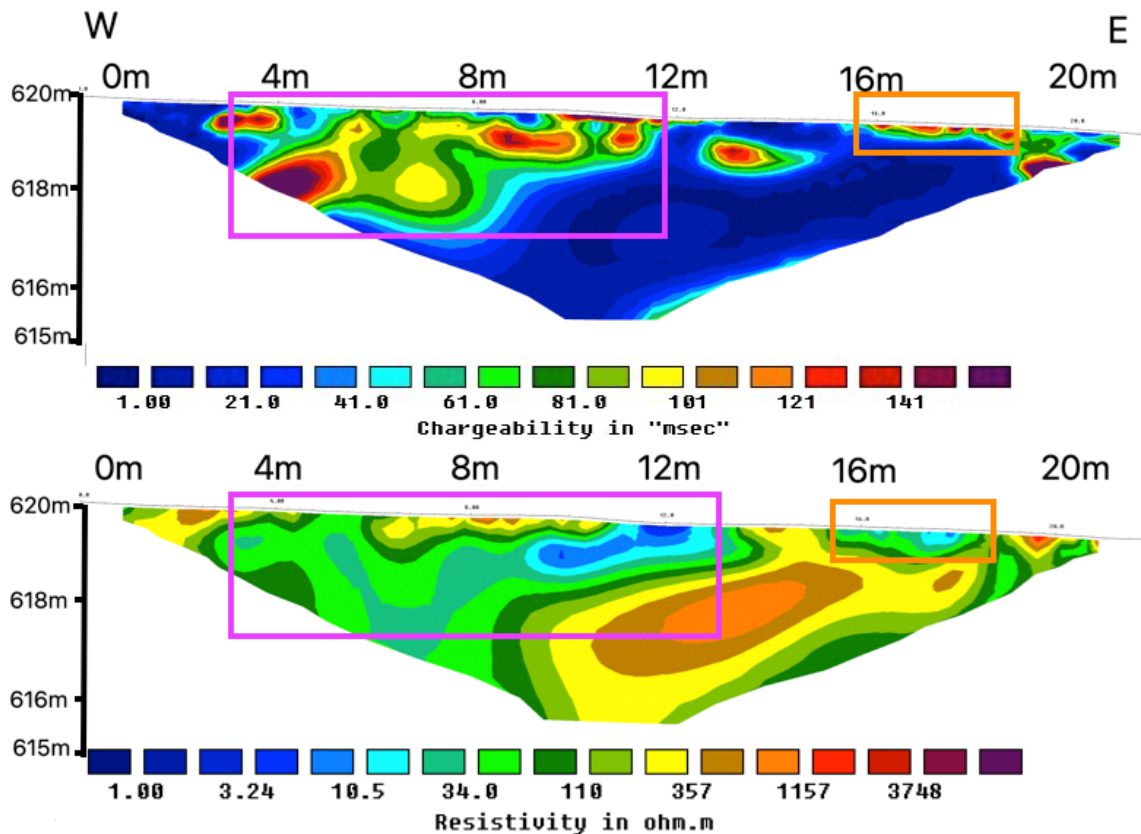


Abbildung 17: Profil 8B\_2 mit IP-Modell (oben) mit einem RMS-Error von 1.8% und dem ERT-Modell (unten) mit einem RMS-Error von 7.0%. Beide Modelle wurden mittels Gradientenmessanordnung gemessen, wobei bei dem IP-Modell eine Einspeiszeit von 1s gewählt wurde.

### Vergleich mit Bohrungen und chemischer Analyse

An bestimmten Punkten der ERT/IP-Profile wurden Proben für eine spätere chemische Analyse genommen. Diese sind zusammen mit den unterschiedlichen angeführten Bohrungen in Abbildung 18 verortet. Bei der Lokalisierung der Schürfe wurde nicht auf das GNSS zurückgegriffen, sondern der Profilabstand notiert, um sie später so mit den einzelnen Modellen besser vergleichen zu können. Für eine bessere Darstellung der unterschiedlichen Grafitlagen wurde ein Blockdiagramm (siehe Abbildung 19) angefertigt. Eine Korrelation mit den Bohrungen ist aus den bereits genannten Gründen mehr als schwierig (Preiner, 2022). Zusätzlich zu den Bohrungen wurden noch an unterschiedlichen Standorten Proben genommen. Diese sind in Tabelle 1 beschrieben. In Abbildung 18 zeigt sich auch die Nähe des Profils 6B\_1 und 6B\_2 zu dem ehemaligen Abbau (hier mit einem roten Rechteck gekennzeichnet).



	Schurf 1	Schurf 2	Schurf 3	Schurf 4	Schurf 5
<b>Profil</b>	6B_1 & 6B_2	6B_1 & 6B_2	5B_1	8B_2	8B_2
<b>Tiefe</b>	0.8m	0.4m	0.2m	0.4m	0.4m
<b>Proben Beschreibung</b>	Bräunlich feinkörnig	Dunkelgrau, feinkörnig	Dunkelgrau, grobkörnig mit teilweise sichtbarem Grafit	Dunkelgrau bis hellbraun, grobkörnig mit teilweise sichtbarem Grafit	Dunkelgrau, grobkörnig mit teilweise sichtbarem Grafit

Tabelle 1: Proben mit den unterschiedlichen Tiefen und einer kurzen Probenbeschreibung

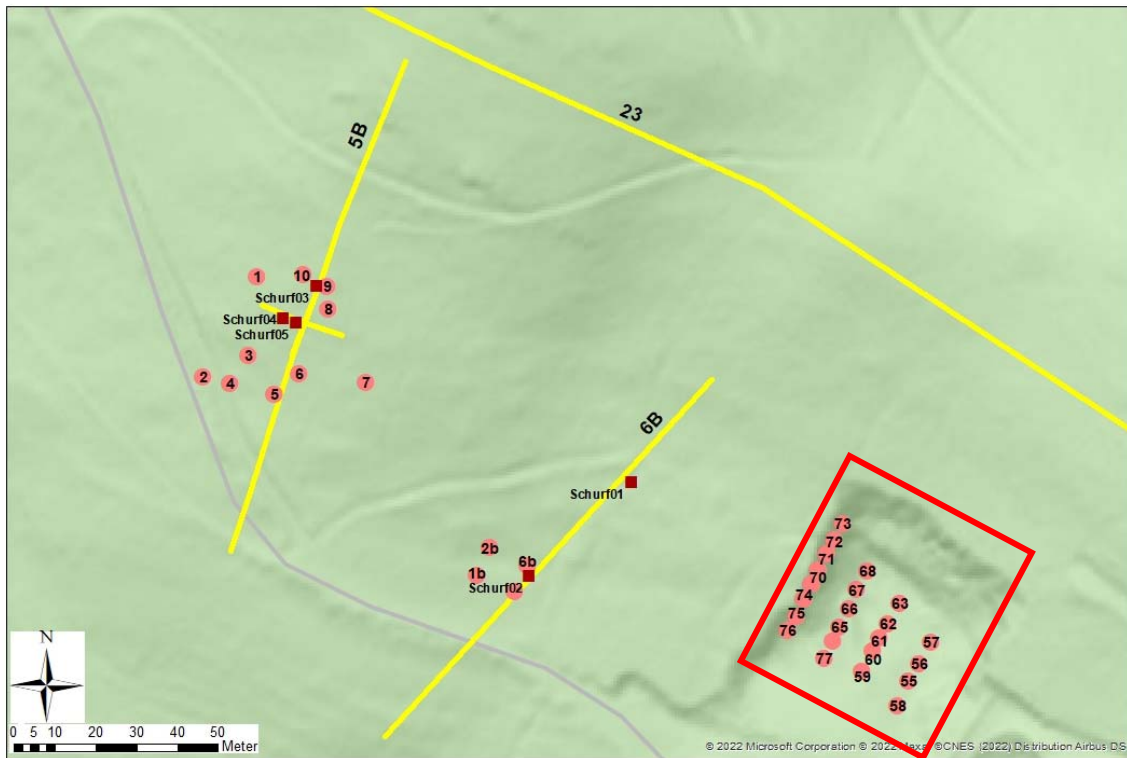


Abbildung 18: Lageplan der verschiedenen Schürfe (braune Quadrate) und der ehemaligen Bohrungen (hellrote Punkte) mit den gemessenen ERT/IP-Profilen (in gelb). Das rote Rechteck kennzeichnet den ehemaligen Tagbau (Quelle: ArcGIS Geoland Basemap LiDAR Scan).

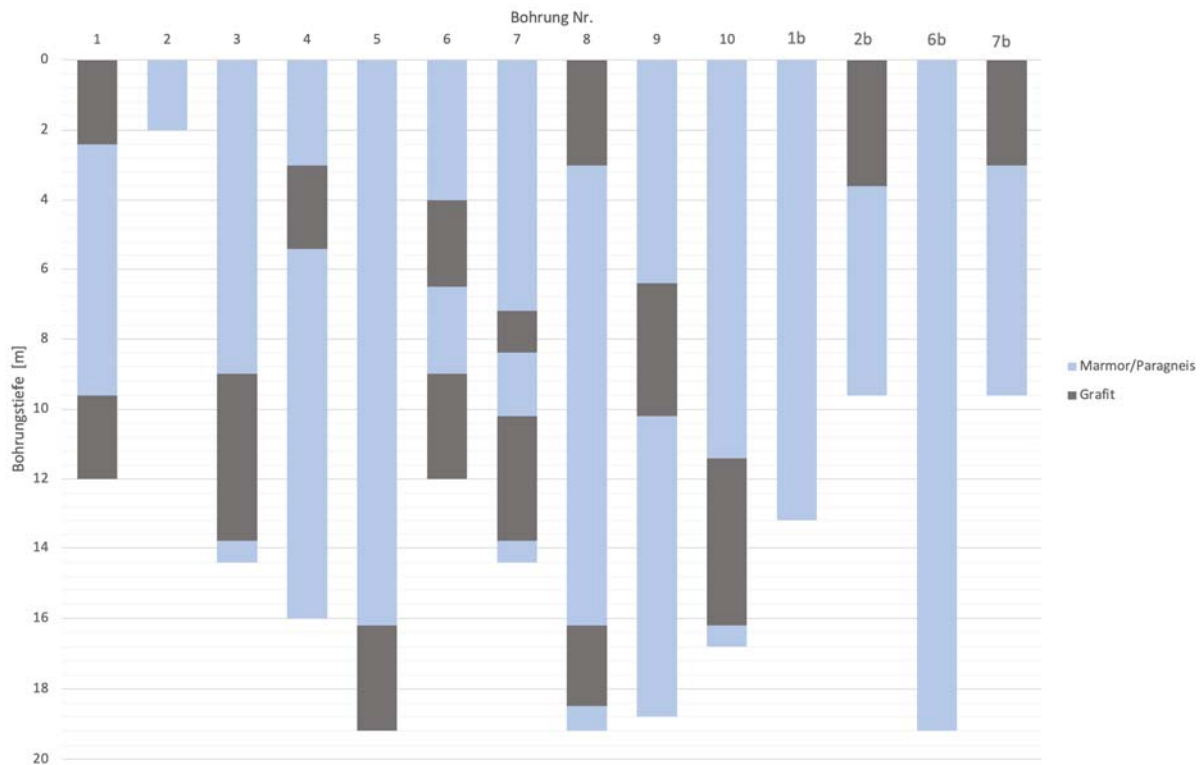


Abbildung 19 Aneinanderreihung der unterschiedlichen Bohrungen mit den Grafit-horizonten in grau und den Marmor- und Paragneishorizonten in hellblau gezeichnet.

In Profil 6B (siehe Abbildung 20) ist die Bohrung 7b besonders erwähnenswert, da diese sehr gut mit dem Geoelektrikprofil vergleichbar ist. Hier geht man davon aus, dass die erste Lage mit niedrigem spezifischem Widerstand auf einen oberflächennahen Grafit-horizont hinweist. Die Bohrung 6b ist weniger aussagekräftig, da es hier laut den Aufzeichnungen zu keiner Auffindung von Grafit gekommen ist, obwohl das ERT Modell klare Tendenzen hierzu anzeigt.

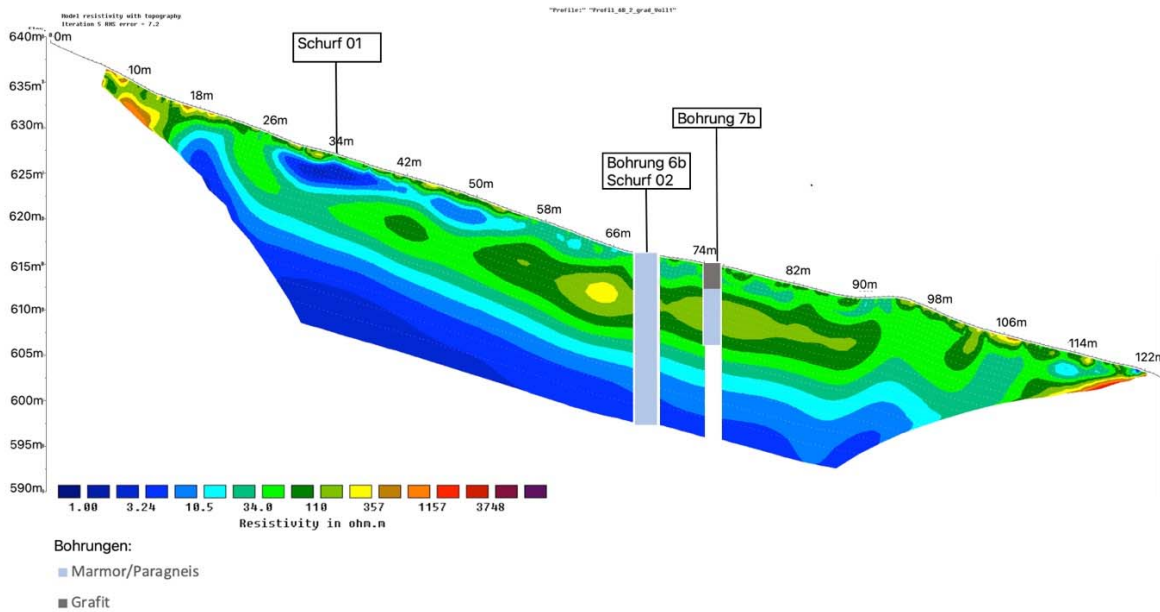


Abbildung 20: Profil 6B (zusammengefasst aus 6B\_1 und 6B\_2) gemessen mittels Gradientenmessanordnung mit einem RMS-Error von 7.2%. Die Bohrungen (6b;7b) und Schürfe (01;02) sind hierbei gekennzeichnet. Die Bohrungen sind maßstabsgetreu eingezeichnet.

Die Grafithorizonte aus den Bohrungen (5;6;9) in Abbildung 21 sind zum Teil auch gut im Widerstandsmodell ersichtlic. Der angenommene Grafitkörper bei Bohrung 9 stimmt nicht überein, da man anhand des Modells vermuten würde, dass dieser auch weiter in die Tiefe geht. Bemerkenswert ist die Bohrung 5, die sehr genau mit der Geoelektrik vergleichbar ist, jedoch tiefere Schichten erreicht, als das Modell berechnet hatte. Man kann am Rand des Modells (in der Nähe der Bohrung 5) einen Bereich erkennen, der wieder ansatzweise eine niedrigohmige Anomalie darstellt, jedoch sind Interpretationen, die am Rand eines Inversionsmodells gezogen werden, immer etwas kritisch anzusehen.

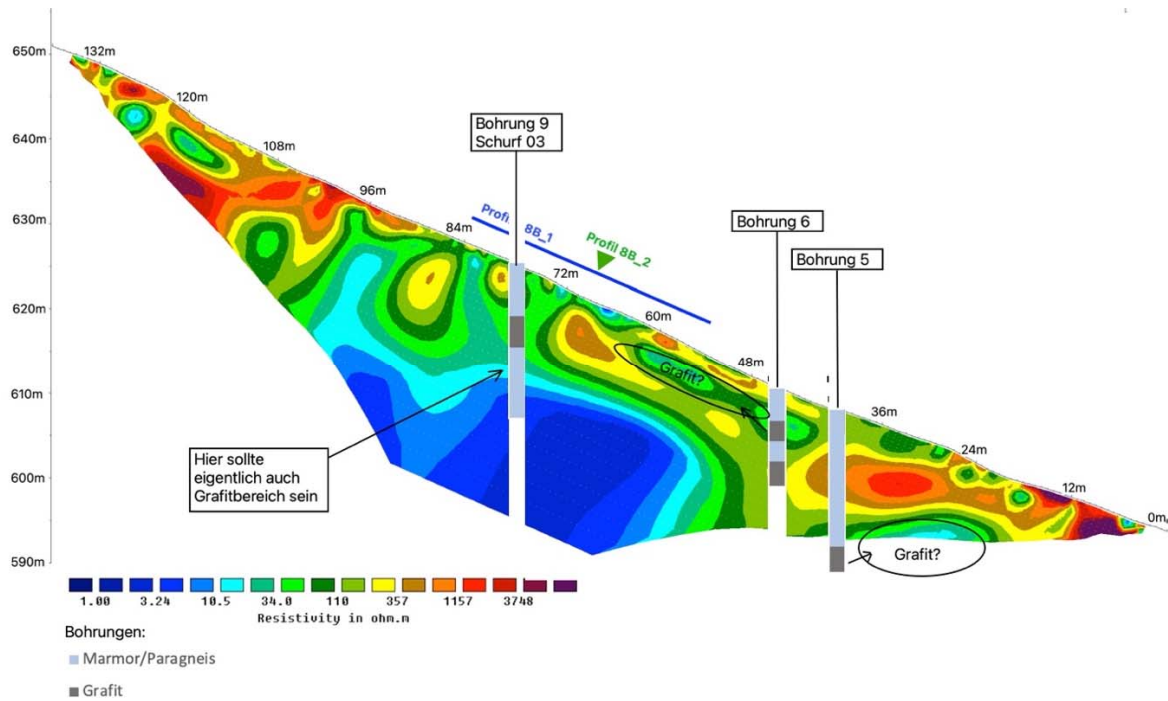


Abbildung 21: Profil 5B\_1 gemessen mittels Gradientmessanordnung mit einem RMS-Error von 7.2%. Detailprofil (8B\_1) sind hier mit einer blauen Linie gekennzeichnet und das gekreuzte Profil (8B\_2) ist mit einem grünen Pfeil lokalisiert. Die Bohrungen (5;6;9) und der Schurf (03) sind hierbei gekennzeichnet. Die Bohrungen sind maßstabsgetreu eingezeichnet.

Nach der Probennahme an den unterschiedlichen Schurflokalisierungen wurden die Proben durch das Geochemielabor der Geologischen Bundesanstalt analysiert. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 2 angeführt. Zur Analyse der unterschiedlichen Proben wurden die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) verwendet. Besonders charakteristische Werte sind in der Tabelle 2 in Rot hervorgehoben.

Bezeichnung	Einheit	Amstall-Schurf 1	Amstall-Schurf 2	Amstall-Schurf 3	Amstall-Schurf 4	Amstall-Schurf 5
SiO <sub>2</sub>	%	69.0	61.0	57.0	54.0	9.0
TiO <sub>2</sub>	%	0.9	0.7	0.5	0.9	0.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	12.6	12.8	12.3	9.7	1.1
FeO	%	4.6	6.4	3.1	0.4	2.1
MnO	%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3
MgO	%	3.7	2.1	< 1	< 1	6.6
CaO	%	1.7	0.9	0.8	1.8	54.1
Na <sub>2</sub> O	%	1.5	0.8	1.0	2.7	0.1
K <sub>2</sub> O	%	2.3	1.8	4.0	0.9	0.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
SO <sub>3</sub>	%	0.11	0.24	0.4	0.2	0.1
H <sub>2</sub> O <sup>110° C</sup>	%	1.4	3.2	1.5	0.6	0.2
H <sub>2</sub> O+	%	< 0,1	< 0,1	n.b.	n.b.	n.b.
CO <sub>2</sub>	%	-	-	-	-	-
C (Grafit)	%	1.5	8.9	19.1	27.9	10.8
Summe	%	99.5	99.0	99.8	99.1	84.9

Tabelle 2: Proben, die im geochemischen Labor der Geologischen Bundesanstalt analysiert wurden, hier gezeigt als Relativwerte der einzelnen Mineralphasen.

Besonders sticht hier der hohe Karbonatgehalt in der Probe 5 heraus. Interessant ist dieser Wert, weil dies nicht mit dem Geoelektrik Profil (bei Schurf 5) zusammenpasst. Hier würde man eher davon ausgehen, dass diese Probe einen hohen Grafitgehalt aufweist, jedoch befindet sich dieser mit 10.8% im mittleren Bereich der untersuchten Proben. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass der Grafitgehalt in einer karbonatischen Matrix bereits ausreicht, um den Strom ausreichend gut leiten zu können. Die Gesamtsumme bei Schurf Nr. 5 ist niedriger als jene der anderen Proben, da viele organische Bestandteile vorhanden waren (circa 15% Gesamtprobe), die sich in Folge der chemischen Analyse (durch die Behandlung von Wasserstoffperoxid) aufgelöst haben. Die prozentuell größten Grafitgehalte wurden in den Proben aus Schurf 3 und 4 analysiert. Hier zeigt jedoch weder das Modell aus Abbildung 21 noch aus 22 eine Zone mit einem geringen spezifischen Widerstand. Die beprobte Stelle bei Profil 8B\_2 (siehe Abbildung 22) befindet sich am Rande einer möglichen Grafitzone, wodurch möglicherweise ein grafitreicher Bereich beprobt wurde.

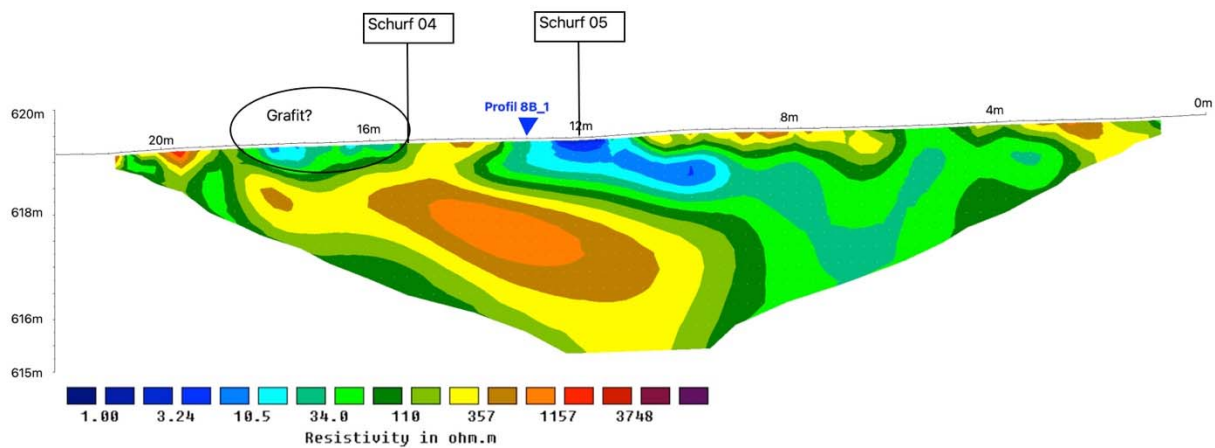


Abbildung 22 Profil 8B\_2 gemessen mittels Gradientmessanordnung mit einem RMS-Error von 7.0%. Schürfe 4 und 5 sind in dem Modell lokalisiert.

### Literaturverzeichnis

Gautneb, H., Ronning, J. S., Engvik, A.K., Henderson, I.H.C., Larsen, B.E., Solberg, J. K., Ofstad, F., Gellein, J., Elvebakk, H., Davidsen, B., 2020. The Graphite Occurrences of Northern Norway, a Review of Geology, Geophysics, and Resources, Minerals 2020, 10, 626, p.24, DOI: 10.3390/min10070626.

Pichlhöfer, R. 1985. Montangeologische Untersuchungen der Graphitlagerstätte Weinberg bei Amstall in NÖ. – Dipl.Arb. (not published), Montanuniversität Leoben, 135 S., 58 Abb., 10 Tab., Leoben.

Preiner, A. 2022. Geophysikalische Prospektion von Grafitlagerstätten der Bunten Serie im Waldviertel. Masterarbeit (nicht veröffentlicht), Montanuniversität Leoben, 92 S., 60 Abb., 8 Tab., Leoben.

## Messgebiet Hengstberg

### Vorexkursionen des Projektteams im Untersuchungsgebiet Hengstberg

Am 05.04.2022 fand eine gemeinsame Geländebegehung des Untersuchungsgebietes mit der TU Wien statt. Mit Kollegen der MUL wurde eine Besichtigung der Lokation Hengstberg am 05.05.2022 durchgeführt (siehe Abb. 23).

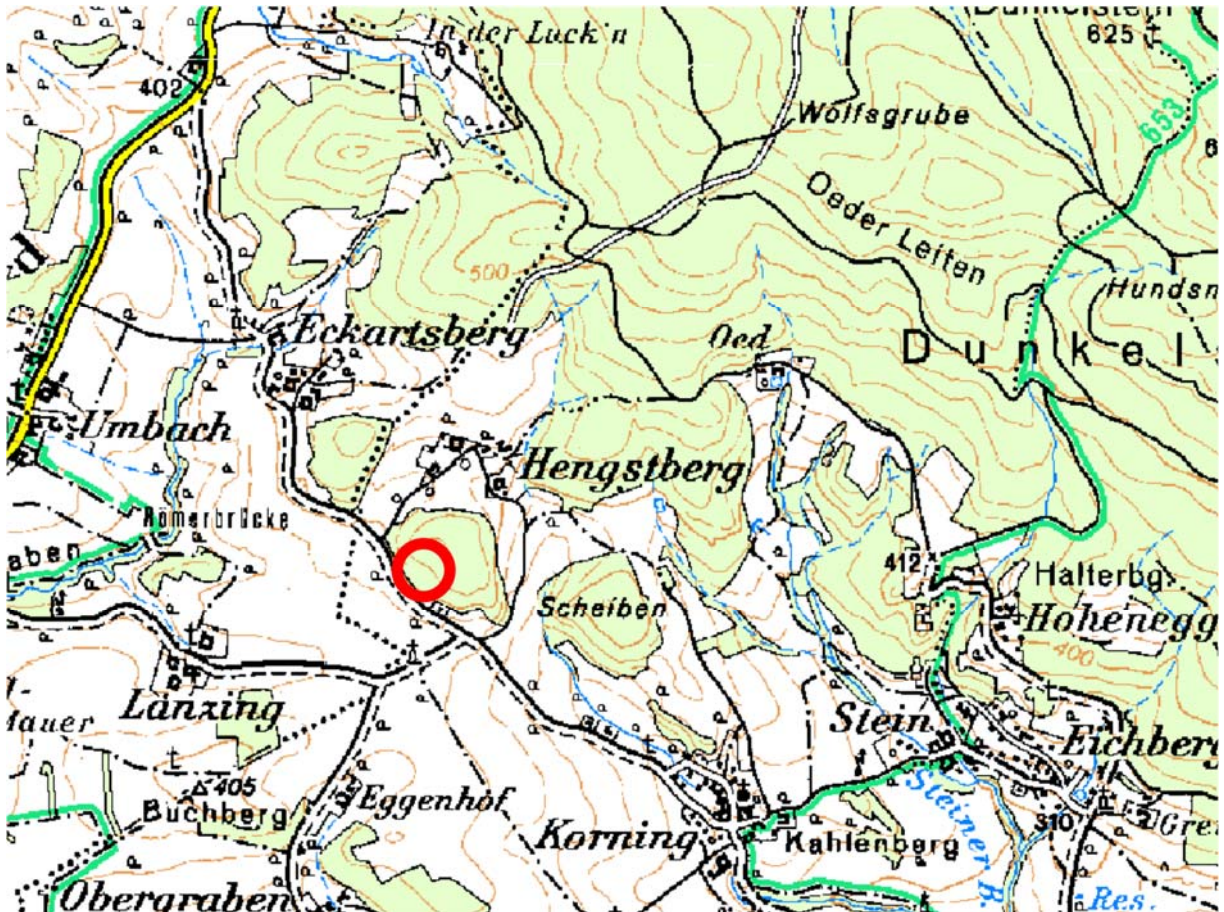


Abbildung 23: Lage des ehemaligen Grafitbergbaues bei Hengstberg (AMAP)

### Grafit im Dunkelsteiner Wald/Lagerstätte Hengstberg

Südlich des Dunkelsteinerwalds sind einige Grafitvorkommen bekannt die mehrheitlich makrokristallinen Grafit – Flinzgrafit – führen (Holzer, 1964; Weber u. a., 2019) – siehe Abb. 24. Eines dieser Vorkommen ist der ehemalige Bergbau Hengstberg. Diese wohl bedeutendste Lagerstätte für Flinzgrafit Anfang des 20. Jahrhunderts südlich der Donau liegt direkt am Südwestrand es Dunkelsteinerwalds.

Der Dunkelsteinerwald ist ein aus mehrheitlich Granulit aufgebauter Höhenzug der die Donau rechtsufrig etwa im Abschnitt zwischen Melk und Mautern begleitet. Im Süden dessen prägen andere Metamorphite wie Paragneise, Amphibolite und Marmore das Bild.

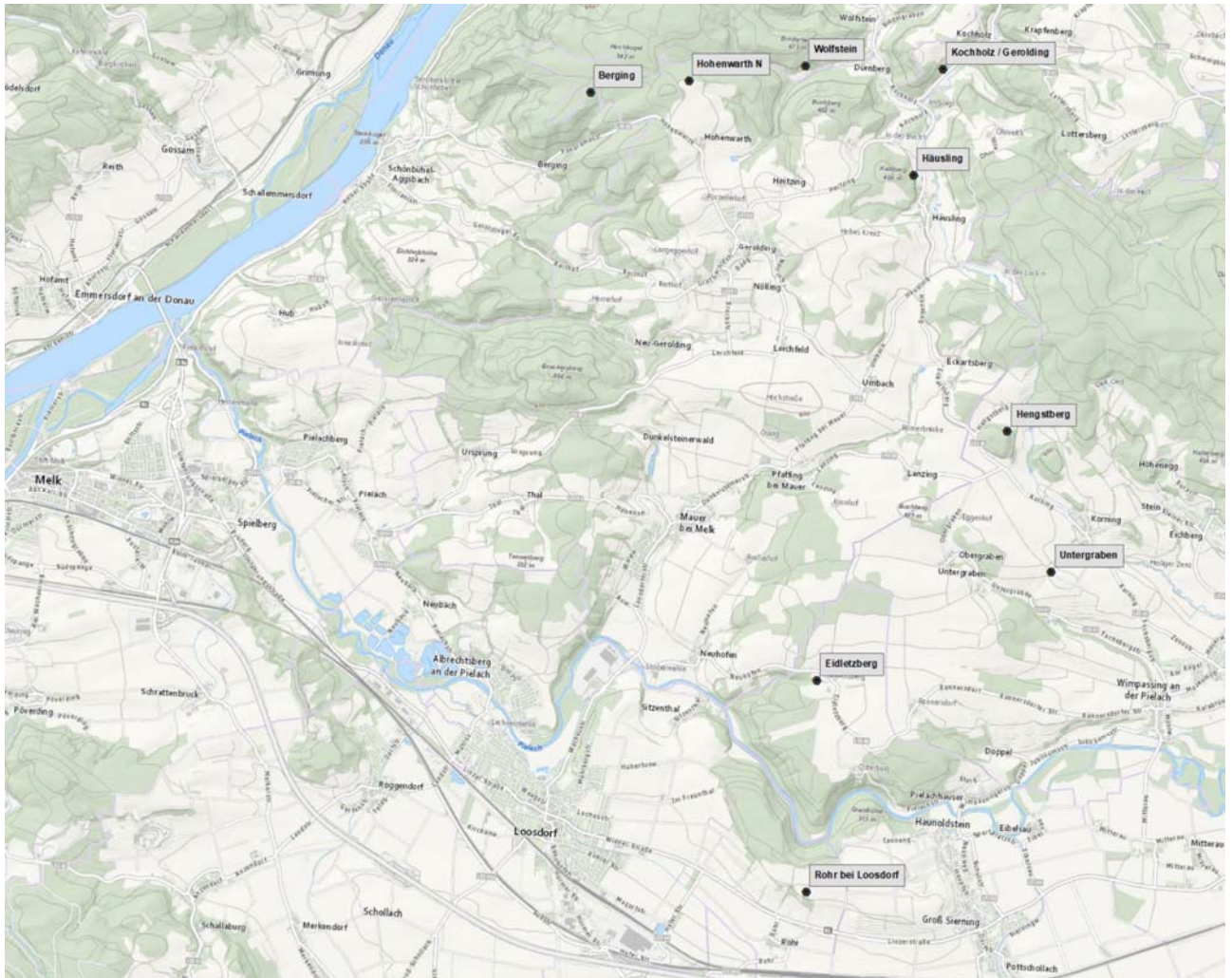


Abbildung 24: Bekannte Grafitvorkommen am Südwestrand des Dunkelsteiner Waldes (Holzer, 1964; Weber u. a., 2019). (Grundkarte: [basemap.at](https://www.basemap.at))

## Geologie

Die Lagerstätte liegt an einem Höhenrücken (Dachertberg, 442m) südlich des Ortes Hengstberg. Dieses Gebiet betrifft das Kartenblatt GK50 55 Ober-Grafendorf (Schnabel u. a., 2012). Es ist dem Drosendorf-Deckensystem (Bunte Serie) des Moldanubikums zugeordnet.

Der lithologische Inhalt besteht aus Grafit führendem Marmor und Paragneis (dieser wird in älter Literatur auch gerne als Schiefergneis angesprochen) (Alber u. a., 1987; Schnabel u. a., 2012).

Mehrere zueinander parallele, linsenförmige Lager von Flinzgrafit liegen konkordant im Paragneis nahe einer Marmorlage im Hangenden (Lechner, 1954). Bei einer Begehung seitens des Projektteams im Jahr 2021 wurden auch kleinmächtige Pegmatite gefunden.

Es ist ein allgemeines NW-SE Streichen – 135 Grad (Wagner, 2009) – mit einem mittelsteilen S bis SW Einfallen – 20-40 Grad (Alber u. a., 1987) – zu beobachten. Die Mächtigkeiten der unterschiedlichen Lager waren schwankend und sie reichten von Zentimeter bis Meter. Die Grafitlager zeichnen sich deutlich in der aus zersetztem Paragneis bestehenden Lagermasse ab und sie führen reichlich bis zu



einem Millimeter große Grafitflinze die in der Foliation (Schiefungsfläche) des Gesteins orientiert sind (Lechner, 1954).

#### Lagerstätte

Der ehemalige Bergbau erschloss die Lagerstätten durch mehrere nicht zusammenhängende Stollen und Schächte (Holzer, 1964; Alber u. a., 1987). Von größerer Erstreckung waren der *Grenzstollen* und der *Weberstollen*. Beide liegen im Norden des Dachertberg und sind jeweils etwa 150 Meter langen. Der Grenzstollen ist etwas im Streichen getrieben worden. Südseitig befinden sich mehrere Stollen von geringerer Erstreckung: der ca. 50 Meter lange *Clarastollen*, der *Mariastollen* und der *Benzinstollen*.

In Abb. 25 sind die Stollen durch eine georeferenzierte Karte des Grubenbaus Hengstberg dargestellt.



Abbildung 25: Georeferenzierte Karte der Grubenbaue Hengstberg 1:500 (MB: 10564, IRIS-ID: 9843). Im Norden der Grenz- und Weberstollen. Beide haben eine Erstreckung von jeweils ca. 150 Meter, der Grenzstollen wurde circa im Streichen getrieben. An der Südseite der Maria- und Clarastollen. Diese sind von geringerer Erstreckung. Grundkarte: [basemap.at](http://basemap.at)

#### Historisches

Dieses Vorkommen von Flockengrafit am südwestlichen Ende des Dunkelsteiner Waldes ist sein circa 1800 bekannt (Holzer, 1963). Es wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts zum ersten Mal bergmännisch erschlossen wurde jedoch wieder verschüttet. 1907 begann eine *Societe anonyme* die außer Betriebs

stehenden Baue wieder zu betreiben (Holzer, 1964). Große Abbautätigkeiten gab es in der Zeit von 1914 bis 1920. Zusammenfassend stand dieses Grafitvorkommen zwischen 1907 und dem Ende des ersten Weltkriegs in Abbau.

Nach Alber u. a. (1987) stellt sich der zeitliche Verlauf des Abbaus wie folgt dar:

- 1892 zum ersten Mal aufgesperrt, verschüttet.
- 1905 durch Loosdorfer Grafitwerke eröffnet.
- 1906-1910 durch Belgische Gesellschaft ausgebeutet.
- 1914-1920 Blütezeit (über 200 Arbeiter)
- 1937 im Besitz der NÖ GRAFIT GmbH

Breits bei Begehung durch Lechner (1954) war nur noch ein Stollen teilweise befahrbar. 1962 (Holzer, 1964) waren außer einem offenen Schacht und ein verstürztes Mundloch nur noch Pingen und überwachsene Halden ersichtlich.

### Fördermengen

Bezüglicher der Fördermenge lassen sich in der Literatur (Holzer, 1964; Alber u. a., 1987) folgende Daten finden:

- Um 1908 20–30 Zentner pro Tag Rohgrafit (=1,12-1,68 Tonnen)
- In der Zeit 1919 bis 1921: 263 Tonnen Rohgrafit

### Analytik

Die Ergebnisse der durch Wagner (2009) gemachten Röntgen-Pulverdiffraktometrie (XRPD) und Geochemischen Analysen sind hier angegeben.

### Röntgen-Pulverdiffraktometrie

Eine durch XRPD durchgeführte qualitative Phasenbestimmung ergab eine ähnliche Zusammensetzung innerhalb der Bunten Serie. Hauptbestandteile sind Grafit, Feldspat, Quarz, Pyrit und Schichtsilikate. In der Probe aus Hengstberg fand sich weiteres hauptsächlich Pumpellyit.

Die Strukturparameter ausgewählter Grafite der Bunten Serie, einschließlich Hengstberg, sind in Tab. 3 angegeben.

Lokalität	$2\theta_{002}$ bei $I_{\max}$	HWB <sub>002</sub> ( $2\theta$ )
Amstall SE	26.487	0.157
Hengstberg	26.512	0.115
Loja	26.551	0.124
Mühdorf	26.451	0.185
Trenning	26.462	0.187
Weinberg	26.487	0.157
Zettlitz	26.517	0.150
Durchschnitt	26.502	0.153

Tab. 3: Strukturparameter ausgewählter Grafite der Bunten Serie

## Geochemie

In Tab. 4 sind die chemischen Zusammensetzungen von ausgewählten Grafiten der Bunten Serie nach Wagner (2009) angegeben.

Lokalität	Weinberg	Amstall SE	Mühldorf	Trenning	Zettlitz	Hengstberg	Loja
GV [wt.%]	53.70	23.30	64.50	45.20	50.20	30.10	60.20
C	48.97	15.99	64.78	38.64	44.63	22.30	52.30
CO <sub>2</sub>	0.00	2.07	0.00	6.25	4.60	7.78	3.57
S	8.39	8.35	0.17	0.58	1.59	0.06	6.98
SiO <sub>2</sub>	22.17	41.26	22.92	39.11	34.08	33.65	18.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.13	11.21	7.11	8.95	8.36	14.71	6.57
Fe (sulfid)	7.31	7.27	0.15	0.51	1.38	0.05	6.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.73	1.21	0.22	0.25	0.82	3.46	2.23
CaO	1.30	2.11	0.65	0.15	0.35	11.96	1.01
MgO	0.37	1.76	0.11	0.32	0.38	2.71	0.69
Na <sub>2</sub> O	1.79	4.29	1.98	0.46	1.29	0.17	0.64
K <sub>2</sub> O	1.01	0.34	1.01	2.68	3.15	1.15	2.20
Mn [ppm]	303.00	150.00	104.00	470.00	67.00	1864.00	98.00
Ti	1820.00	4000.00	1124.00	2135.00	1770.00	2947.00	1777.00
P	412.00	352.00	140.00	63.00	92.00	547.00	14.00
Ag	1.60	0.70	1.40	0.50	8.40	3.50	1.20
As	5.70	5.40	3.70	3.20	3.80	5.20	3.00
B	205.00	80.00	7.00	22.00	745.00	43.00	5.00
Ba	185.00	39.00	134.00	473.00	359.00	244.00	806.00
Cd	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.30	0.10
Co	25.00	241.00	2.00	13.00	14.00	6.00	49.00
Cr	61.00	50.00	16.00	48.00	33.00	32.00	50.00
Cu	19.00	94.00	13.00	43.00	20.00	57.00	155.00
Ga	12.00	18.00	7.00	14.00	9.00	18.00	13.00
Ge	0.70	1.50	0.60	0.80	0.80	1.50	0.40
Li	8.30	1.00	1.70	3.40	0.50	8.10	51.40
Mo	11.00	13.20	10.40	4.90	6.60	1.80	12.90
Ni	67.00	85.00	7.00	9.00	33.00	23.00	218.00
Pb	4.50	6.20	1.10	4.40	3.10	4.80	14.40
Rb	27.00	12.00	24.00	92.00	72.00	44.00	70.00
Sr	35.00	64.00	44.00	76.00	69.00	102.00	99.00
V	198.00	123.00	50.00	175.00	84.00	86.00	143.00

Lokalität	Weinberg	Amstall SE	Mühldorf	Trenning	Zettlitz	Hengstberg	Loja
Zn	8.60	3.60	4.60	3.50	14.10	22.10	18.90
Zr	57.00	139.00	42.00	68.00	58.00	126.00	59.00
Th	3.50	2.40	0.10	3.30	1.60	12.90	4.20
U	2.00	4.30	0.30	1.20	1.00	6.50	1.80
Summe	100.50	96.40	99.27	98.26	100.98	98.62	101.22

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzungen von ausgewählten Grafiten der Bunten Serie (Wagner, 2009)

### Umgebung der Lagerstätte

Südlich der Ortschaft Hengstberg liegt der Dachertberg an diesem mehrere Grafitlagen bergmännisch erschlossen wurden. Nordwestlich davon, Richtung Eckartberg, liegt eine namenlose Erhebung und östlich davon liegt eine Erhöhung namens Scheiben. Beide sind vom Dachertberg nur etwa 100 Meter entfernt und sowohl hinsichtlich der Höhe als auch der Ausdehnung diesem äquivalent. An diesen Erhebungen sind einige zugewachsene Schürfe und Pingen zu erkennen, die von ehemalige Abbauversuchen oder Explorationen zeugen. Zu einer erwähnenswerten Abbautätigkeit, wie am Dachertberg, dürfte es jedoch nicht gekommen sein.

In der nordwestlichen Erhebung ist reichlich helles, grobkörniges und feldspatreiches (pegmatitisches) Gestein zu finden. Von einer Probe wurde eine Röntgenpulverdiffraktometrie (XRPD) an der Geologischen Bundesanstalt gemacht. Diese liefert folgende Zusammensetzung der Hauptkomponenten: 25% Quarz, 35% Alkalifeldspat, 28% Plagioklas, 10% Muscovit und 2% Biotit. Das Gestein hat damit, nach Le Bas und Streckeisen (1991) (QAPF), eine granitische Zusammensetzung. Daneben ist hier auch Paragneis anstehend und am südlichen Ende ist noch ein geringmächtiges Marmorvorkommen zu erwähnen. Die östliche Erhebung zeichnet sich durch Paragneis mit wenig Grafit und zum Teil auffallend hohem Quarzgehalt, sowie wenige geringmächtigen Vorkommen des oben beschriebenen feldspatreichen, pegmatitischen, Gesteins aus. Trotz der Lage in unmittelbarer Nähe zum ehemaligen Abbau am Dachertberg konnte hier nur wenig bis kein Grafit ausgemacht werden und dieser ist dispers im Gestein verteilt.

### Strukturdaten

Das allgemeine südwestliche Einfallen in der Gegend um Hengstberg und in den ehemaligen Abbauten konnte durch Messungen in diesem Jahr bestätigt werden. Der Durchschnitt der gemessenen Foliation (Schiefungsfläche) liegt bei (215/37) – was einem mittleren südwestlichen Einfallen entspricht. Dieser Mittelwert ist ein Fisher-Durchschnittsvektor und wurde mit Stereonet Version 11. (Allmendinger u. a., 2011; Cardozo und Allmendinger, 2013) ermittelt – siehe Abb. 26.

Diese Orientierung lässt sich bei sämtlichen Lithologien beobachten. Die ehemals abgebauten Grafitlagen sind ebenso orientiert. Die Fallrichtung entspricht einem NW-SE Streichen von 125 Grad,

was in guter Übereinstimmung mit den von Lechner (1954) genannten Werten ist. Ebenso liegt der gemessene Fallwinkel im von Alber u. a. (1987) genannten Bereich von 20 bis 40 Grad.

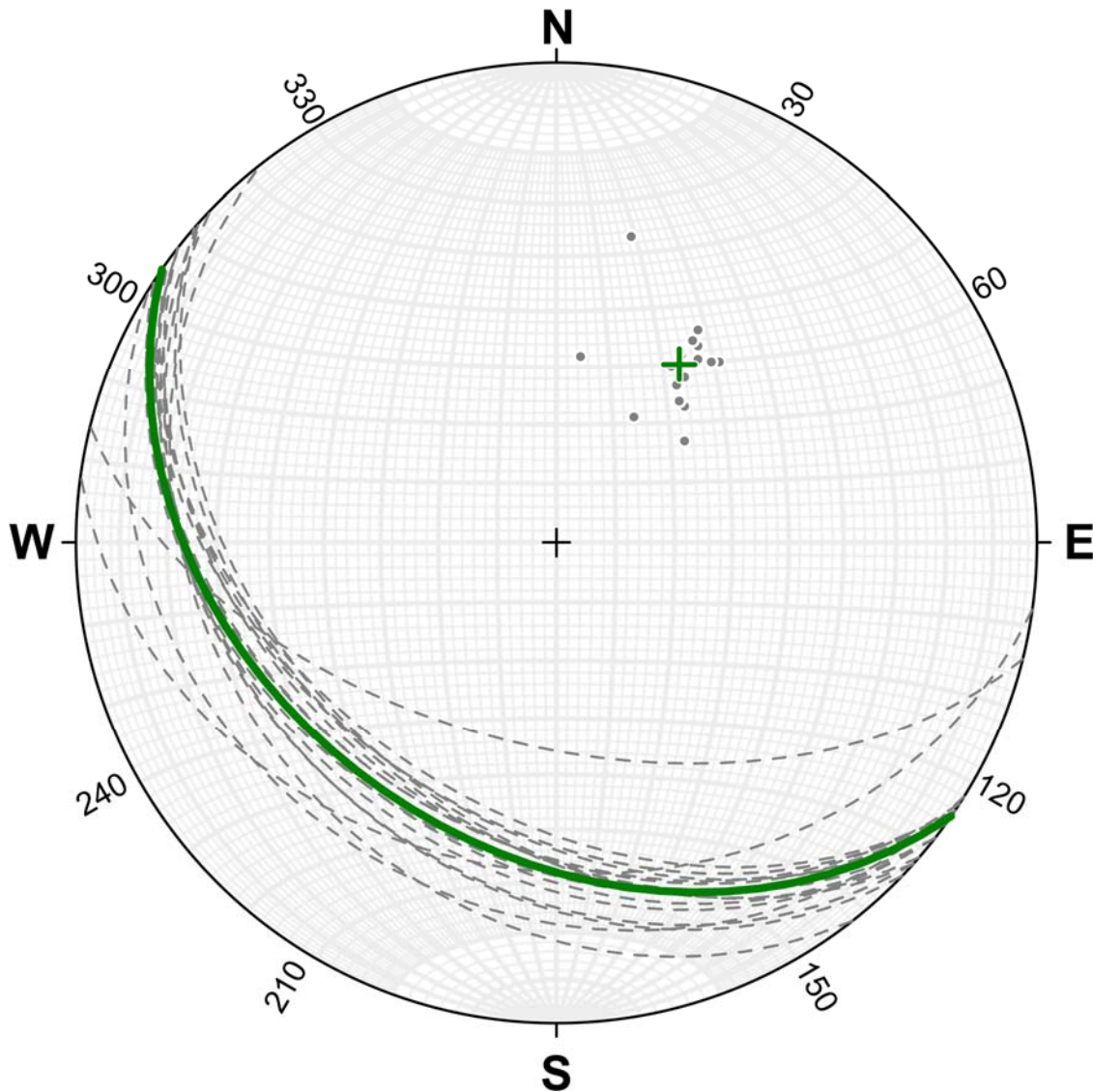


Abbildung: 26: Gemessene Planare (Schieferungsflächen) in der Umgebung von Hengstberg. Es zeigt sich ein einheitliches mittleres südwestliches Einfallen mit einem Durchschnitt von (215/37). Diese Orientierung lässt sich bei sämtliche beobachtete Lithologien beobachten und die ehemals abgebauten Grafitlagen sind ebenso orientiert. Grau: Messungen als Flächen und deren Polpunkte, Grün: Errechneter Durchschnitt als Fläche und Polpunkt.

Zum besseren Verständnis ist die räumliche Lage der Grafitlagen noch in Abbildung 27 im Aufriss skizziert.

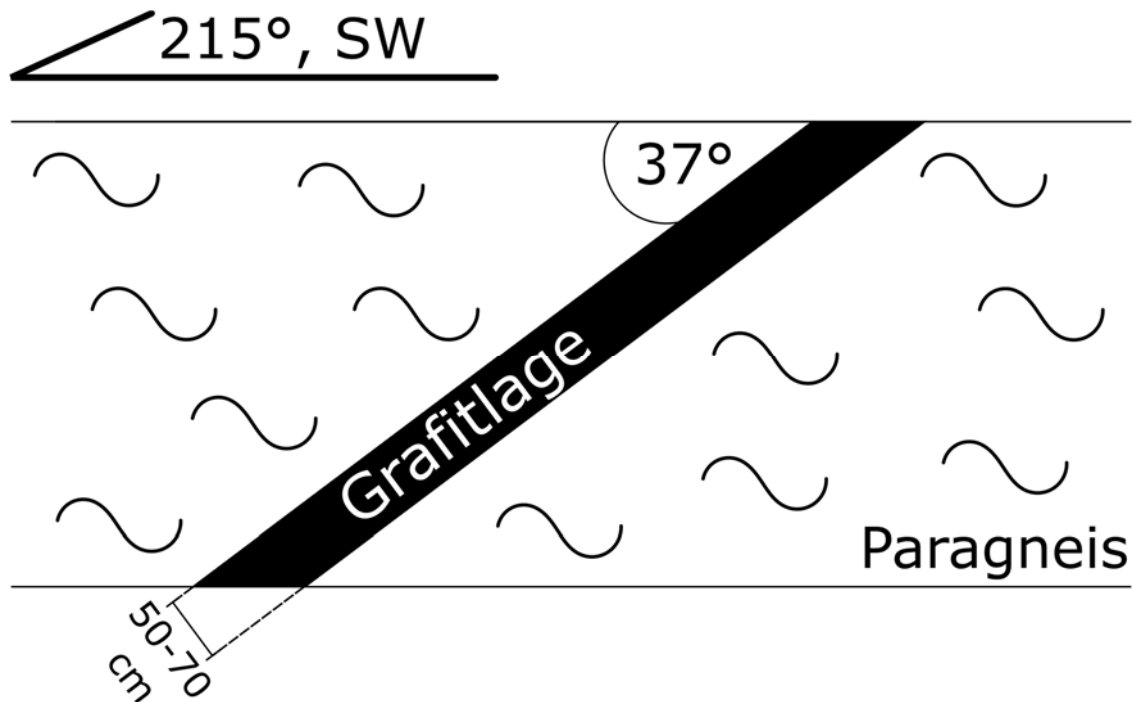


Abbildung: 27: Räumliche Lage der Grafitlagen am Dachertberg bei Hengstberg: Diese Fallen mittelsteil Richtung SW ein, haben eine Mächtigkeit vom 50-70 cm und sind in einen grafitführenden Paragneis bis Grafit-Gneis eingebettet.

### Befahrungen

Bei Befahrungen im Zuge dieses Projekts konnten sowohl der Maria- als auch der Clarastollen befahren werden. Die Mundlöcher des Grenz- und Weberstollens waren nicht mehr zu finden und diese Stollen konnten nicht befahren werden.

### Mariastollen

Der Mariastollen liegt auf der südwestlichen Seite des Dachertbergs und ist das Kleinste der vier Stollensysteme. In Abbildung 28 ist eine Detailvergrößerung, aus Abbildung 25, dieses Stollensystems dargestellt.

Abgebaut wurde offensichtlich an drei Grafitlagen die flözartig wirken. Diese sind 50 bis 70 Zentimeter mächtig und die Längste Lage ist etwa 30 Meter lang. Neben diesen mächtigeren Lagen sind geringmächtige Grafitlinsen und -gänge zu beobachten. Es lässt sich eine pinch and swell Struktur vermuten, denn die Grafitlagen zeigen kontinuierliche Übergänge in deren Mächtigkeiten. Makroskopisch wirken die Grafite relativ rein und es sind immer wieder bis zu Millimeter große Grafitkristalle erkennbar. Der Grafit wird als ein Flinz- bzw. Flockengrafit klassifiziert. Das Trägergestein ist ein Paragneis (Biotit-Albit-Grafit-Gneis) der sich mit zunehmendem Abstand zu den Grafitlagen als ein Grafit-Gneis oder grafitführender Gneis ansprechen lässt.

In diesen Paragneis sind wenige dünnmächtige Marmorlagen eingeschalten. Dieser Marmor sieht makroskopisch so aus wie jener des NW-SE streichenden Marmorzuges, der sich in der Umgebung des

Dachertberges beobachten lässt. Die geografische Lage dieses Zuges legt auch nahe, dass es sich bei dem im Stollen beobachteten Marmor um diesen Marmorzug handelt. Am östlichen Ende des Stollensystems lassen sich vereinzelt (granitische) Pegmatite beobachten die zentimetergroße Hellglimmerkristalle aufweisen.

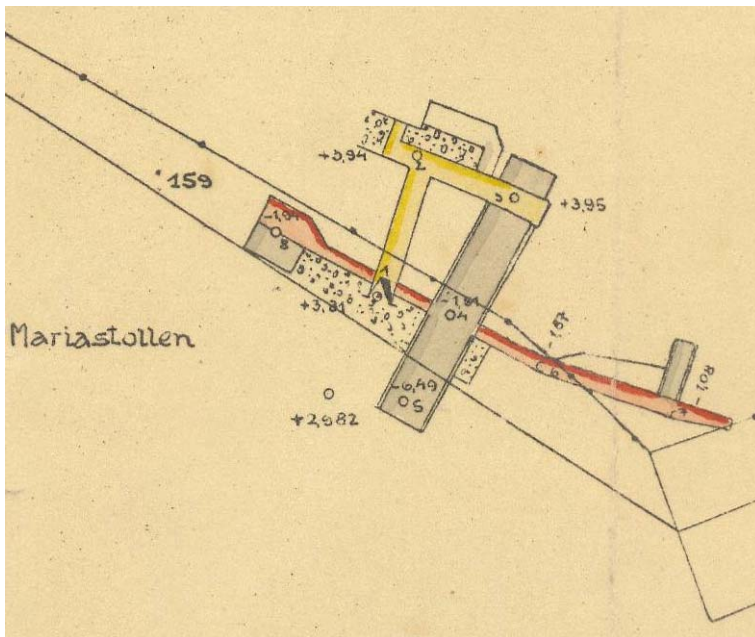


Abbildung 28: Mariastollen, Maßstab 1:500, Grafitflöze in Grau, Detailausschnitt aus Grubenplan (Abb. X1)

### Clarastollen

Der Clarastollen befindet sich an der südöstlichen Seite des Dachertbergs, etwa 200 Meter östlich des Mariastollens. Das Stollensystem hat eine Länge von etwa 70 Meter und ist ausgedehnter und verzweigter als das des Mariastollens. In Abbildung 29 ist eine Detailvergrößerung, aus Abbildung 25, dieses Stollensystems dargestellt.

Auch hier wurde der Grafit an flözartig wirkenden Lagen abgebaut. Zwei größer Grafitlagen sind auszumachen diese haben eine Mächtigkeit vom 50 bis 70 Zentimeter und sind bis zu etwa 18 Meter lang. Daneben sind noch weiter geringmächtige Grafitlinsen auszumachen. Weiteres ist Grafit dispers in den Gesteinen verteilt und im allgemeinen nicht so wie im Mariastollen in Lagen konzentriert. Makroskopisch wirken die Grafite unreiner als im Mariastollen und es lassen sich auch hier immer wieder bis zu Millimeter große Grafitkristalle ausmachen – auch diese Grafite werden als Flockengrafite klassifiziert.

Das Trägergestein ist ein Paragneis (Biotit-Albit-Grafit-Gneis). Die Grafitführung in diesem ist stark variabel. Weiteres sind in diesem Stollen Zentimeter mächtige Kalksilikatgesteine auszumachen – Marmor konnte keiner ausgemacht werden. In der Nähe des Wetterschachtes ist wenig pegmatitisches Material vorhanden. In diesem zeigen sich bis zu zwei Zentimeter große Muscovit-Blättchen.

Auffallend – im Vergleich zum Mariastollen – ist, dass hier zum einen einige Sulfide vorhanden sind und zum anderen Sinterbildung zu beobachten ist. Erstere äußern sich in Mineralphasen wie Pyrrhotin (Magnetkies) und in einer häufig gegenwertigen gelbbraunen Verwitterungskruste. Letztere ist an bis zu Zentimeter großen Karbonat-Kristallplättchen die am Boden zu finden sind sowie an bis zu ca. 10 Zentimeter langen Sinterröhrchen (Makkaroni) an der Firste zu erkennen.



In Summe hinterlässt dieser Stollen, verglichen mit dem Mariastollen, einen erzeicheren aber grafitärmeren Eindruck, der Grafit scheint von geringerer Qualität zu sein und es herrscht der Eindruck Eindruck eines Hoffnungsbaues denn der eines großen Abbaus vor.

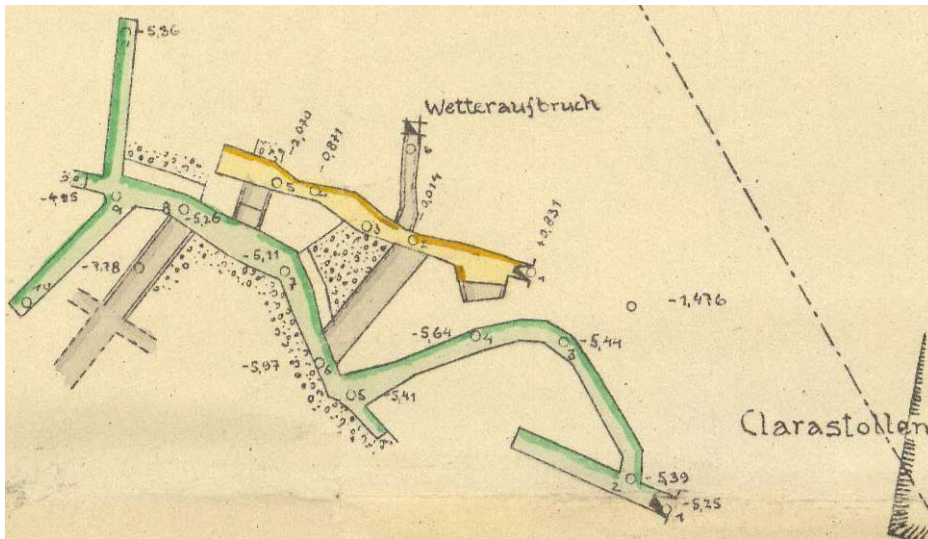


Abbildung 29: Clarastollen, Maßstab 1:500, Grafitflöze in Grau, Detailausschnitt aus Grubenplan (Abb. 25)

Fotos

Die Abbildungen 30-33 zeigen Fotos der Stollenbefahrung.



Abbildung 30: Mariastollen, Abgebauter Grafitgneis, Foto: Bernhard Neugschwentner



Abbildung 31: Clarastollen, Sinterbildung, Foto: Gerald Knobloch



Abbildung 32: Clarastollen, Sinterbildung, Foto: Christian Auer



Abbildung 33: Clarastollen Foto: Gerald Knobloch

## IRIS

Dem Interaktiven Rohstoff Informationssystem (IRIS) der Geologischen Bundesanstalt konnte im Zuge des Projekts ein weiterer ehemaliger Grafitabbau hinzugefügt werden. Dieser liegt im Sackgraben bei Muthstal in der Nähe von Elsarn am Jauerling und wurde von Gerald Knobloch gemeldet.

Wie mit den wenigen nicht zufriedenstellenden angezeigten Grafit-Vorkommen im Bavarikum umgegangen wird ist zu Zeit noch in Diskussion.

## Ausblick

Geochemische und röntgendiffraktometrische Analysen der gewonnenen Proben, sowie deren Dünnschliff- analysen sind zur Zeit im Laufen und werden im nächsten Projektjahr ausgewertet.

Durch die gewonnenen Erkenntnisse über die Grafitvorkommen südlich und westlich des Dunkelsteinerwaldes erscheint es als angebracht diese Vorkommen weiter zu ergründen. Dies auch deshalb weil in diesem Gebiet mehrere ehemalige Abbauten bekannt sind (siehe Abbildung 24), diese aber mit modernen – vor allem mit geophysikalischen Methoden – wenig erforscht sind.

## Literatur

Allmendinger, R.W., Cardozo, N., und Fisher, D.M., 2011, *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*: Cambridge University Press, 302 p.

Alber, J., Heinz, H., Klein, P., Schermann, O., und Seiberl, W., 1987, Rohstoffpotential Südliches Waldviertel - Dunkelsteinerwald: Projektendbericht, *in* *Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Wien, Geologischen Bundesanstalt (GBA)*, 3,

[https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/BR0003\\_001\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/BR0003_001_A.pdf).

Cardozo, N., und Allmendinger, R.W., 2013, Spherical projections with OSXStereonet: *Computers & Geosciences*, v. 51, p. 193–205, doi:[10.1016/j.cageo.2012.07.021](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.021).

Holzer, H., 1963, Bericht über lagerstättenkundliche Arbeiten 1962, *in* *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Wien, Geologische Bundesanstalt (GBA)*,

[https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1963\\_A066\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1963_A066_A.pdf).

Holzer, H.F., 1964, Die Flinzgraphitvorkommen im außeralpinen Grundgebirge Ober- und Niederösterreichs: *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, p. 360–371,

[https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964\\_360\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964_360_A.pdf).

Le Bas, M.J., und Streckeisen, A.L., 1991, The IUGS systematics of igneous rocks: *Journal of the Geological Society*, v. 148, p. 825–833, doi:[10.1144/gsjgs.148.5.0825](https://doi.org/10.1144/gsjgs.148.5.0825).

Lechner, K., 1954, Lagerstättenkundliche Aufnahmen 1953, *in* *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Wien, Geologischen Bundesanstalt (GBA)*, p. 51–57,

[https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1954\\_051\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1954_051_A.pdf).

Schnabel, W., Krenmayr, H.-G., und Linner, M., 2012, Blatt 55 Ober-Grafendorf, *in* *Geologische Karte der Republik Österreich 1: 50 000*, Wien, Geologische Bundesanstalt (GBA),

[https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/GK0055\\_000\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/GK0055_000_A.pdf).

Wagner, S., 2009, Geochemische Charakteristik sulfidführender Mineralisationen der Böhmisches Masse mit besonderer Berücksichtigung der Isotopengeochemie [mathesis]: Universität Wien, doi:[10.25365/thesis.4058](https://doi.org/10.25365/thesis.4058).

Weber, L., Schedl, A., und Lipiarski, P., 2019, IRIS Online (Interaktives Rohstoff Informations System), ein Beispiel für ein weltweit einzigartiges digitales Rohstoff-Informationssystem: *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, v. 164, p. 56–66, doi:[10.1007/s00501-018-0810-0](https://doi.org/10.1007/s00501-018-0810-0).

## Geophysik

Im Untersuchungsgebiet Hengstberg (Lage, siehe Abb. 23) wurden im Sommer/Herbst 2022 weiterführende geophysikalische Messungen durch die FA Geophysik der GBA und dem Team des Kooperationspartners der TU Wien durchgeführt. Dies umfasste weitere Messungen des Eigenpotentials (SP), zusätzliche geoelektrische Messungen, seismische Profile, Messungen mittels Bodenelektromagnetik und ein erster Versuch einer „mise a la masse“ Messung.

Abbildung 34 zeigt die Positionen aller geophysikalischen Messkampagnen.

Die Auswertung der IP Messungen von Profil 1 wurde ebenfalls durchgeführt.

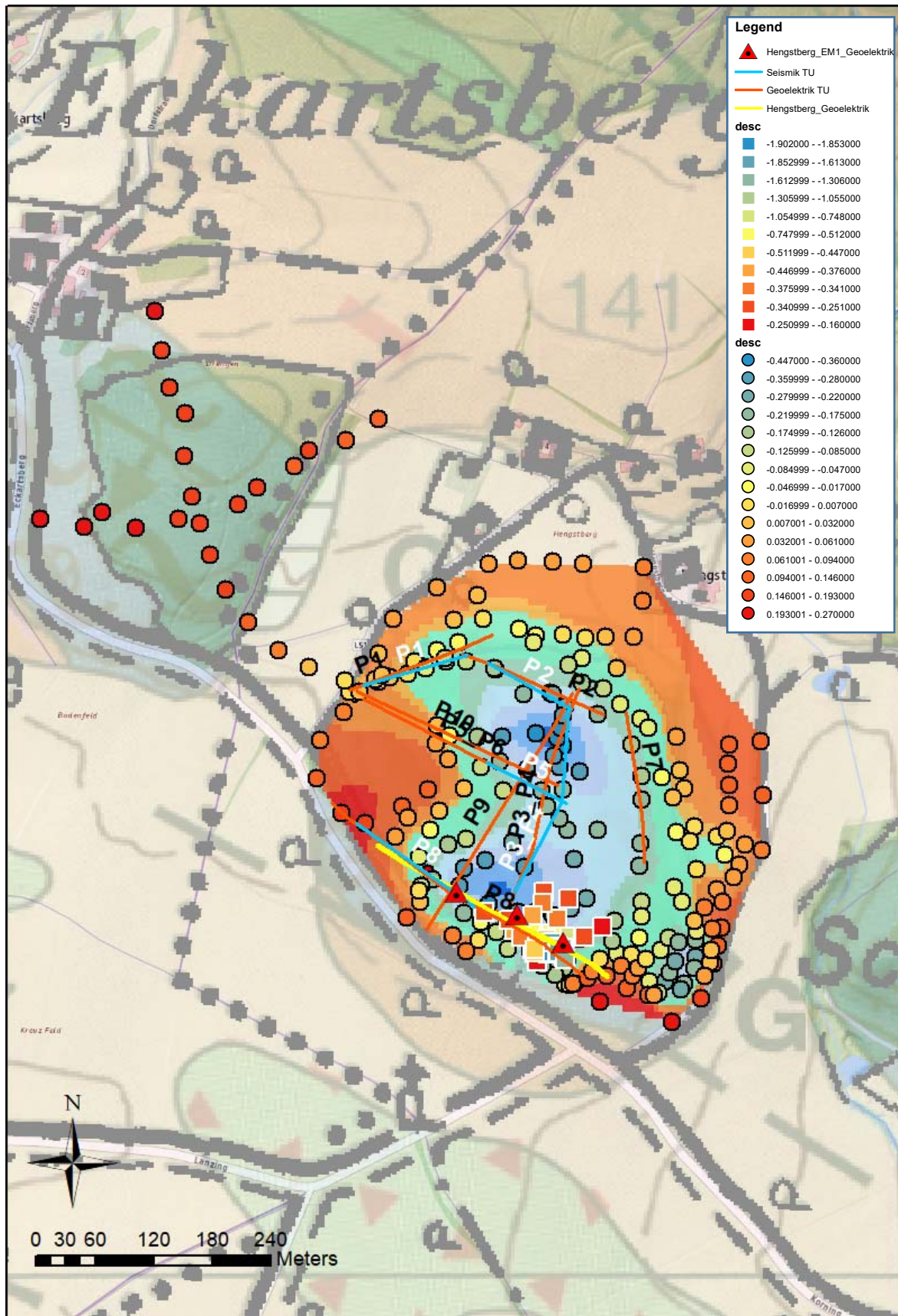


Abbildung 34: Lage der SP und „mise a la masse“ Punkte (farblich nach Messwert kodiert), der Geoelektrikprofile, Seismikprofile (GBA und TU Wien) und EM Punkte auf Ausschnitt der geolog. Karte ÖK55 Obergrafendorf, 2012 (Schnabel, et. al., 2012)

## Eigenpotenzial (SP)

Wie bereits im letzten Bericht festgestellt, zeigen die Ergebnisse der SP Messungen sehr deutlich den abgrenzbaren Bereich der negativen (blau) Eigenpotenzialwerte, der mit grafitführenden Bereichen korreliert wird. Zusätzlich wurden weitere Eigenpotenzialmessungen (SP) nordwestlich des Hengstbergs mit 2 einander kreuzende Profile vermessen. Die Ergebnisse zeigen durchwegs positive Eigenpotenzialwerte und lassen somit den Schluss zu, dass in diesem Bereich keine Hinweise auf grafitführende Abschnitte zu identifizieren sind. Dies konnte auch durch eine eingehende geologische Geländeaufnahme bestätigt werden.

## Geoelektrik und IP

In Abb. 35 ist das Inversionsergebnis für Geoelektrikprofil Hengstberg 1 mit der Auswertung der Induzierten Polarisation dargestellt. Die sehr geringen elektr. Widerstände zeigen grafitführende Bereiche an. Die Ausdehnung der niederohmigen Anomalie im Liegenden wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in ihrer vertikalen Ausdehnung durch die sehr hohen elektr. Kontraste bzw. durch 3D Effekte verfälscht und muss durch weitere Messungen bzw. Untersuchungen weiter analysiert werden.

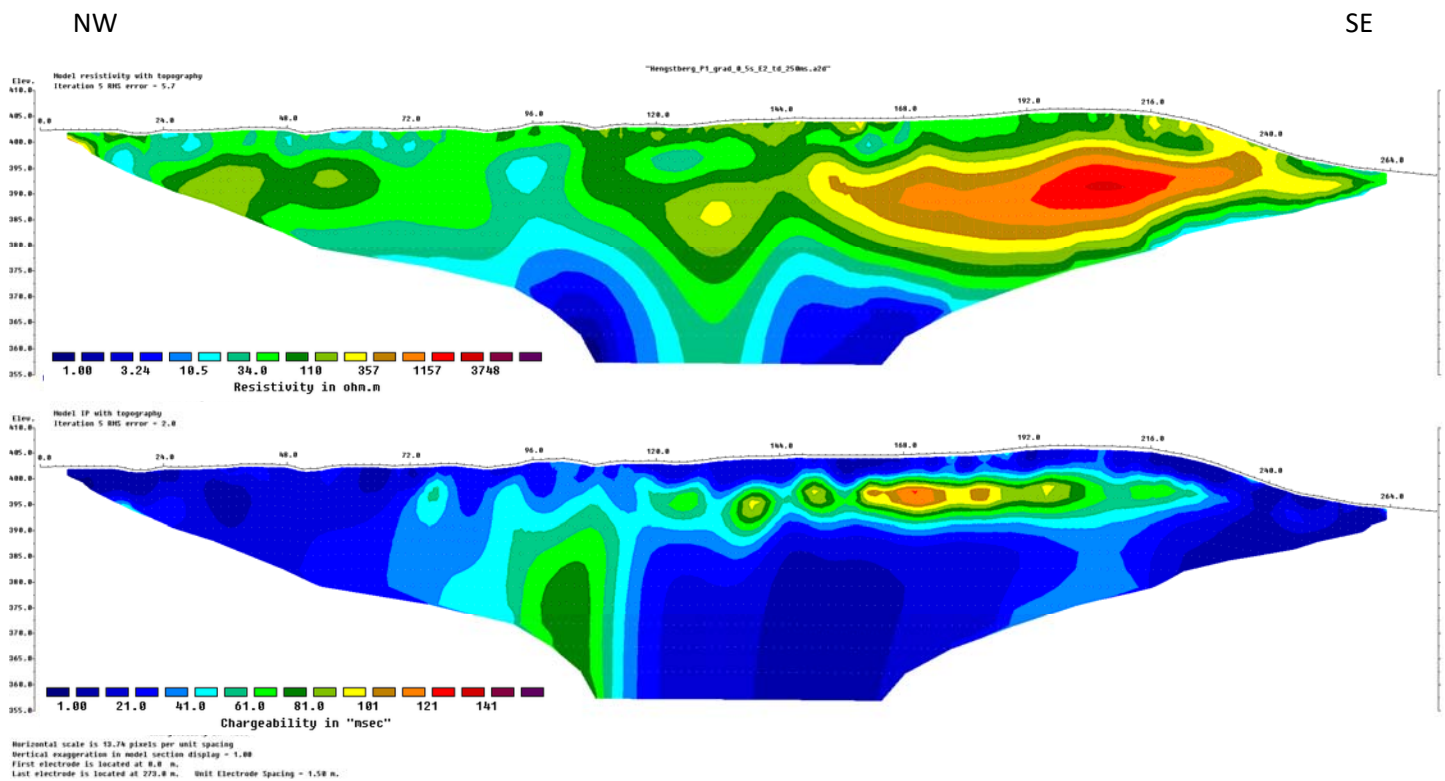


Abbildung 35: Ergebnis der Inversionsrechnung für das Geoelektrikprofil Hengstberg 1 (oben Ergebnis elektr. Widerstand, unten Ergebnis chargeability)

Die Auswertung der IP Daten zeigt einen deutlichen Anomaliebereich in der zweiten Profilhälfte, der parallel zur Topographie in einem bestimmten Teufenbereich (ca. 5-10 m unter GOK) im zu erkennen ist.

#### Ergebnisse TU Wien Geoelektrik/SIP/Seismik

Im Rahmen der in diesem Projekt laufenden Kooperation mit der *Research Division Geophysics* (Leitung: Ass. Prof. Dr. A. Flores-Orozco) des Departments of Geodesy and Geoinformation der TU Wien wurden vom Kooperationspartner 2022 umfangreiche bodengeophysikalische Messungen im Untersuchungsgebiet Hengstberg vorgenommen. Die Lage der einzelnen Profile und Messpunkte ist einerseits Abb. 34 bzw. Abb. 36 zu entnehmen. In den folgenden Abbildungen 37-46 sind die jeweiligen Ergebnisse, v.a. der Spektral-IP Profile (SIP) und des Seismikprofils P1 dargestellt.

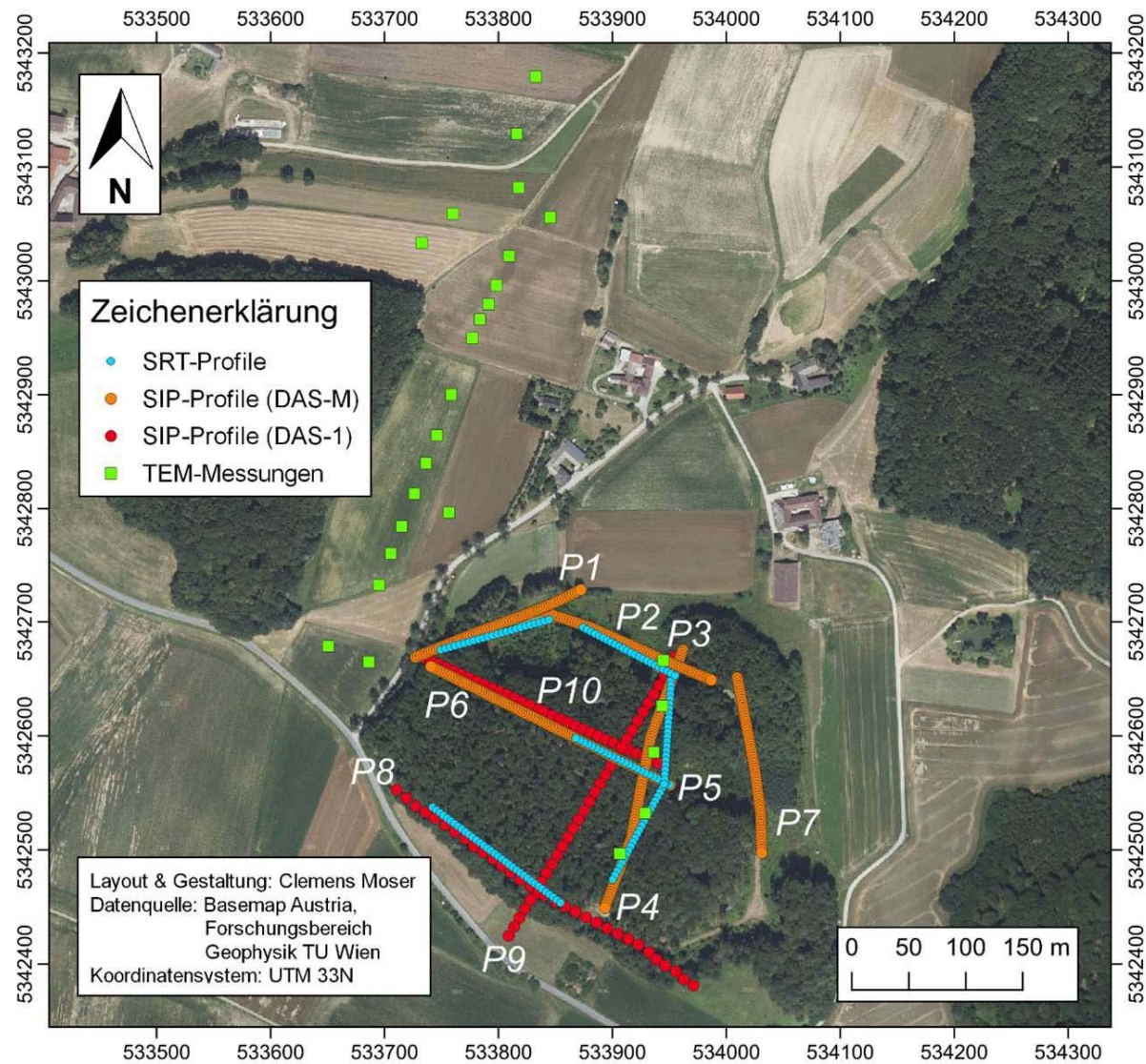
Eine entsprechende geologische und lagerstättenbezogene Interpretation der Ergebnisse wird unter Einbeziehung weiterer geplanter Messungen und Untersuchungen und gezielten Probenahmen und entsprechenden Analysen für das Projektjahr 2023 bzw. 2024 angestrebt.

Erste Interpretationsansätze sind dem Jahresbericht der TU Wien 2022 (siehe Anhang) zu entnehmen.



# Lageplan Profile TU Wien

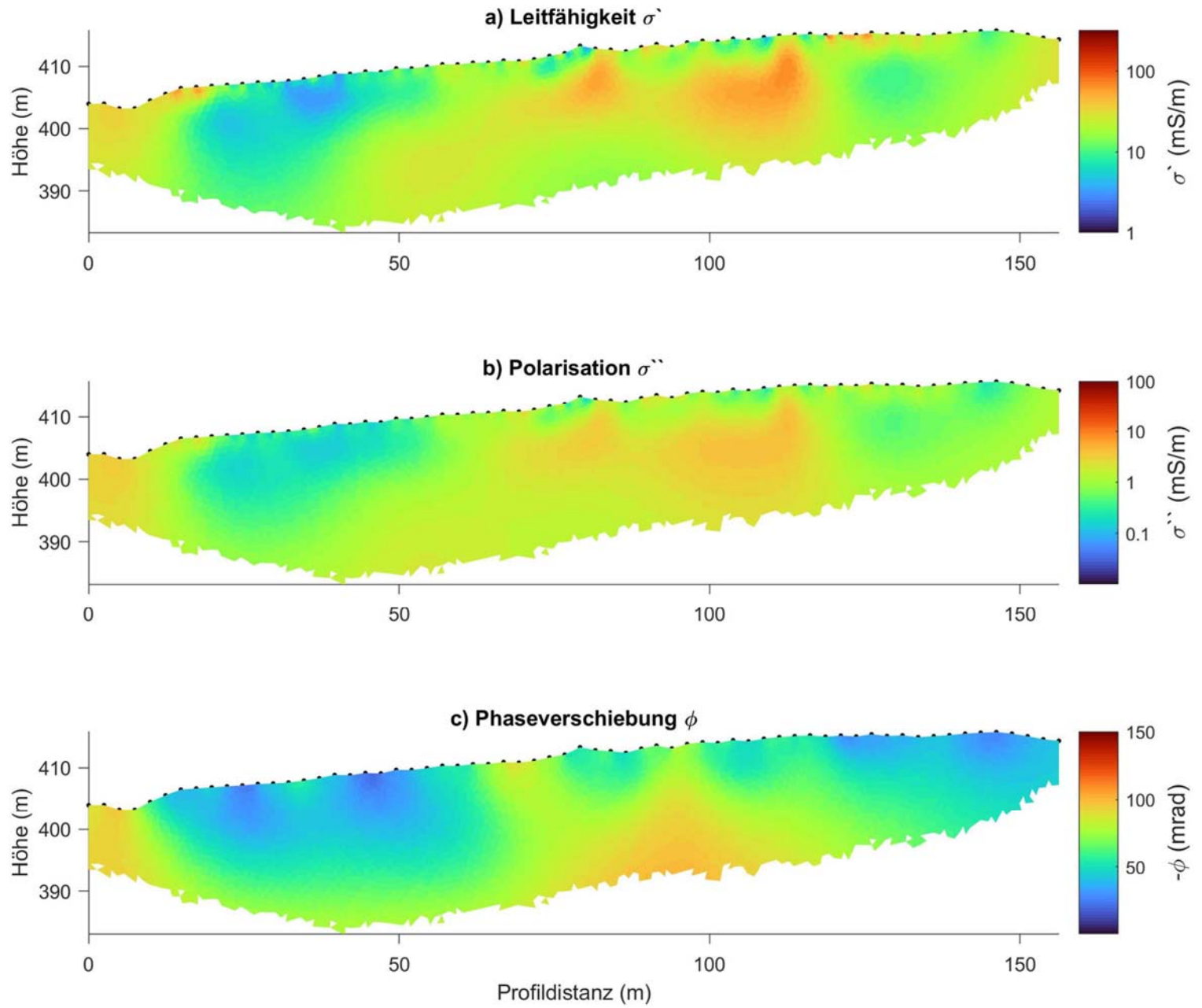
/Abb. 36





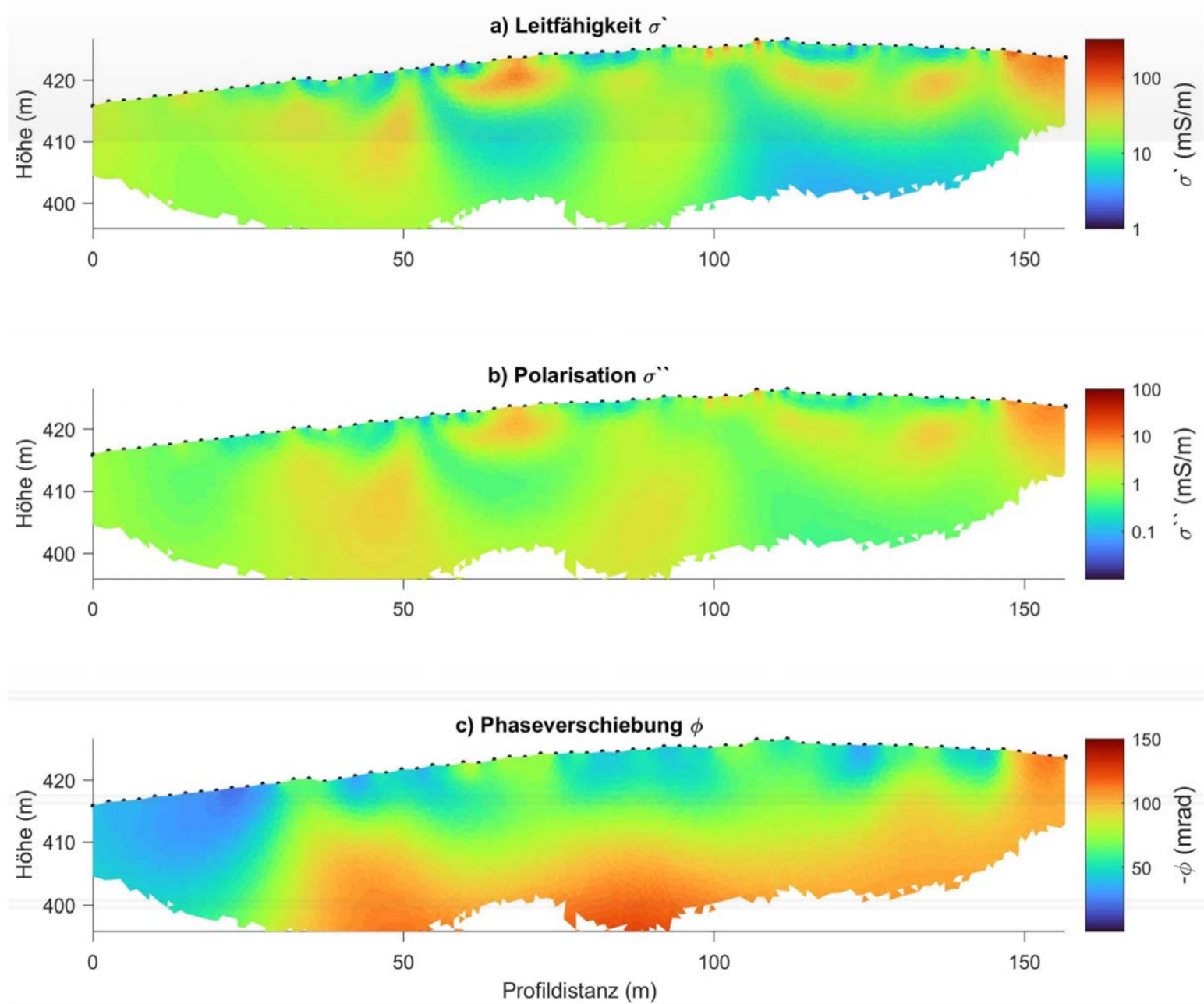


P1/Abb. 37



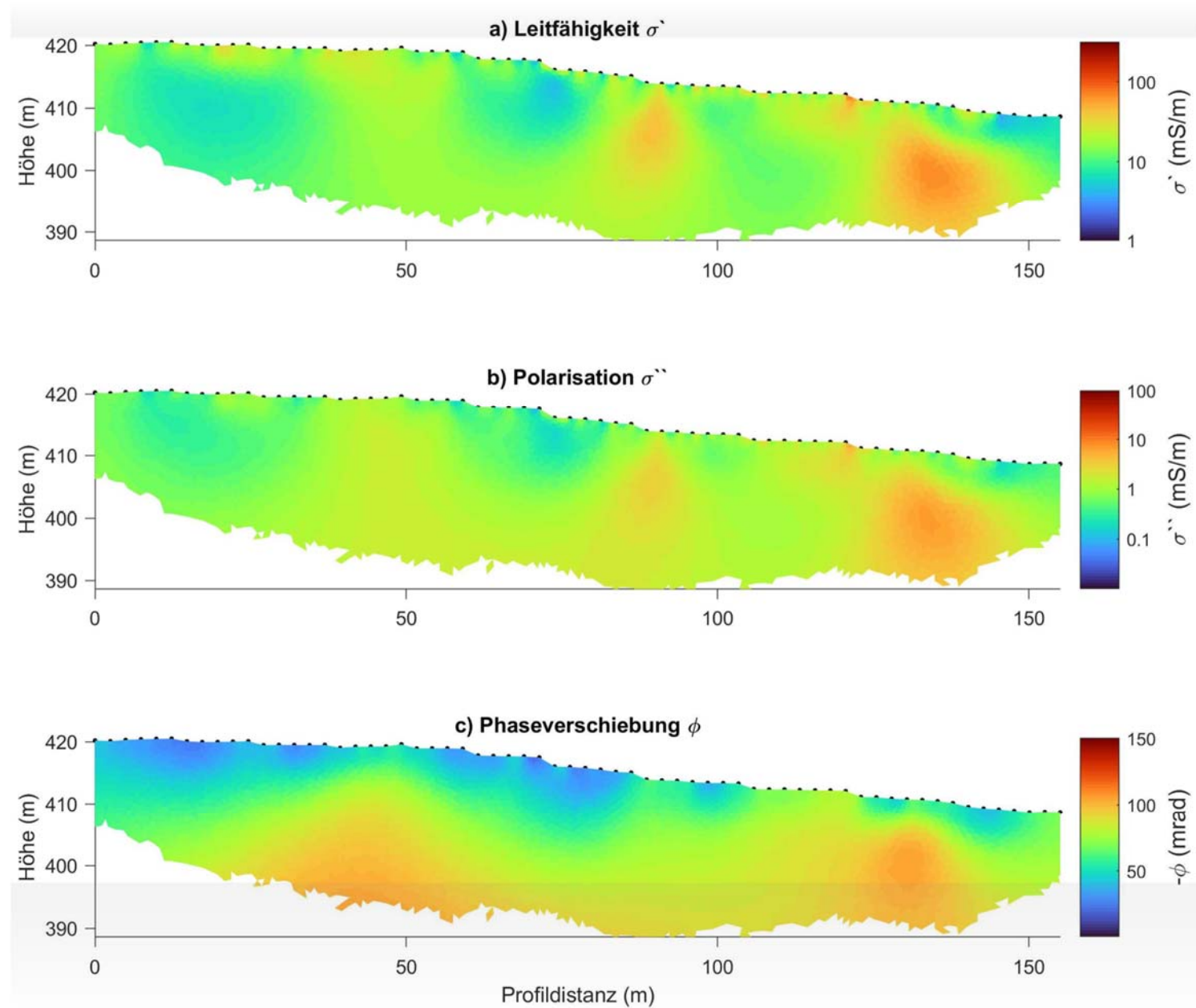


P2/Abb. 38





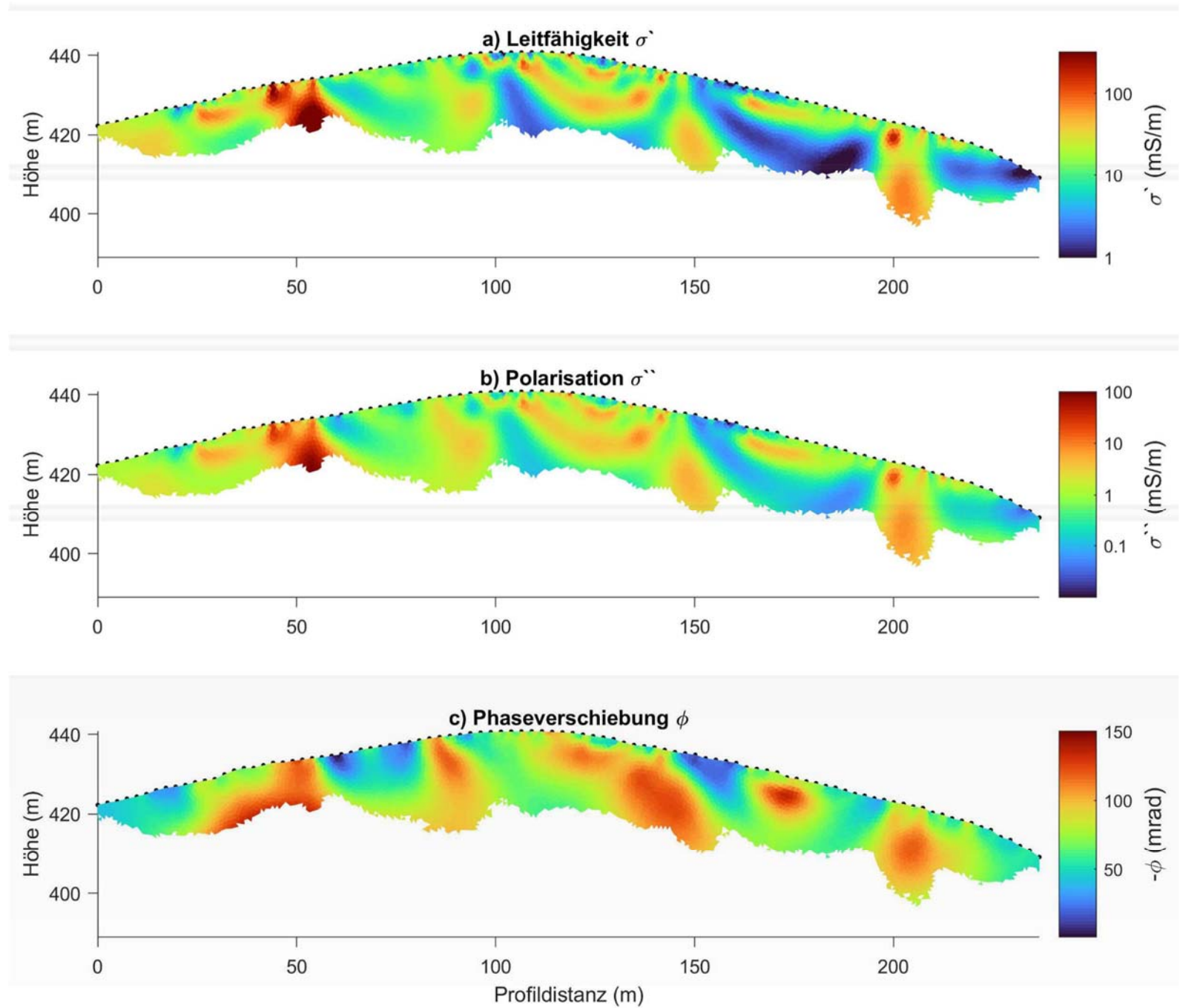
P7 /Abb. 39





P34/Abb. 40

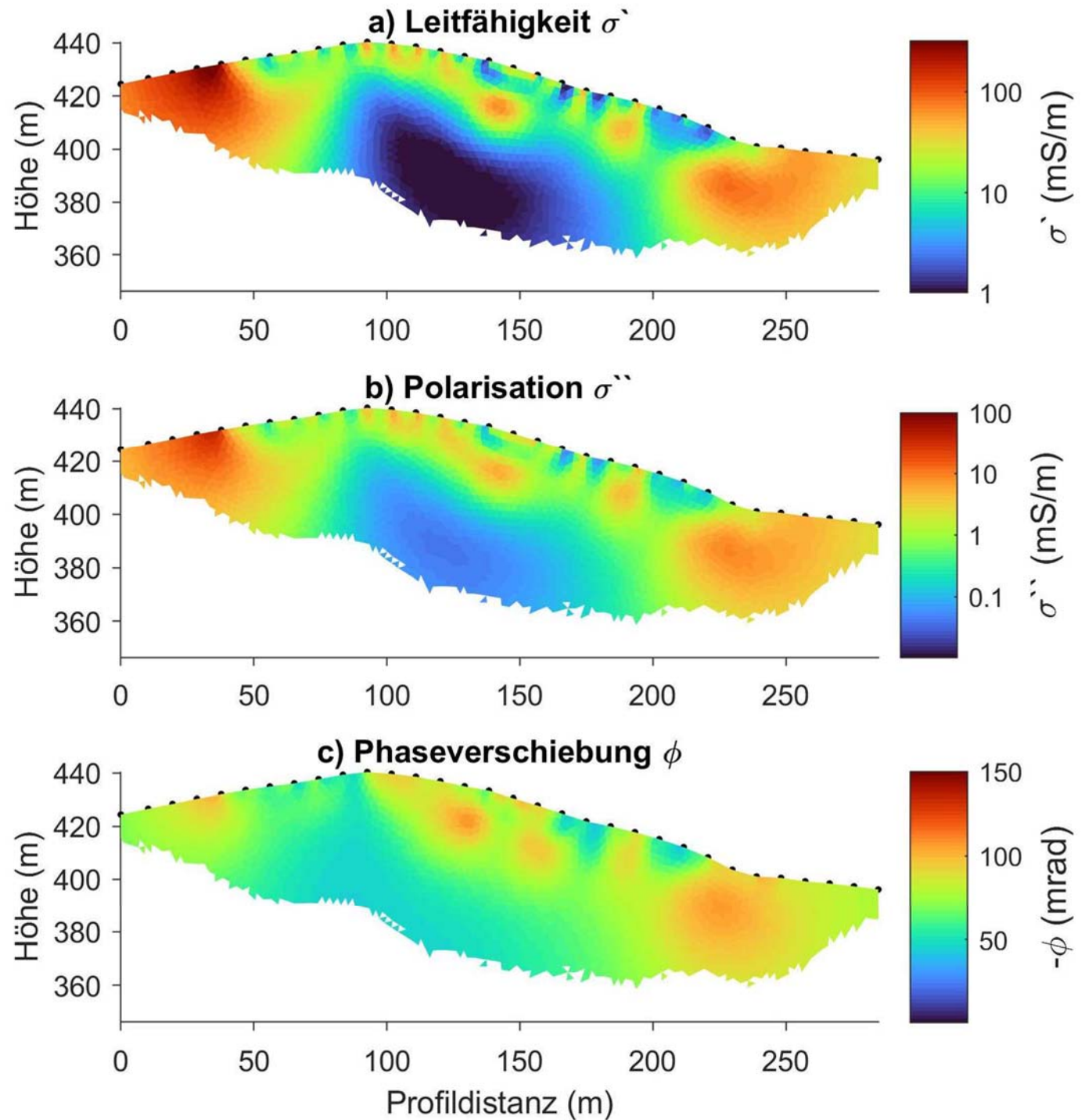
(5 m spacing)





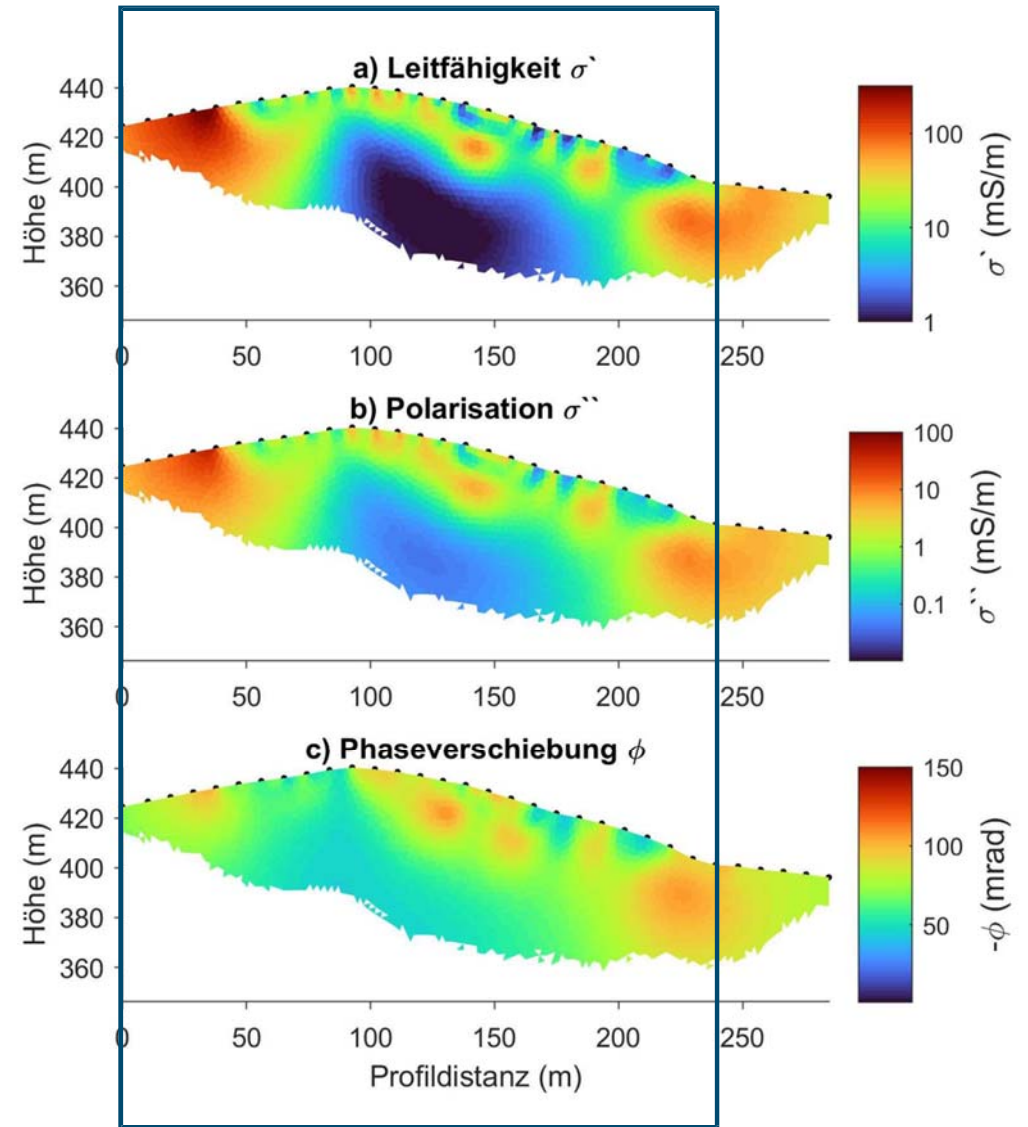
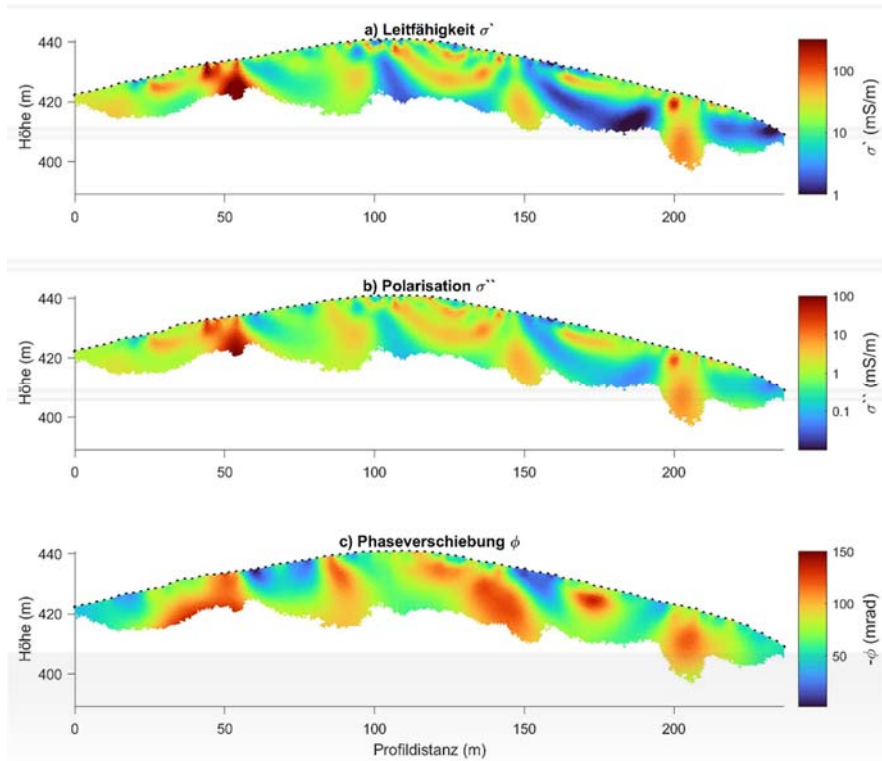
P9/Abb. 41

(34 – 10 m spacing)



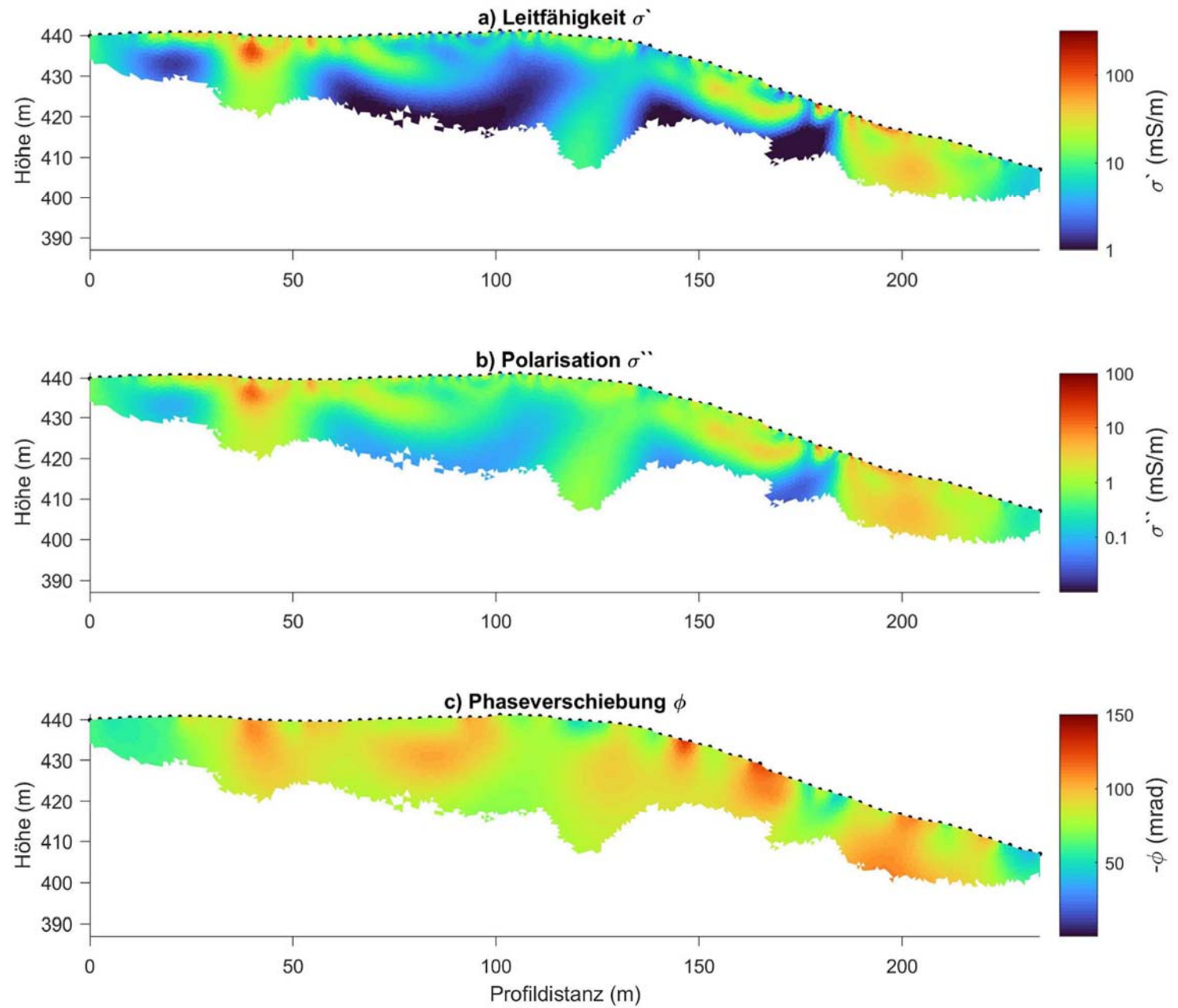


# P34 & P9 / Abb. 42



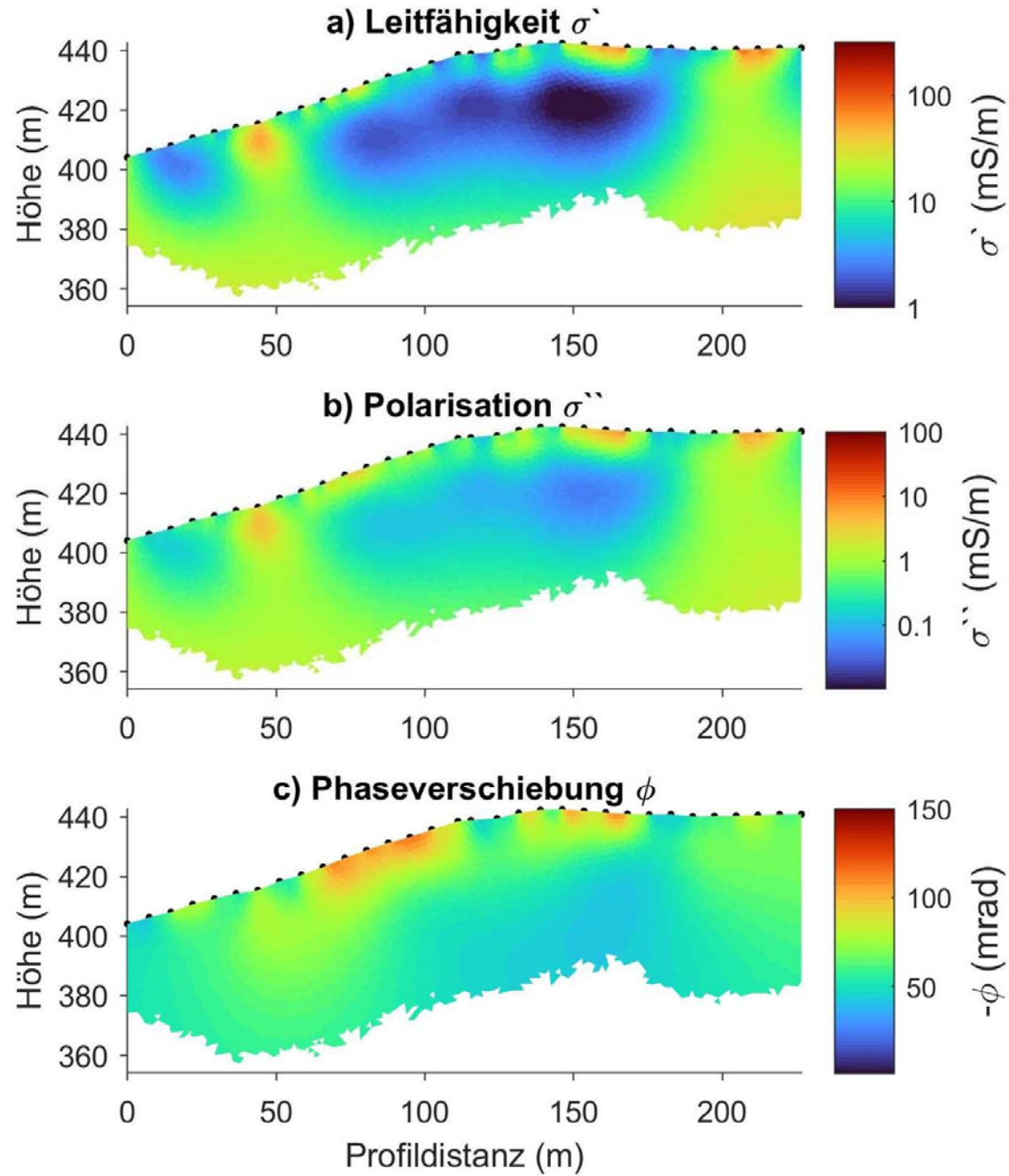
**P56**/Abb. 43

(5 m spacing)



**P56**/Abb. 44

(10 m spacing)



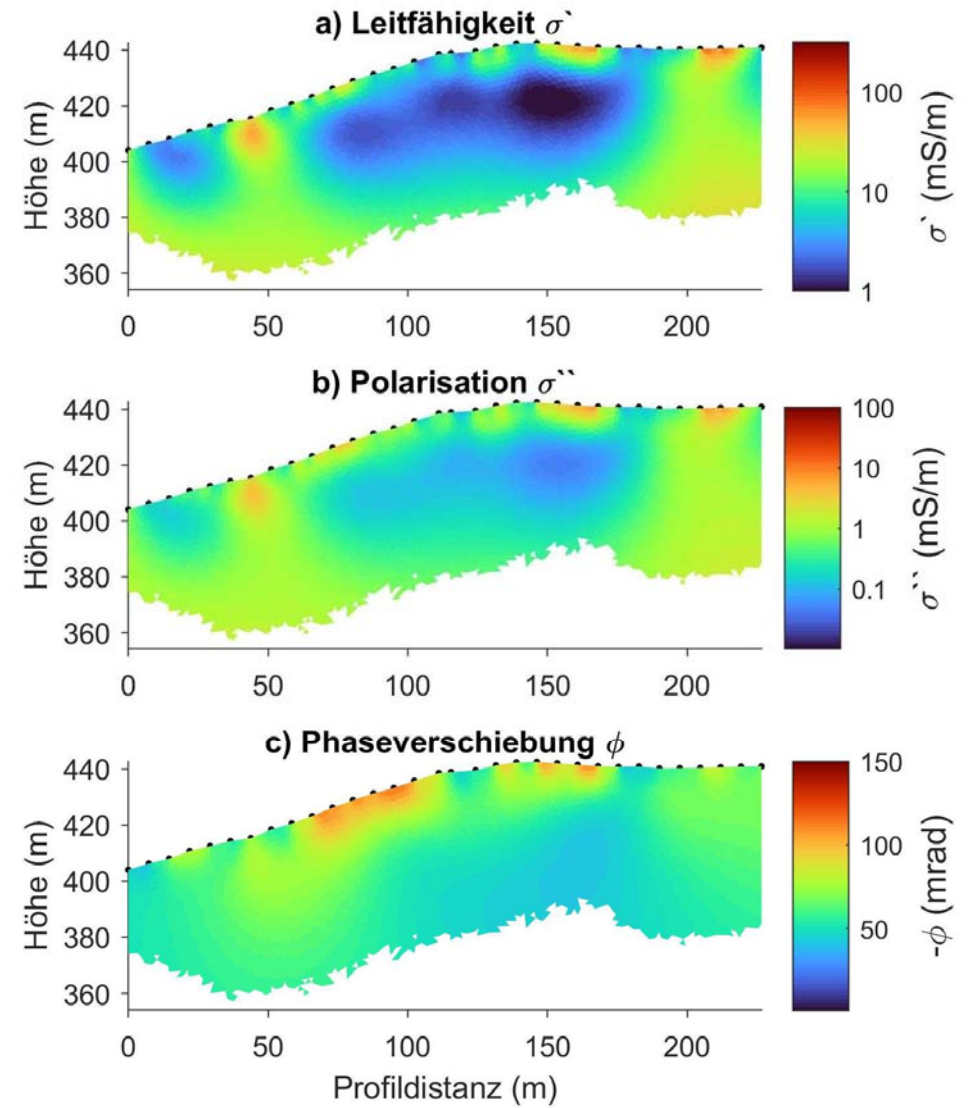
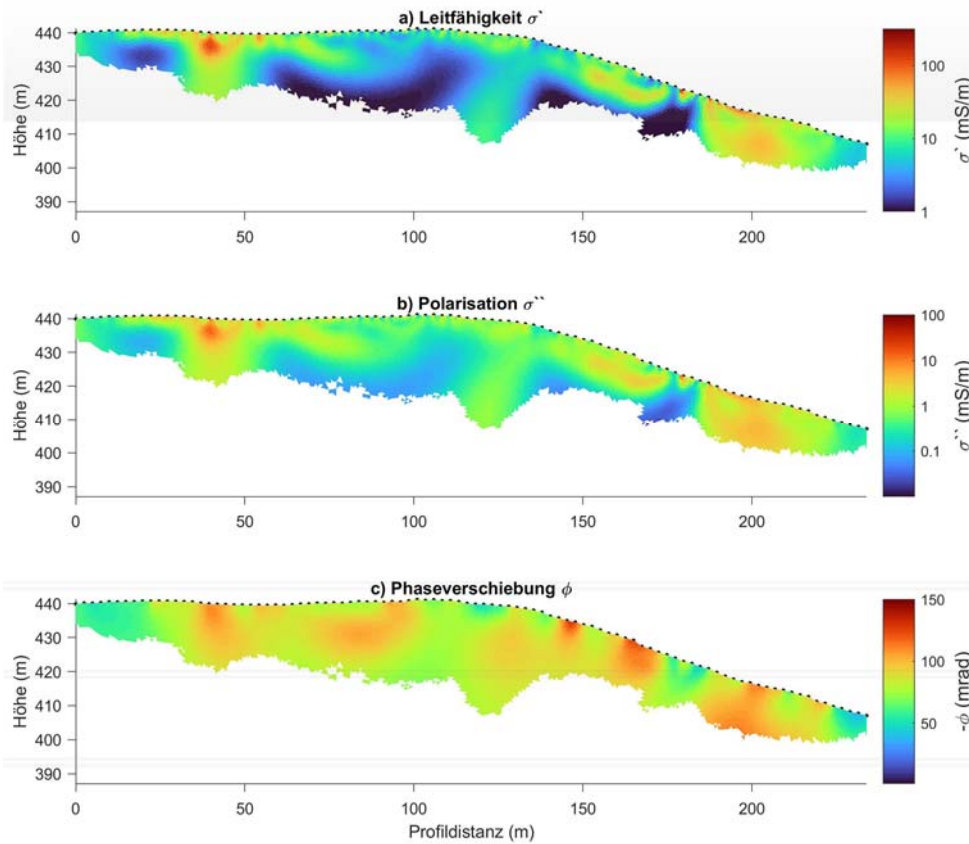




# P56

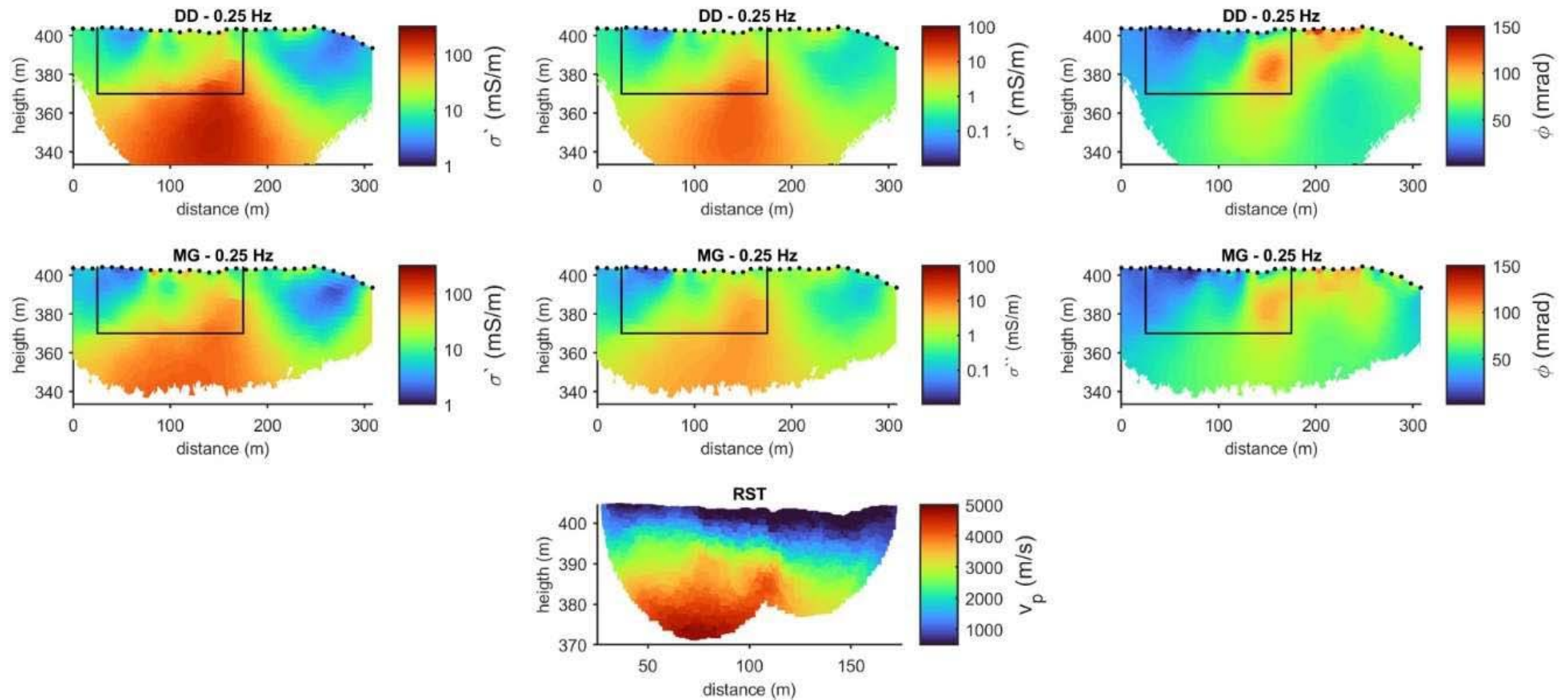
/Abb. 45

(5 &amp; 10 m spacing)





# P1 Seismic & electric/Abb. 46



## Mise a la Masse Messungen

Um, im Vergleich zur Eigenpotenzialmessung, eine verbesserte Abgrenzung und Bestimmung grafitreicher Untergrundbereiche zu bekommen, eignet sich die Mise a la Masse Methode (siehe dazu Knödel et. al 2005). Die Vorgehensweise bei dieser Messmethode ähnelt der Eigenpotenzialmessung, allerdings wird nicht das natürliche Eigenpotenzial des Untergrundes gemessen, sondern das Potenzial, das durch die Einspeisung eines Gleichstroms in den leitfähigen Störkörper (im vorliegenden Fall der grafitreiche Untergrundbereich) erzeugt wird. Hierbei wird die negative Elektrode der Stromeinspeisung direkt im leitfähigen Störkörper positioniert, wohingegen die positive Elektrode möglichst weit entfernt (theoretisch im Unendlichen) installiert sein muss – zudem ist zu beachten, dass diese Referenzstromelektrode wiederum möglichst weit von der Referenzpotenzialelektrode entfernt sein soll (im Normalfall werden die Referenzelektroden räumlich gegenüberliegend in Bezug auf den Bereich des leitfähigen Störkörpers positioniert). Nun werden während der anhaltenden Stromeinspeisung im Untersuchungsbereich Spannungsmessungen, wie bei der Eigenpotenzialmethode, mit einem nichtpolarisierbaren Elektrodenpaar (eine Elektrode befindet sich möglichst weit entfernt vom Erzkörper) entlang von Profilen oder flächig vorgenommen. Der Bereich des grafithaltigen Untergrundes sollte sich als negative Spannungsanomalie abzeichnen. Die absolute Spannungsdifferenz zwischen Bereichen des umgebenden Gesteins und dem Erzkörper sollte bei dieser Methode um ein Vielfaches stärker ausfallen als bei der Eigenpotenzialmessung. Dadurch erhöht sich einerseits die Genauigkeit der lateralen Abgrenzung des grafithaltigen Bereichs und andererseits ist diese Abgrenzung auch in Gegenden möglich, die aufgrund von starken Störeinflüssen (Stromleitungen, Sender, etc.) keine hinreichend verlässliche Eigenpotenzialmessung zulassen.

Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen am Standort Hengstberg wurde am 29. August eine Mise a la Masse Messung im Bereich des leicht zugänglichen Mariastollens (im südöstlichen Bereich des Hengstberges) durchgeführt. Die Stromeinspeisung erfolgte mit einer an der Geologischen Bundesanstalt eigens konstruierten Stromeinspeiseeinheit (Details dazu siehe Endbericht MRI Projekt ExploGraf). Hierfür wurde die positive Stromelektrode an der Straße im östlichen Bereich des Hengstberges positioniert (siehe Abb. 47). Die negative Stromelektrode wurde im Mariastollen in die nach optischem Ermessen grafitreichste Schicht gesetzt (siehe Abb. 48).

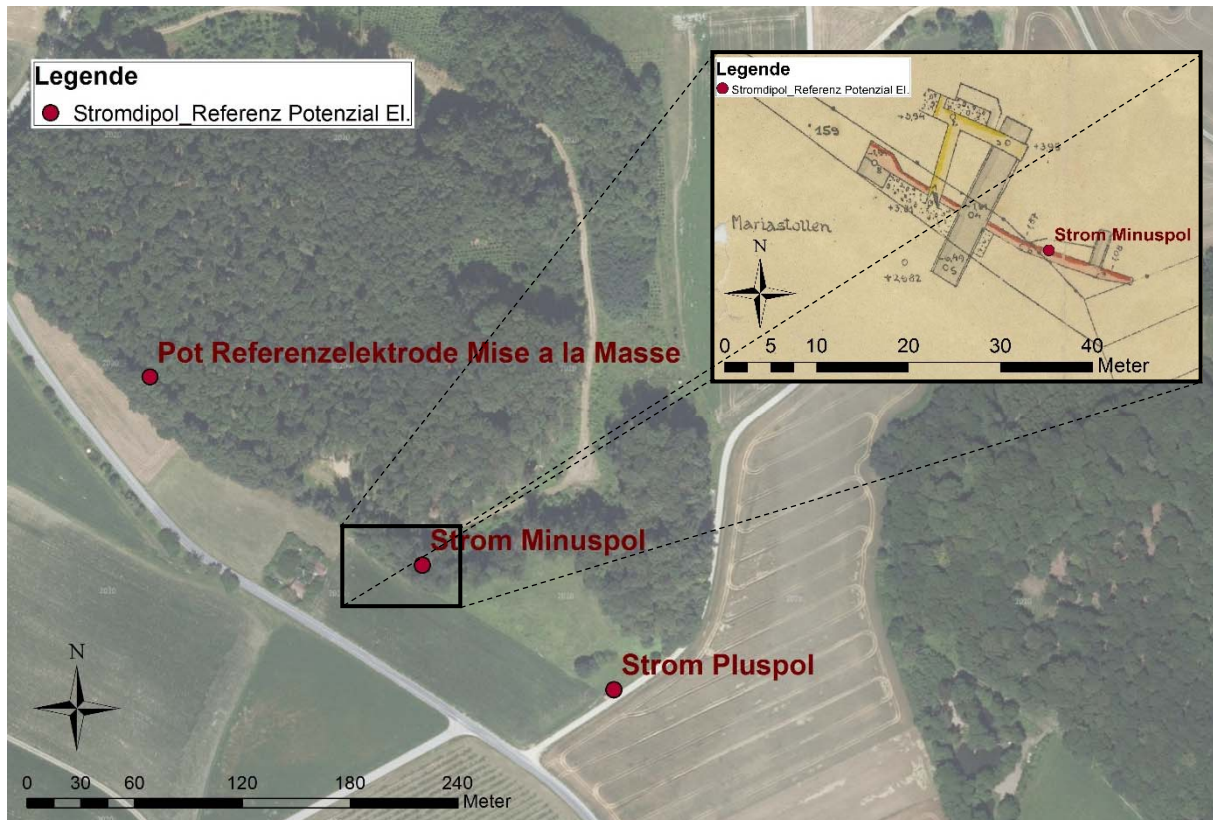


Abbildung 47: Lageplan Hengstberg mit den Positionen der Stromelektroden (Pluspol, Minuspol) und der Referenz Potenzialelektrode für die Mise a la Masse Messung inklusive Detailansicht (mit Stollenplan) der Position der negativen Stromelektrode im Mariastollen



Abbildung 48: Situationsfoto der negativen Stromelektrode im Mariastollen

Zunächst erfolgten Eigenpotenzialmessungen (ohne Stromeinspeisung) an 10 Punkten im Nahbereich des Stollens bzw. der negativen Stromelektrode. Diese Vorgangsweise wurde gewählt, um die Eigenpotenzial- und Mise a la Masse Messwerten für eine repräsentative Anzahl an Punkte vergleichen zu können. Nach Einschalten der Stromeinspeisung erfolgte die Wiederholungsmessung an den zuvor gemessenen Positionen und an weiteren Punkten zur besseren Auflösung des sich abzeichnenden Minimums der Anomalie. Der direkte Vergleich der Messpunkte ohne und mit Stromeinspeisung hat, wie erwartet, sowohl ein unterschiedliches Potenzialniveau, als auch eine um eine Größenordnung größere Bandbreite bei den Messwerten mit Stromeinspeisung geliefert (siehe Abb. 49).

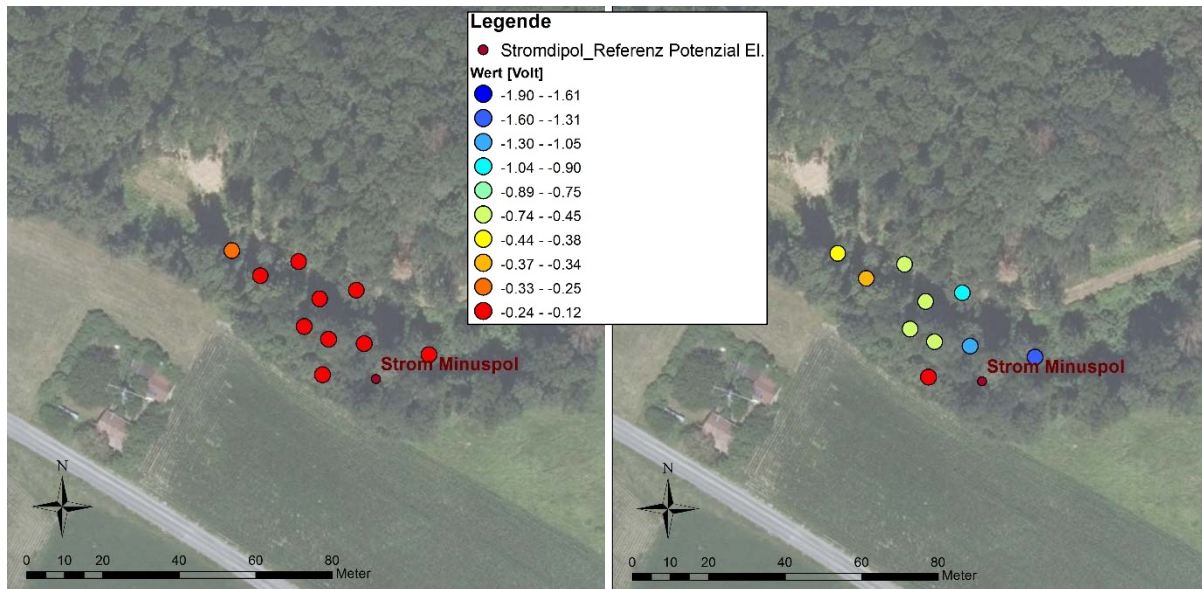


Abbildung 49: Mise a la Masse Messung; links: Messwerte vor der Stromeinspeisung (Eigenpotenzial), rechts: Messwerte während der Stromeinspeisung (Mise a la Masse) – beide Darstellungen mit gleicher Farbskala

Die in Abb. 49 gewählte (auf die Mise a la Masse Messung abgestimmte) Farbskala soll demonstrieren wie klein die Bandbreite der Messung bei der reinen Eigenpotenzialmessung im Vergleich zur Mise a la Masse Messung ist. Betrachtet man die Daten der Eigenpotenzialmessung mit einer dafür geeigneten Farbskala (siehe Abb. 50), dann wird beim Vergleich mit der rechten Darstellung von Abb. 49 klar, dass sich die räumliche Verteilung der Minimal- und Maximalwerte durch die Stromeinspeisung scheinbar umgekehrt hat. Dies wird ganz deutlich durch die Stromeinspeisung im Stollen verursacht, wodurch eine bereits vorhandene Potenzialanomalie in diesem Bereich (bei Betrachtung der großräumigen Eigenpotenzialmessungen am Hengstberg von 2021- siehe Abb. 51) einfach verstärkt und fokussiert wird. Dass die reine Eigenpotenzialmessung im Beispiel von Abb. 50 im Vergleich zu den großräumigen Eigenpotenzialmessungen von 2021 (Abb. 51) eine scheinbar andere Anomalieverteilung zeigt, ist der räumlichen Punktdichte in Kombination mit der jeweiligen Farbskala geschuldet – das Beispiel in Abb. 50 erfasst eine kleinräumige Anomalie in deren Bereich bei der großräumigen Messung 2021 keine Messpunkte vorhanden sind. Diese Ausführung soll zeigen, dass die scheinbare Umkehrung der Minimal- und Maximalwerte durch die Stromeinspeisung eben nur durch diese lokale Eigenpotenzialanomalie (die 2021 nicht erfasst wurde) zustande kommt.

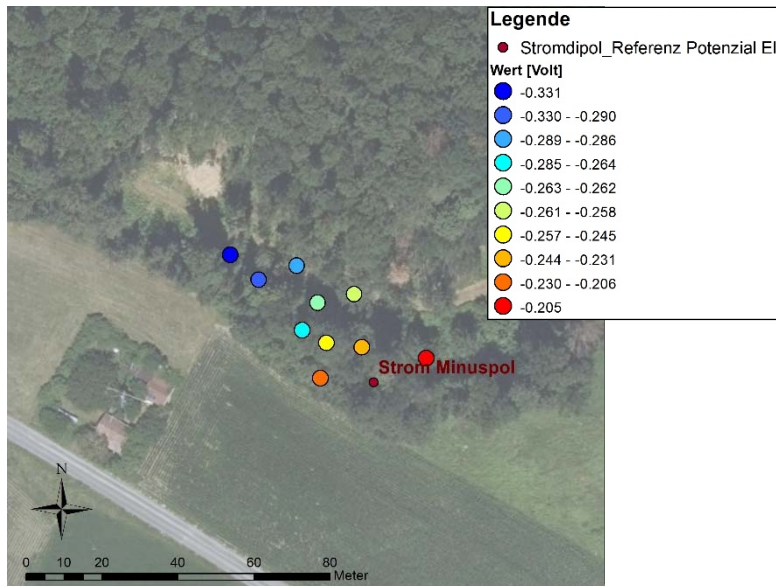


Abbildung 50: Mise a la Masse Messung; Messwerte vor der Stromeinspeisung (Eigenpotenzial) mit für die Werte optimierter Farbskala

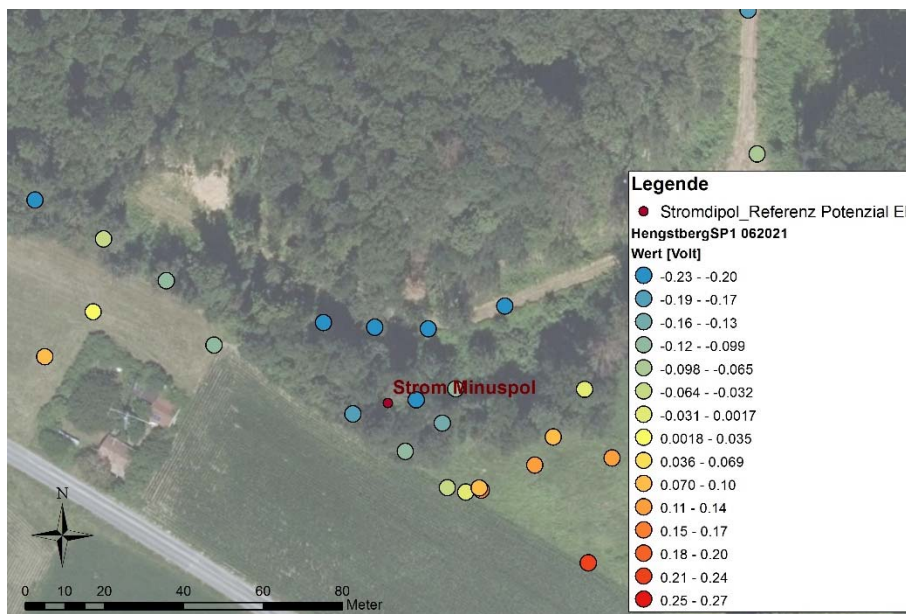


Abbildung 21: Ausschnitt der großräumigen SP-Messung von 2021 (eigene Farbskala und eigen Potenzialreferenzelektrode – daher kein direkter Vergleich der absoluten Werte zulässig)

In Abb. 52 sind alle während der Stromeinspeisung gemessenen Messpunkte dargestellt. Klar ersichtlich ist, dass einerseits versucht wurde im Bereich des Minimums der Anomalie eine größere räumliche Punktdichte zu erreichen und andererseits die Messung in einen Bereich ausgedehnt wurde, in dem der Einfluss der Stromeinspeisung vernachlässigbar wird. Der zweite Punkt konnte direkt im Feld durch den Vergleich der Messwerte mit den Eigenpotenzialmessungen von 2021 (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Potenzialreferenzelektroden) grob verifiziert werden. Diese Messdaten wurden anschließend für die flächige Darstellung in Abb. 53 mit einer Standardmethode (MinimumCurvature) gegriddet, wodurch sich die äußerst scharfe räumliche Begrenzung der negativen Potenzialanomalie noch deutlicher zeigt.

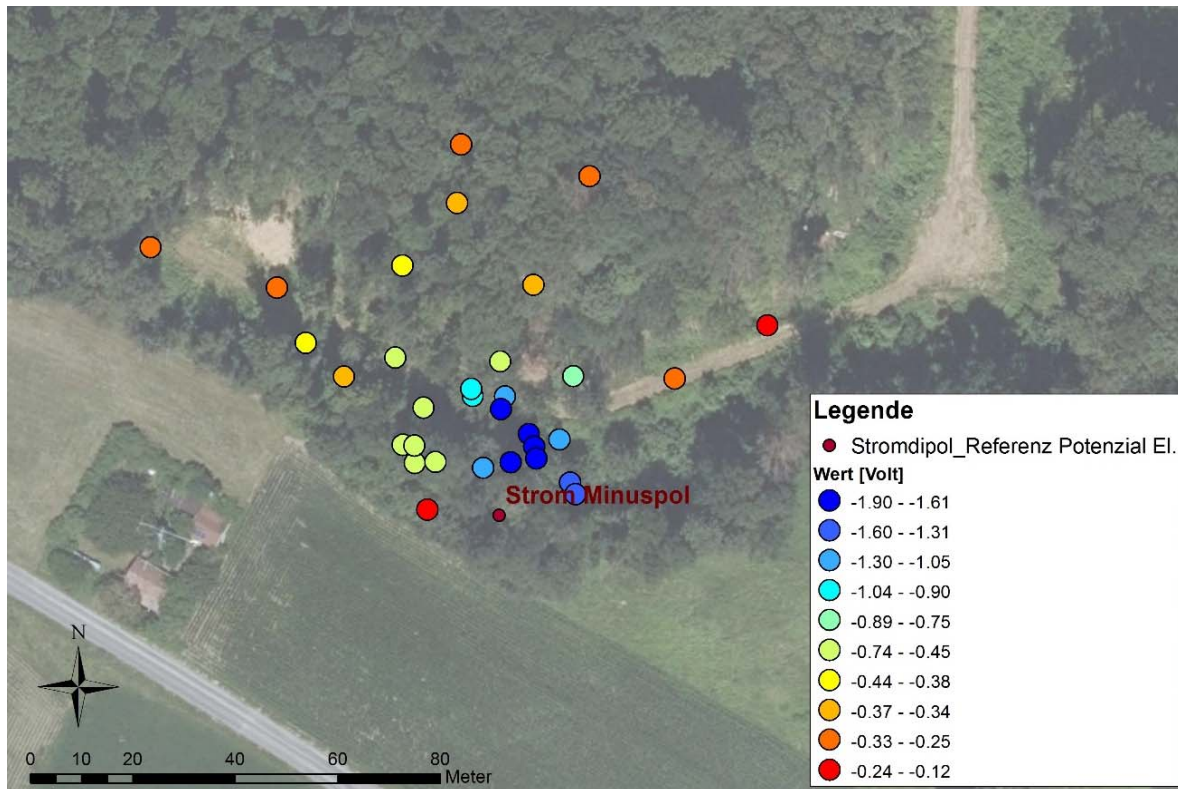


Abbildung 52: Mise a la Masse Messung; dargestellt sind alle Messpunkte die während der Stromeinspeisung gemessen wurden

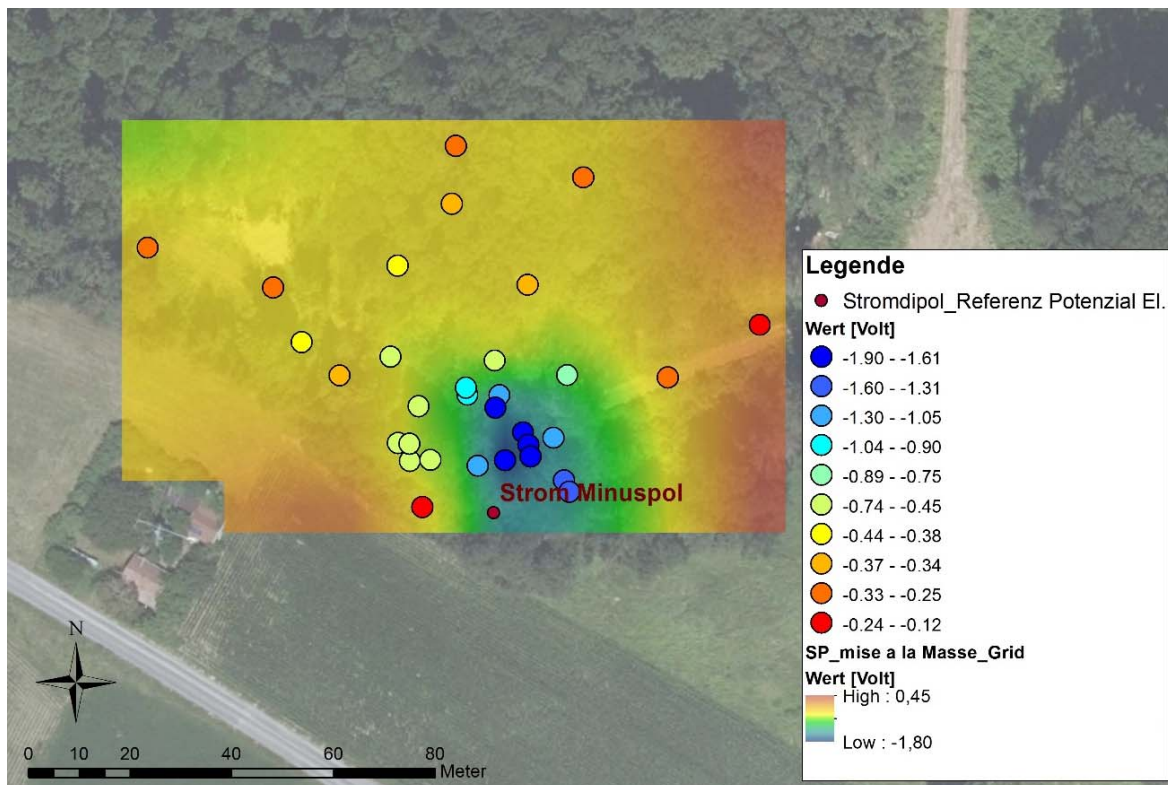


Abbildung 53: Mise a la Masse Messung; dargestellt sind alle Messpunkte die während der Stromeinspeisung gemessen wurden inklusive hinterlegten flächigen Konturplot der auf Basis der Daten erstellt wurde

Um diese Ergebnisse hinsichtlich der Ausdehnung der im Stollen anzutreffenden Schicht mit hohem Grafitgehalt bewerten zu können, sind auf jeden Fall noch umfangreichere Mise a la Masse Messungen in diesem Bereich notwendig. Vor allem fehlt bei diesen Ergebnissen noch eine klare Abgrenzung der Anomalie Richtung Süden. Das vorliegende Ergebnis scheint durch die Lage des Minimums der Anomalie in Bezug auf die Lage der Stromelektrode das bekannte Einfallen der grafitreichen Schicht in südliche Richtung (genauer SW) zu bestätigen. Um die Aussagekraft einer derartigen Interpretation zu festigen wären Mise a la Masse Messungen an zumindest einem weiteren dafür geeigneten Standort (direkter Kontakt zur grafitreichen Schicht möglich) notwendig. Diese erste Mise a la Masse Messung hat wichtige Erkenntnisse gebracht, die vor allem bei der Messplanung für die 2023 geplanten Mise a la Masse Messungen von Bedeutung sind. Zusätzlich haben sich während Messung noch weitere interessante Effekte wie z.B. Aufladungserscheinungen des Untergrundes gezeigt, die bei einer zukünftigen Messplanung zu berücksichtigen wären.

Für 2023 ist eine ausgeweitete Mise a la Masse Messung im Bereich des Mariastollens geplant. Hierbei soll dann, sowohl eine Ausdehnung des Messbereiches, als auch eine generelle Verdichtung der Messpunkte erfolgen – Vorzugsweise wird die Messung entlang eines vorher exakt definierten Rasters erfolgen (z.B. 5 m Punktabstand, im Bereich des Anomalieminimums). Des Weiteren soll anhand von Bodenanalysen (Lokation der Bodenprobennahme beruht auf Ergebnissen der SIP – hoher Grafitgehalt vermutet) zumindest ein weiterer interessanter Bereich für die Mise a la Masse Messung herangezogen werden. In dem Fall soll die Stromeinspeisung in den grafitreichen Untergrundbereich direkt von der Oberfläche erfolgen. Des Weiteren ist angedacht ev. den Bereich des im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes befindlichen Clarastollens zu vermessen. Hier wäre aber durch die sehr schlechte Zugänglichkeit des Stollens ein sehr hoher Aufwand für das Setzen der Stromelektrode notwendig.

#### 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.



## EM Messung

Auf einem Abschnitt des Geoelektrikprofils 1 wurden mit einem elektromagnetischen Messsystem im Frequenzbereich Punktmessungen durchgeführt (Lage, siehe Abb. 34). Nachfolgend wird eine kurze Beschreibung der Messmethode dargelegt.

## Frequency Domain Electromagnetics (FDEM)/Methodik

Bei dem FEM System werden eine Sender- und eine Empfängerspule, die durch ein Kabel verbunden sind, in einem festen Abstand der Spulen über das Untersuchungsgebiet bewegt. Bei diesem, auch als „loop-loop“ oder *Slingram* Methode bekannte Verfahren werden elektr. Wirbelströme im Untergrund induziert, welche ebendort sekundäre elektr. Wirbelfelder erzeugt. Das resultierende Gesamtfeld, bzw. das Primär und Sekundärfeld und die vorhandene Phasenverschiebung wird an der Empfängerspule gemessen. Das Verhältnis Primär zu Sekundärfeld liefert Informationen über die Geometrie, Größe und elektr. Eigenschaften des Untergrundes am Mittelpunkt zwischen Sender- und eine Empfängerspule. MA Empfänger wird die x-, y- und die z- Komponente des Sekundärfeldes relativ zum Primärfeld in bestimmt, ausgedrückt in Prozent von Inphase und Out-of Phase. In Abhängigkeit der Eindringtiefe (Zieltiefe für Untersuchung) wird der Abstand zwischen Sender- und eine Empfängerspule gewählt. Der kann bei diesem System 20, 50, 100, 200 oder 400 Meter betragen. Als Messfrequenzen werden bei jeder Messung 110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040, 14080, 28160 und 56320 Hz verwendet. Dies entspricht dann einer Eindringtiefe, die in etwa (hängt auch noch on der elektr. Leitfähigkeit des Untergrundes ab) dem halben Abstand zwischen Sender- und eine Empfängerspule entspricht.

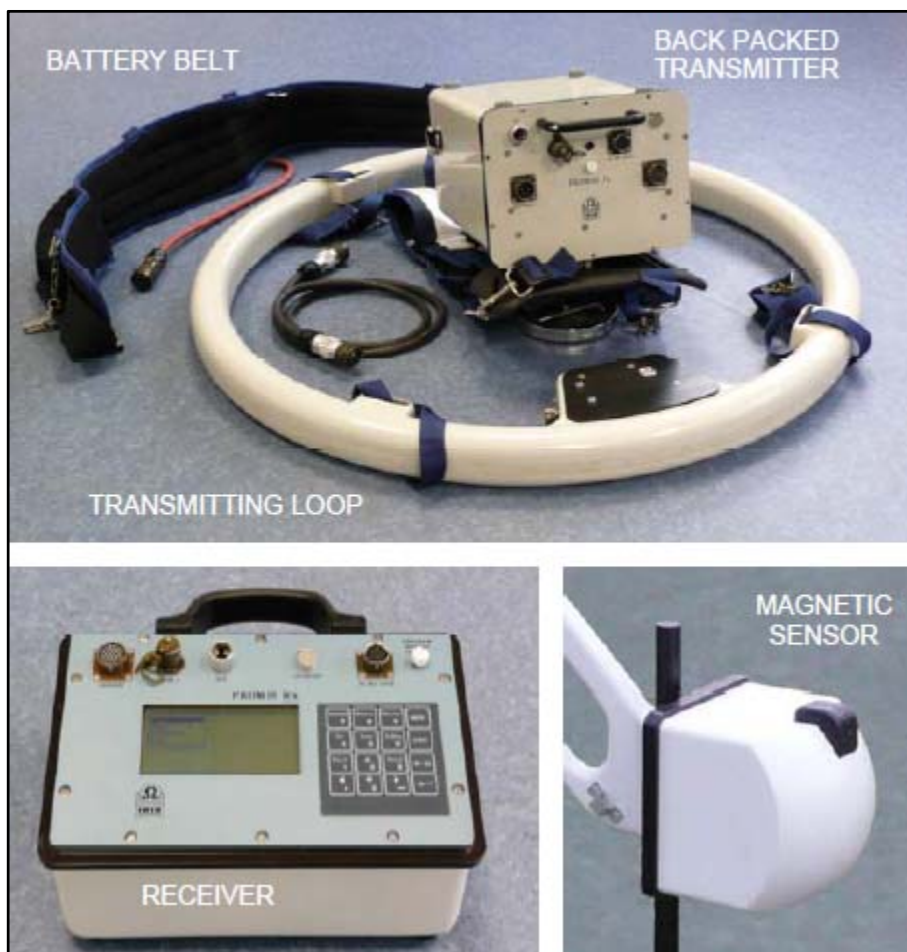


Abbildung 54: IRIS Promis Komponenten (Sender/Empfänger/Messkonsole)

### EM Profil Hengstberg 1:

Die EM Messungen wurden mit 3 verschiedenen Spulenabständen (50m, 100m, 200m) mit einem Messpunktabstand von 10m durchgeführt. Die Auswertung der EM Messungen (inphase und outphase für verschiedene Frequenzen) erfolgte mittels dem Auswerteprogramm IX1D. Dabei werden die Einzelmessungen 1D ausgewertet und anschließend zu einem Profil zusammengefügt. Die Abbildungen 55-57 zeigen einerseits die Anpassung der Messwerte durch die 1D Inversion (oben) und andererseits die Verteilung des elektr. Widerstandes als Profilschnitt mit der mit der Tiefe (unten). Die Inversion der inphase und outphase Werte zeigen einen 2 bis 3 Schichtfall (je nach Spulenabstand und somit der Auflösung der oberflächennahen Schichten) mit einer geringmächtigen, niederohmigen Deckschicht 30-70  $\Omega\text{m}$ ), einer höherohmigen ( $>100 \Omega\text{m}$ ) 2. Schicht und einer Liegendschicht ab ca. 10-15 m mit sehr geringen elektr. Widerständen ( $< 10 \Omega\text{m}$ ). Mit zunehmendem Spulenabstand erhöht sich entsprechend die Eindringtiefe, das oben beschriebene Ergebnisbild bleibt aber das gleiche. Damit entspricht das EM Ergebnis dem Resultat des Geoelektrikprofils (siehe Abb. 35).

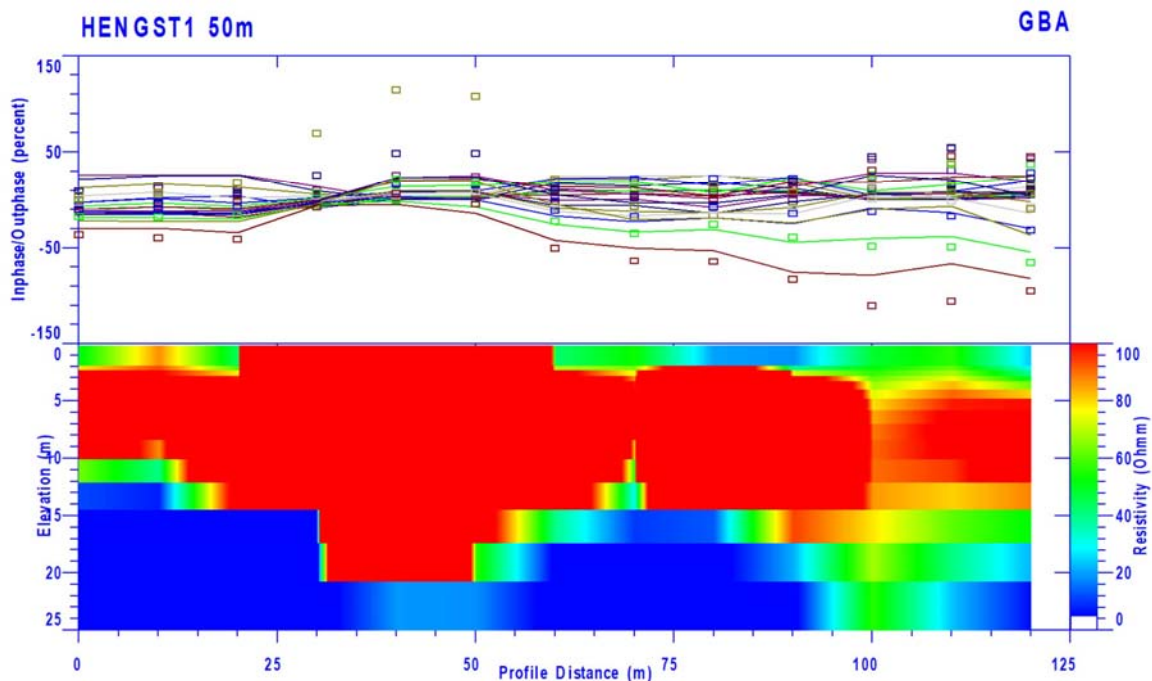


Abbildung 55: Inphase/Outphase-Signal (%) entlang Profil Hengstberg 1, bei Profimeter 0 beginnend bis Meter 120, die höchsten Frequenzen oben, die niedrigen Frequenzen unten für Spulenabstand 50m.

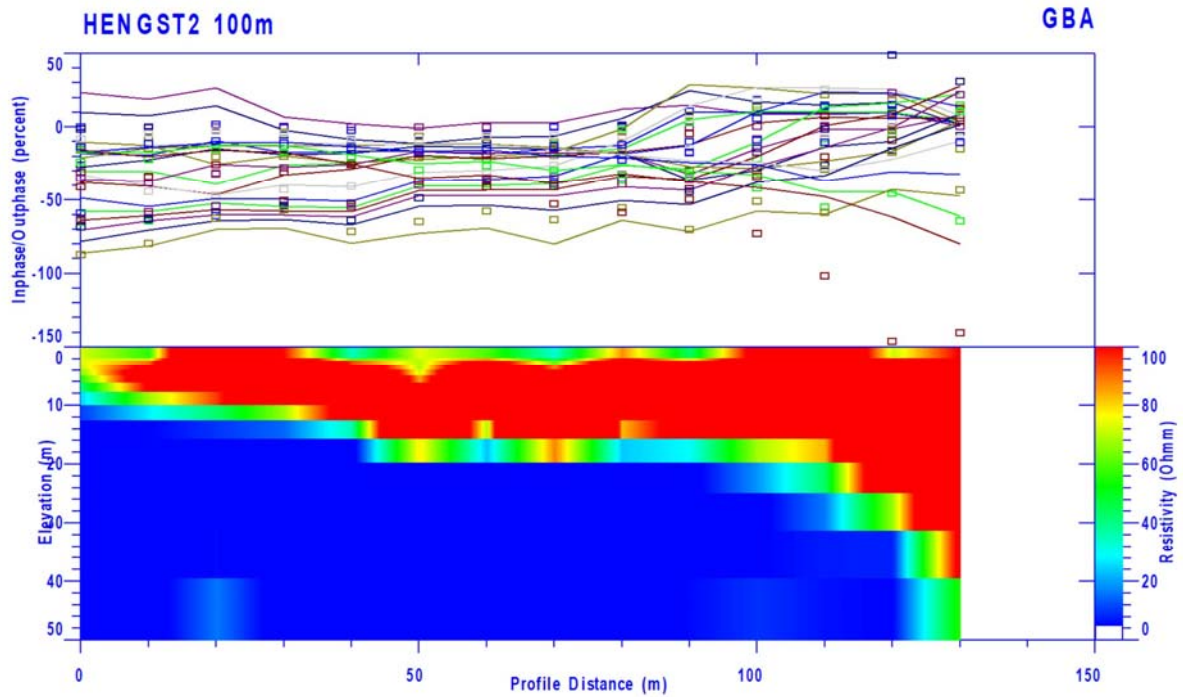


Abbildung 56: Inphase/Outphase-Signal (%) entlang Profil Hengstberg 1, bei Profimeter 0 beginnend bis Meter 130, die höchsten Frequenzen oben, die niedrigen Frequenzen unten für Spulenabstand 100m.

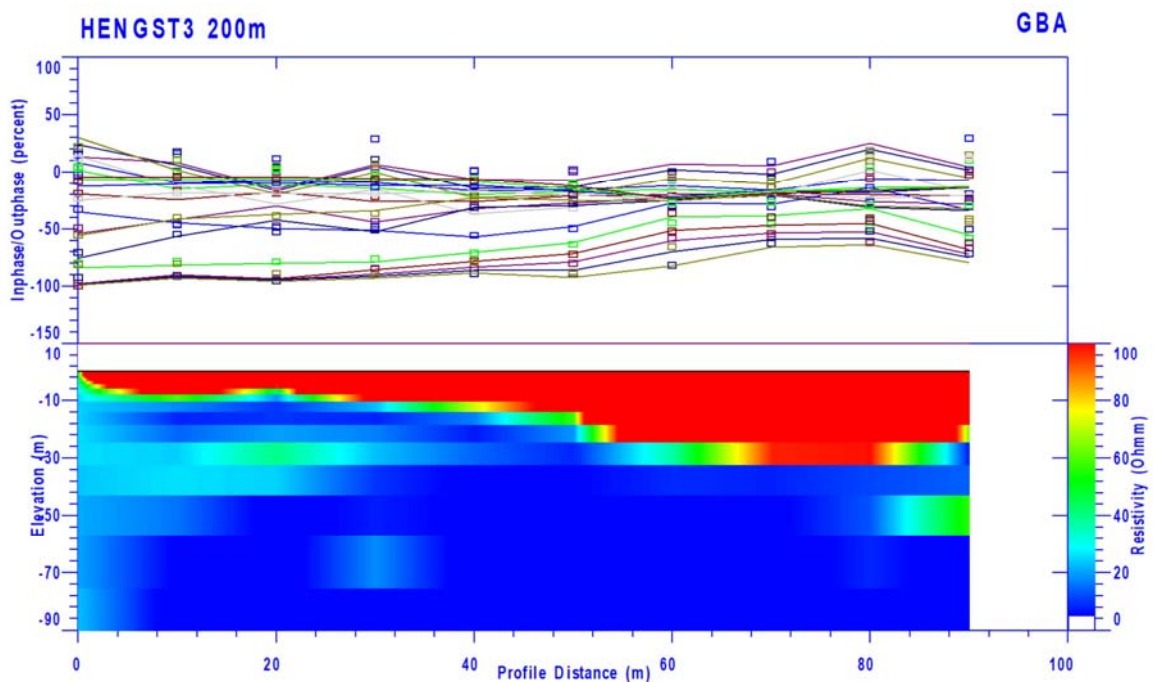


Abbildung 57: Inphase/Outphase-Signal (%) entlang Profil Hengstberg 1, bei Profimeter 0 beginnend bis Meter 90, die höchsten Frequenzen oben, die niedrigen Frequenzen unten für Spulenabstand 200m.

## Untersuchungen im Raum Dunkelsteiner Wald

## Umbach/Nölling

In etwa 2 km Entfernung zum Messgebiet Hengstberg wurde im Projektjahr 2022 im Bereich eines Marmorzuges mit kartierten Grafiteinlagerungen eine Eigenpotenzialmessung durchgeführt (siehe dazu Abb. 58 und Abb. 59). Basierend auf dem Ergebnis der Eigenpotenzialmessung wurde zudem ein geoelektrisches Profil (spez. elektr. Widerstand und Induzierte Polarisation (IP)) gemessen.

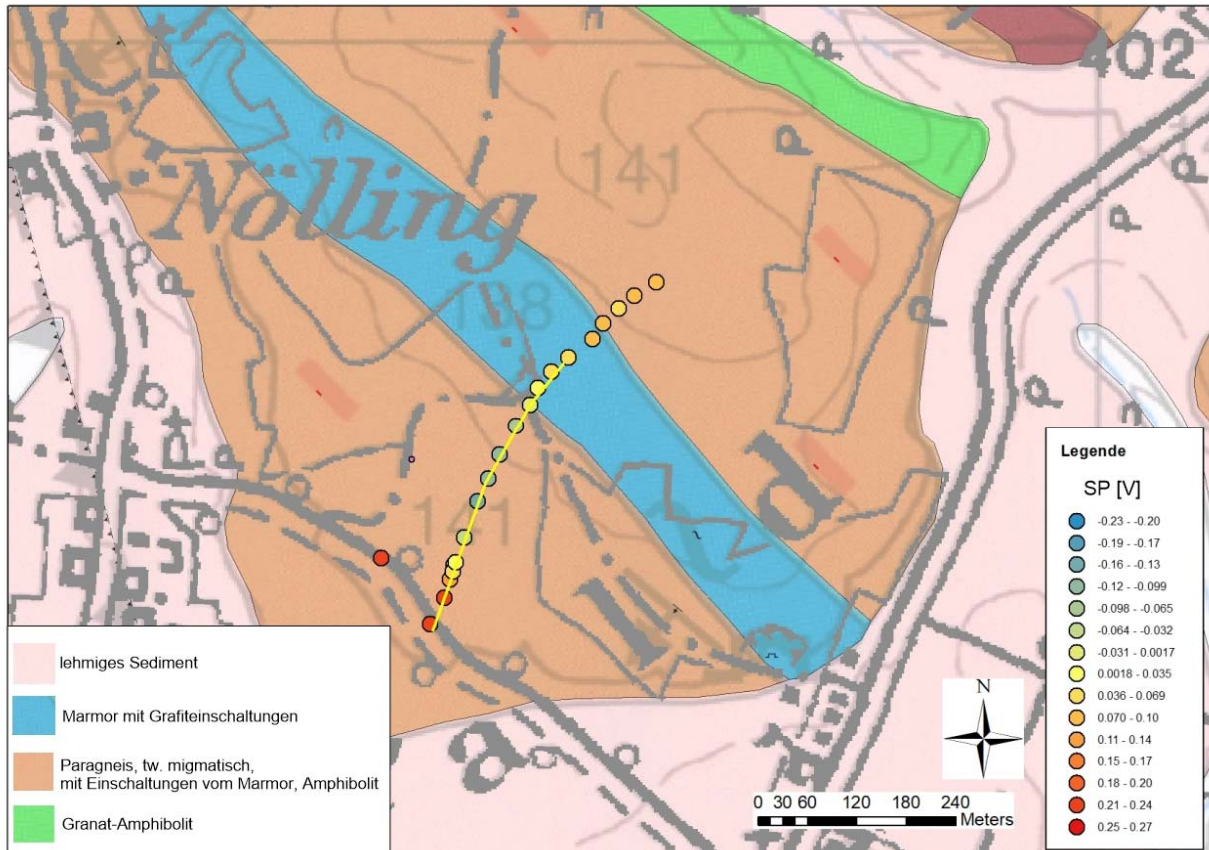


Abbildung 58: Lageplan Umbach mit Geologie (Beschreibung siehe Legende) und eingezeichneten geoelektrischen Profil sowie den Eigenpotenzial Messpunkten (inklusive Lage der Potenzial Referenzelektrode), Ausschnitt der geolog. Karte ÖK55 Obergrafendorf, 2012 (Schnabel, et. al., 2012)

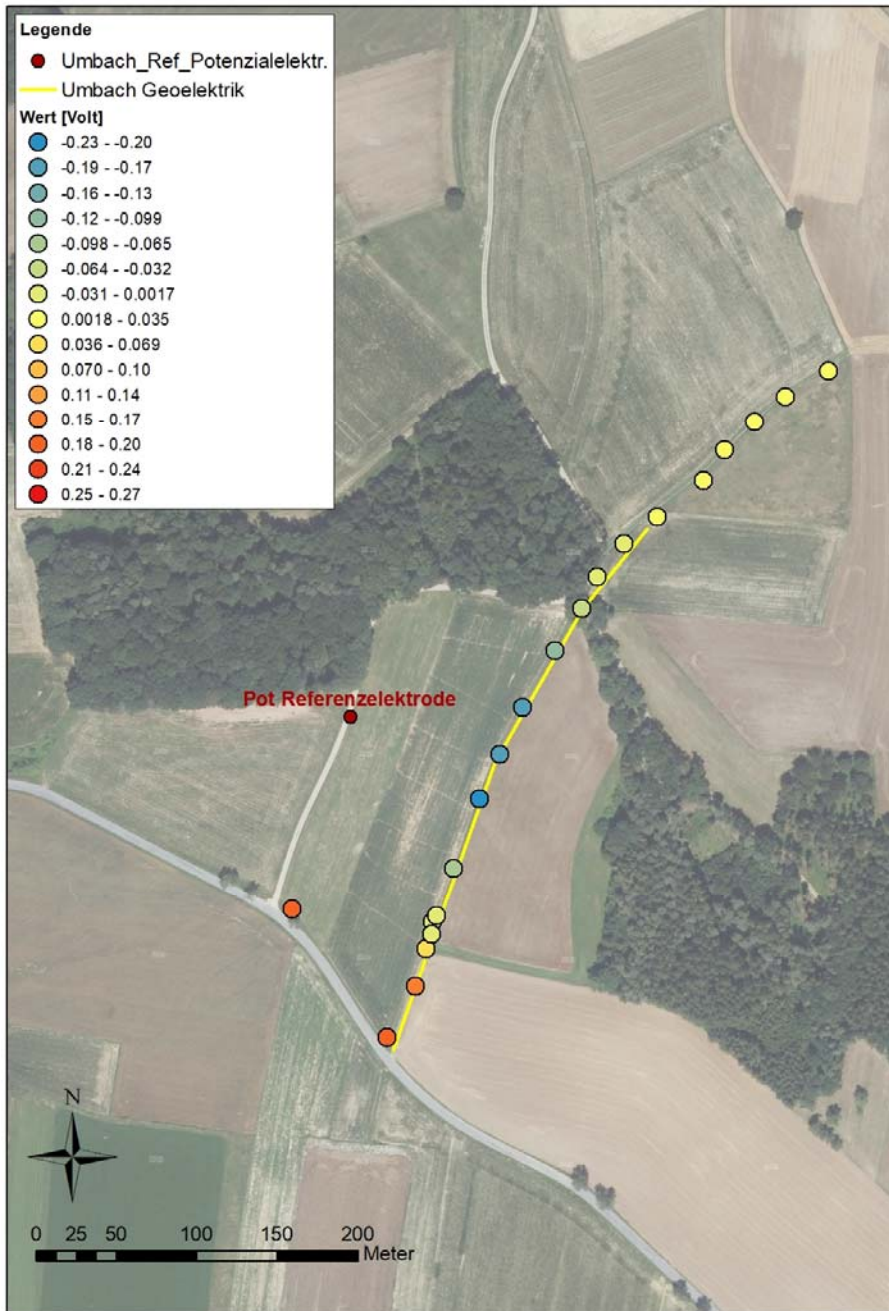


Abbildung 59: Lageplan Umbach mit Geologie (Beschreibung siehe Legende) und eingezeichneten geoelektrischen Profil sowie den Eigenpotential Messpunkten (inklusive Lage der Potenzial Referenzelektrode)

### Eigenpotentialmessung (SP)

Das Ergebnis der in diesem Fall nur entlang einer Linie (rechtwinklig zum Streichen des Marmorzuges) durchgeführten Eigenpotentialmessung ist in Abb. 60 dargestellt. Im Ergebnis zeigt sich eine deutliche Anomalie mit niedrigen Spannungswerten (die Position der Referenzpotenzialelektrode ist in Abb. 58

und 59 ebenfalls dargestellt), wobei sich diese Anomalie mit dem Bereich des Marmors, in dem die Grafitelagerungen anzunehmen sind, nicht deckt, sondern sich ein Versatz von etwa 100 m Richtung Süden ergibt (Abb. 60).

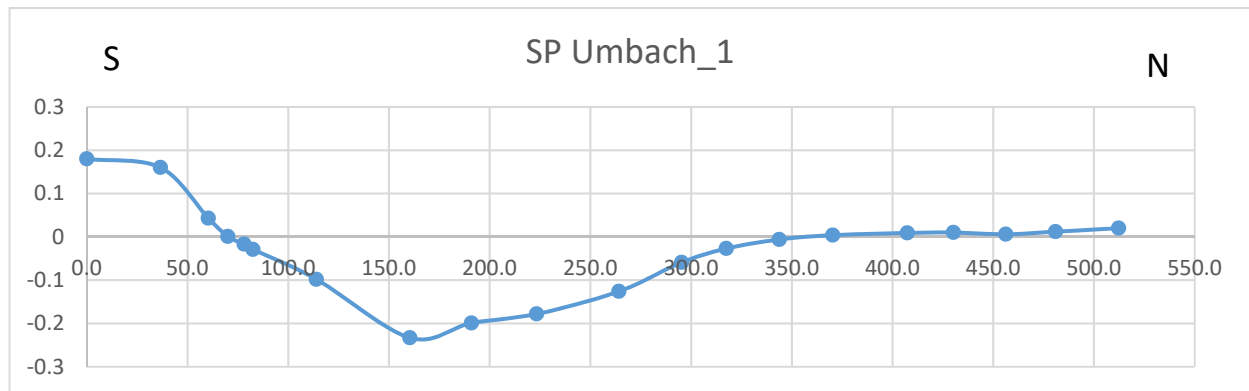


Abbildung 60: SP Profil Umbach in [V]

## Geoelektrik

Das Ergebnis des in diesem Bereich gemessenen geoelektrischen Profils ist in Abb. 61 dargestellt. Der Vergleich mit der SP Anomalie, deren Minimum um Profilmeter 160-180 zu finden ist, zeigt in diesem Bereich eine deutliche niederohmige Anomalie (blauer Farbbereich), die mit einem entsprechenden Grafitgehalt des Untergrundes in Verbindung gebracht werden kann. Wie bei dem Ergebnis des geoelektrischen Profils am Hengstberg lässt sich auch hier, aufgrund des enormen Widerstandskontrastes, kaum eine Aussage über die tatsächliche Tiefenausdehnung des grafitreichen Bereiches treffen.

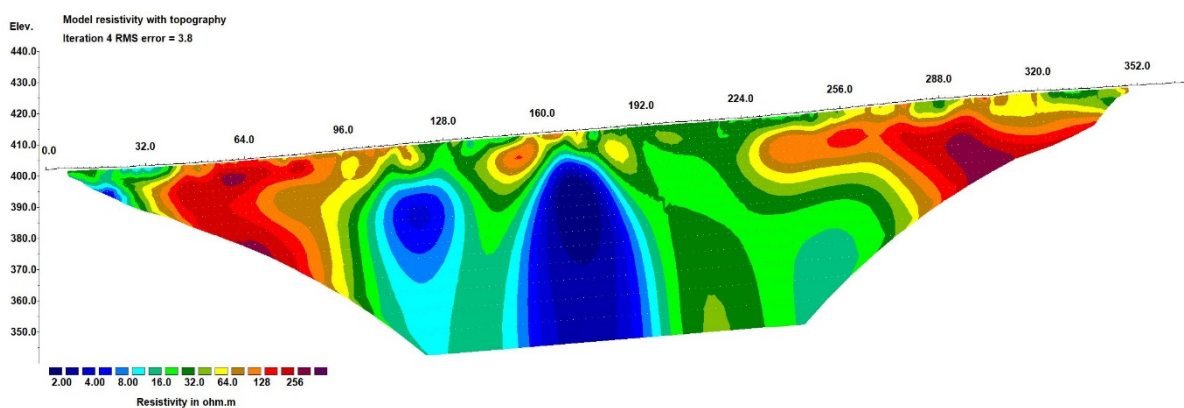


Abbildung 61: Ergebnis des geoelektrischen Profils Umbach (dargestellt ist das Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes)

Die gleiche Messprofilanlage wurde zusätzlich für eine TDIP-Messung genutzt, wobei hier nur jeder 10. Messpunkt der ursprünglichen Schlumberger Messkonfiguration (3378 Messpunkte), die für die Widerstandsmessung verwendet wurde, gemessen wurde. Diese Vorgangsweise wurde aus Zeitgründen

am besagten Messtag (12.05.2022) gewählt. Das Ergebnis (dargestellt in Abb. 62) zeigt in der Verteilung des spezifischen elektr. Widerstand dennoch eine recht gute Übereinstimmung mit dem Ergebnis in Abb. 61, wenngleich deutlich zu sehen ist, dass durch die geringe Anzahl an Datenpunkten ein deutlicher Auflösungsverlust einhergeht. Die untere Darstellung in Abb. 62 zeigt das Ergebnis der IP Messung als Verteilung der sogenannten Aufladbarkeit. Zwischen den niederohmigen Bereichen und den Bereichen mit hoher Aufladbarkeit besteht eine klare Korrelation. Diese gibt einen zusätzlichen Hinweis, dass in diesem Untergrundbereich ein erhöhter Grafitgehalt vorhanden sein muss.

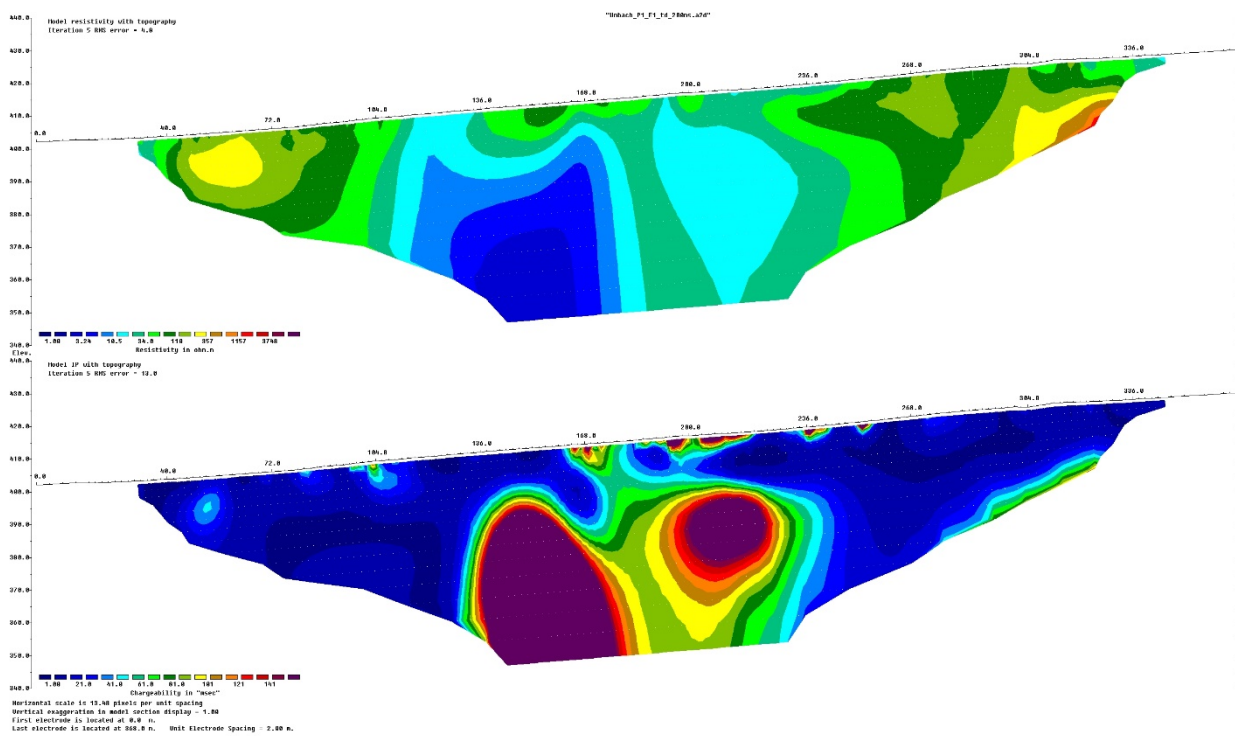


Abbildung 62: Ergebnis des geoelektrischen Profils Umbach (dargestellt ist das Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes (oben) und der Aufladbarkeit (unten)) – Datenbasis ist die auf insgesamt 338 Messpunkte reduzierte TDIP-Messung

Für eine detaillierte Interpretation reichen die im Projektjahr 2022 im Bereich Umbach durchgeführte geophysikalischen Messungen nicht aus, sie dienen aber als Planungsgrundlage für ein umfangreicheres Messprogramm für 2023. Es sollen hierbei flächige Eigenpotenzialmessungen durchgeführt werden und anhand der Ergebnisse soll ein deutlich längeres geoelektrisches (inklusive IP) Messprofil umgesetzt werden.

## Raintal

## SP Messung

Im Bereich des sog. Raintals im Dunkelsteiner Wald wurde ebenfalls in einem kartierten Bereich eines Marmorzuges mit Grafiteinlagerungen eine Eigenpotenzialmessung durchgeführt (siehe Abb. 63)

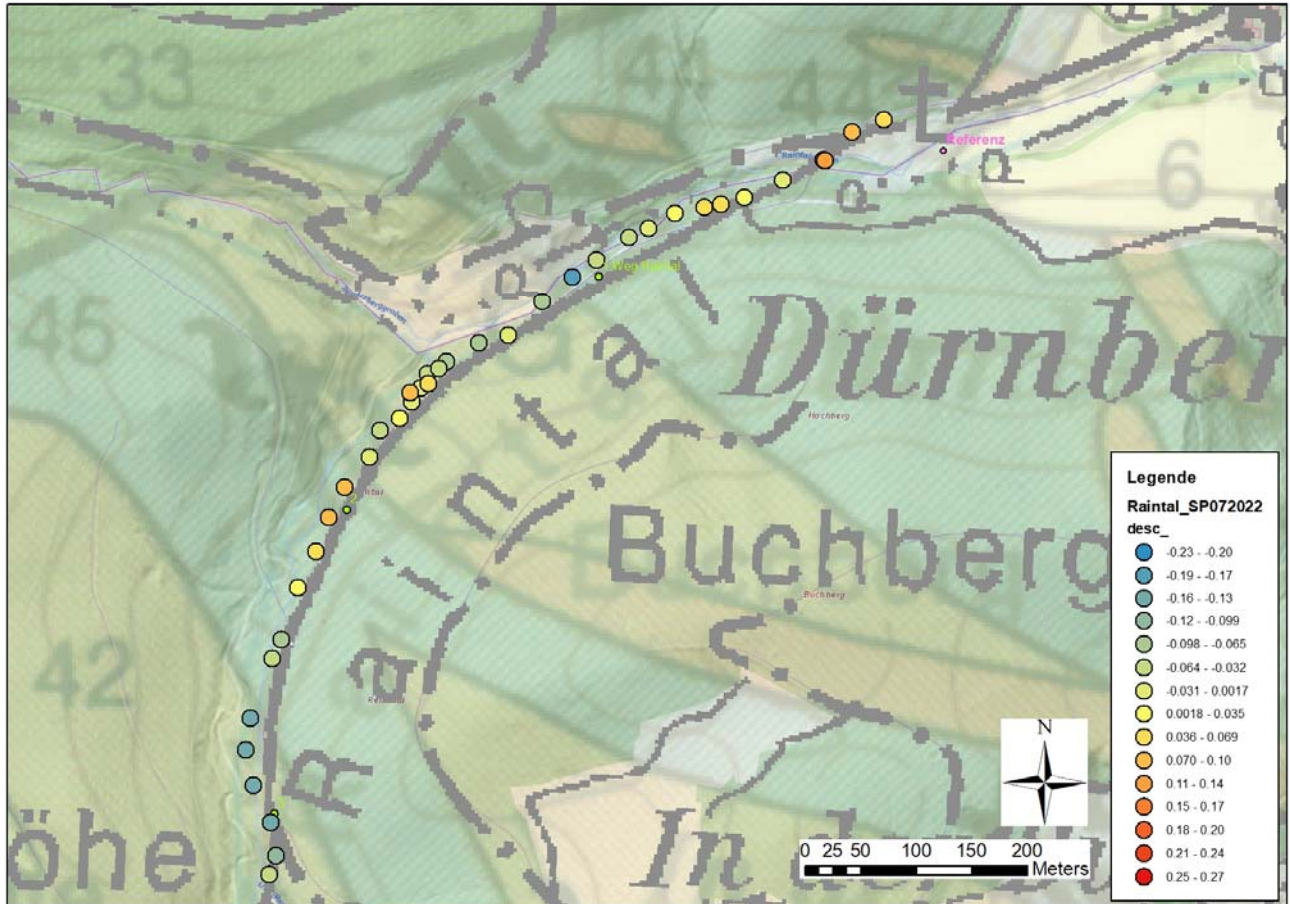


Abbildung 63: Lage des SP Profil Raintal, Farbwerte entsprechen des gemessenen [V] Werten, Ausschnitt der geolog. Karte ÖK55 Obergrafendorf, 2012 (Schnabel, et. al., 2012)

Das Ergebnis des SP Profils ist in Ab. 64 dargestellt. Es ist ein ausgeprägtes Minimum am Profilanfang im SW zu erkennen. Der weitere Verlauf zeigt kleinere Minima (im 10er Meter Bereich) an, mit einem ausgeprägten Minimum bei Profilmeter 660. Am Ende des Profils (im NE) ist ein klarer Trend zu positiven SP Werten zu erkennen.



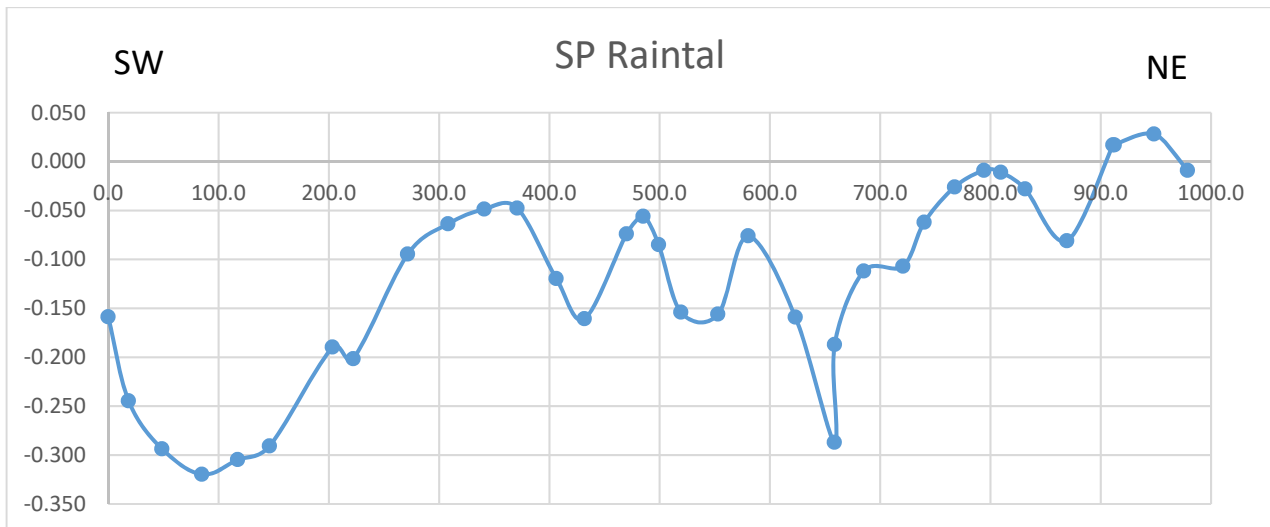


Abbildung 64: SP Profil Raintal in [V]

### Literaturrecherche und Aufbau einer Flockengrafit-Datensammlung bzw. Datenbank

Da die Flockengrafitte von speziellem Interesse sind, wurde begonnen eine Datensammlung bzw. Datenbank bekannter Vorkommen und ehemaligen Abbauten im Bereich des Projektgebiets aufzubauen. Als Referenzwerk zu diesem Thema sei die Arbeit von Holzer (1964) hervorgehoben. Als weitere Quelle für Flockengrafit-Vorkommen wurde weiteres das an der Geologischen Bundesanstalt geführte Interaktive Rohstoff Informationssystem (IRIS) – bspw. (Weber u. a., 2019; Lipiarski u. a., 2019) – herangezogen.

Es zeigt sich, dass Flockengrafit-Vorkommen im Projektgebiet mehrheitlich dem Bavarikum (Linner, 2007; Linner u. a., 2013) zuzuordnen sind. Dies ist in guter Übereinstimmung mit den in (Rantitsch und Linner, 2021) angegebenen Metamorphosebedingungen für dieses Gebiet. Dies sind die Hochtemperatur-Bedingungen der Granulitfazies, die für die Ausbildung von Flockengrafit notwendig sind (Simandl u. a., 2015). Die Abb. 65 zeigt die Karte der Flockengrafit-Vorkommen im Projektgebiet.

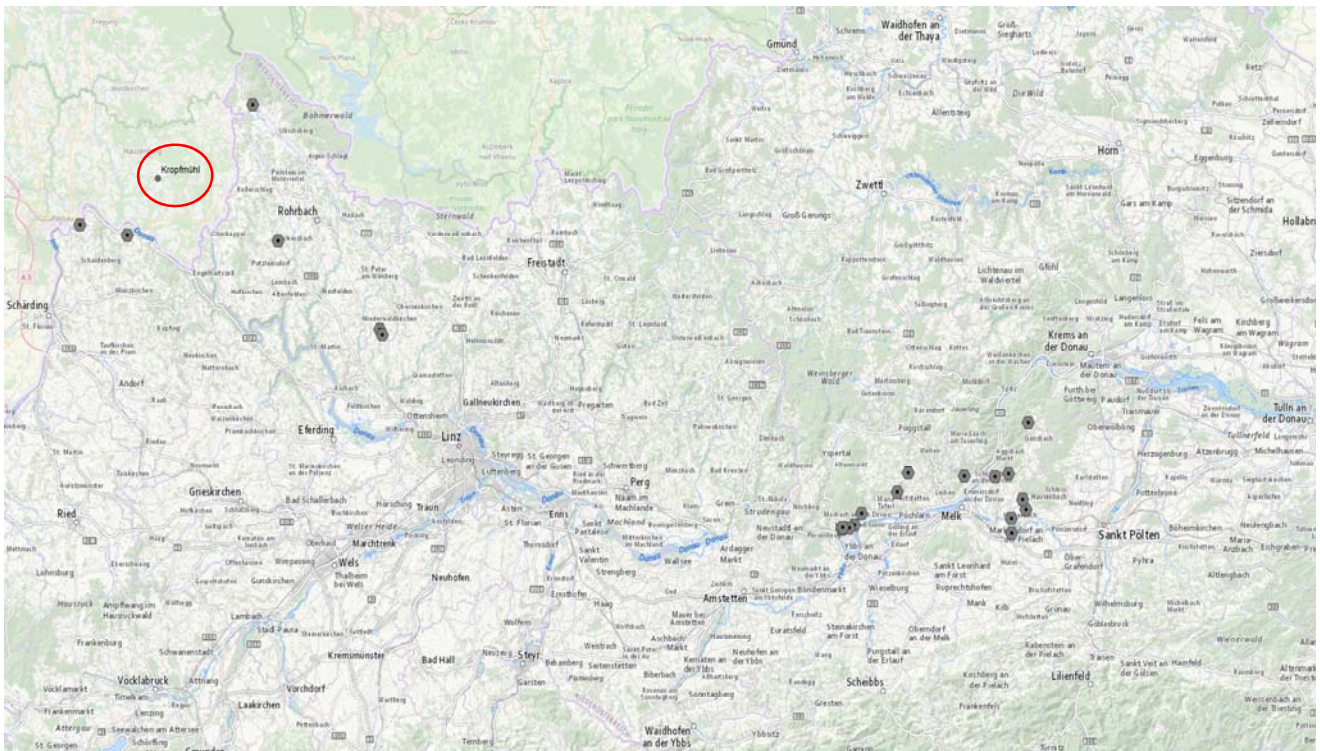


Abb. 65: Karte der Flockengrafit-Vorkommen im Projektgebiet. Zusätzlich zu den als Hexagone dargestellten Vorkommen im Projektgebiet, ist der bekannte Flockengrafit-Abbau im niederbayrischen Kropfmühl als Kreis eingetragen. (Grundkarten: basemap.at und OpenStreetMap)

## Vorexkursion Flockengrafit Mühlviertel

In einer Kurzexkursion wurden am 9. und 10. Mai 2022 mehrere im “Interaktiven Rohstoff InformationsSystem” (IRIS) der Geologischen Bundesanstalt (Weber u. a., 2019) als Grafitvorkommen geführte Punkte im Osten des Bavarikums an der Grenze zu Bayern besucht und hinsichtlich ihrer Relevanz für das Projekt UELG-83 Potgraf überprüft. Im Detail ging es darum die im IRIS als Grafitvorkommen geführten Punkte zu überprüfen, einen Überblick über die (Flocken-) Grafitvorkommen des Bavarikums und einen ersten Eindruck vom ehemaligen Abbau Herzogsdorf zu bekommen.

Die Exkursion wurde im Zuge des Projekts UELG-83 durchgeführt und erfolgte als interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachabteilungen Rohstoffgeologie (Gerald Schuberth-Hlavac) und Kristallgeologie (Christoph Iglseder, Manfred Linner).

## Methodik

Die Literatur liefert nur wenige Anhaltspunkte für mögliche Grafitvorkommen im Bavarikum. So wurden aus dem IRIS jene Punkte des Bavarikums ermittelt die als ein Grafitvorkommen geführt werden - siehe Abb. 66. Diese befinden sich mehrheitlich an der Bayrischen Grenze und sind:

1. Freinberg / Passau (Haibach)
2. Esternberg / Passau (Pyrawang / Krempelstein)
3. Mistlberg (SE Wegscheid)
4. Kohlstatt
5. Panidorf (Klaffer)
6. Sarleinsbach
7. Herzogsdorf

Diese Vorkommen wurden bereits durch Commenda (1904) und Holzer (1964) dokumentiert. Herzogsdorf (Nr. 7) ist das einzige Vorkommen für welches eine bergmännische Erschließung bekannt ist und welches eine wirtschaftliche Bedeutung hatte.

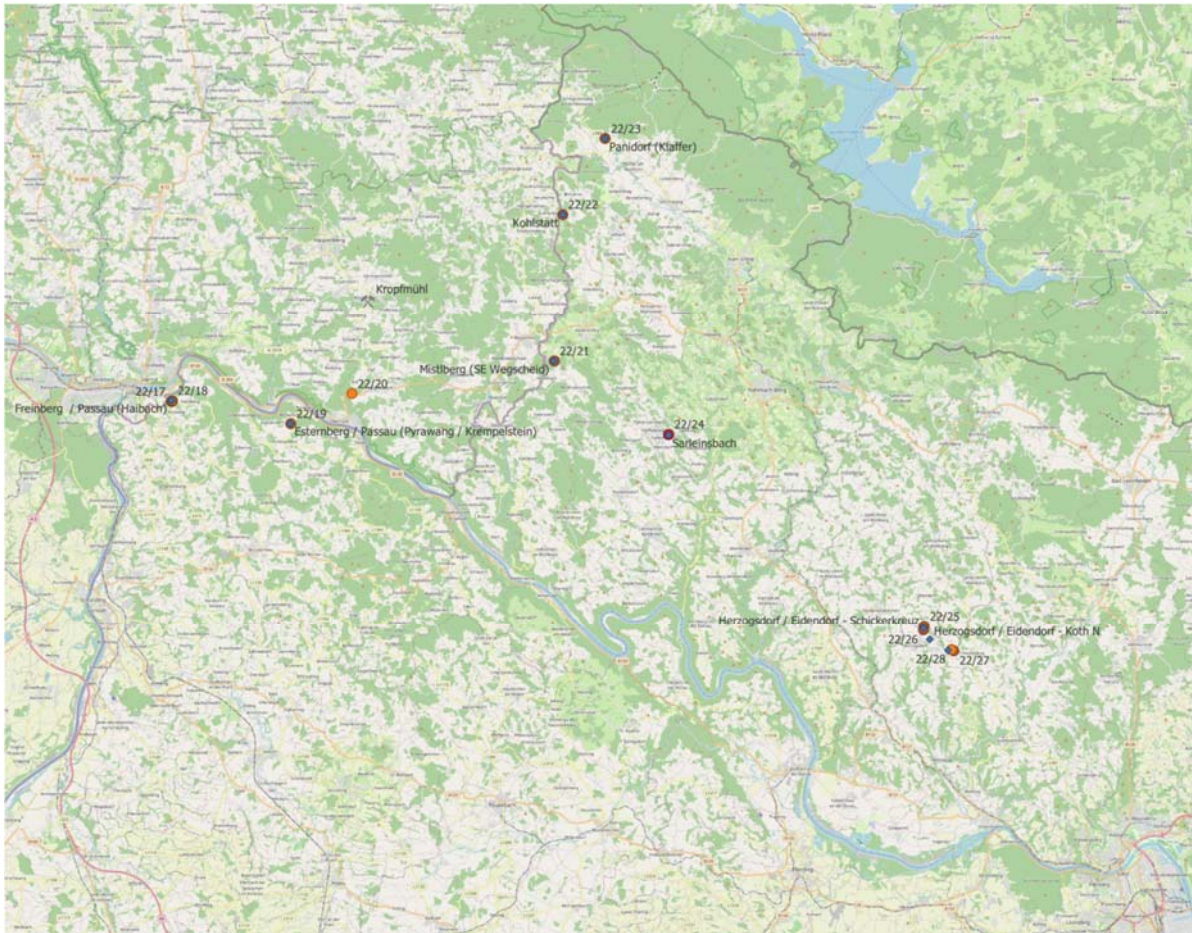


Abbildung 66: Überblick über bekannte Flockengrafitvorkommen im Bavarikum (Holzer, 1964; Weber u. a., 2019). (Grundkarte: openstreetmap.org)

## Ergebnisse

Generell ist festzuhalten, dass geologische Untersuchungen durch die (extrem) schlechten Aufschlussverhältnisse beeinträchtigt sind. Meist war eine Auffindung durch anthropogene Einflüsse erschwert und nur durch Lesesteinkartierung in Äckern und Wiesen sowie Hanganschnitten möglich. Trärgestein des Grafit ist Paragneis bzw. Paragestein im weiteren Sinne. Dieses tritt in unterschiedlicher Ausprägung auf: Migmatischer Paragneis (Perlgneis) bis Paragneismigmatit und mylonitischer Paragneis. In diesen Paragesteinen und mit diesen assoziierten Quarziten findet sich Grafit mehrheitlich dispers verteilt und auch in konkordanten lagigen Anreicherungen mit Millimeter bis Zentimeter Mächtigkeit. Grafitführende Paragneise sind glimmerreich mit einer deutlichen Schieferung. In massig ausgebildeten Paragneisen und granitischen Gesteinen ist nicht von einer Grafitführung auszugehen.

Bezüglich der Grafitvorkommen zeigt sich ein "ernüchterndes" Bild: Von den sieben aus dem IRIS übernommenen Punkten konnte nur bei zwei Grafit gefunden werden. Dies sind Freinberg und Herzogsdorf – #22/(17, 18) und #22/(25-28) in Abb. 66. Bei Freinberg konnte eine millimetermächtige Grafitlage entlang einer Harnischfläche ausgemacht werden und Grafit ist in dem dortigen Paragneismigmatit diffus verteilt. Bei Herzogsdorf konnte wohl kein Aufschluss mit Grafitführung ausgemacht werden, wohl aber einige stark grafithaltige Lesesteine.

Zusätzlich konnte Punkt #22/20, im grenznahen Bayrischen Staatsgebiet, bei dieser Exkursion neu gefunden werden. Grafit ist hier makrokristallin ausgebildet, sodass einzelne submillimeter große Kristalle bereits mit dem freien Auge zu erkennen sind.

Es zeigt sich eine Korrelation des Vorhandenseins von grafitischen und quarzreichen mylonitischen Lagen mit grünschieferfaziellen Scherzonen.

Weiteres sei erwähnt, dass die Bereiche um die untersuchten Punkte – abgesehen von Herzogsdorf – nicht wie typische grafitreiche Areale wirken: Weder sind in den Äckern und entlang von Wiesen dunkle oder schwarze Schmitzen im Boden erkennbar, noch zeigen Lesesteine und die wenigen Aufschlüsse eine typische “mehlige” Textur und dunkelgraue Farbe. Man vergleiche hierzu die Gegenden um bspw. Zettlitz oder Hengstberg.

### Interpretation und Diskussion

Zusammenfassend kann aus den untersuchten Lokalitäten bzw. (ehemaligen) Vorkommen keine Lagerstättenrelevanz abgeleitet werden. Kleinere Vorkommen sind jedoch nicht auszuschließen. Allgemein herrscht der Eindruck vor, dass Grafit wohl in den Gesteinen vorhanden sein könnte – abhängig von der Aufschlusslage – und etwaige Vorkommen bzw. Anreicherung erscheinen geringmächtig und lokal stark begrenzt zu sein.

Die Korrelation zwischen dem Vorhandensein von Grafit und Scherzonen, wird nicht als Zusammenhang mit der Grafit-Genese verstanden, sondern mit den physikalischen Eigenschaften des Grafits, der bevorzugt hier die Scherung aufnimmt.

Als besonders fragwürdig wird das Vorkommen in Sarleinsbach (#22/24) gesehen, da dieses im Bereich des “Weinsberger Granits” liegt. Es konnten in der Umgebung des Punktes auch keine Lesesteine aus Paragestein gefunden werden. Weiteres ist das untersuchte Gebiet stark anthropogen beeinflusst: Hühner- und Weidetierhaltung sowie ein Spielplatz. Insofern konnten auch keine Spuren eines ehemaligen Abbaus ausgemacht werden. In Commenda (1904) ist erwähnt, dass Grafit “(...) *hin und da auf den Feldern*” ausbeißt. Holzer (1964) führt diesen Hinweis auf eine Notiz in einem alten Werk zurück, welches ihm jedoch nicht zugänglich war.

Auch ist zu bedenken, dass nicht jedes dunkelgraue Gestein grafitführend ist. Dies könnte erklären warum die Eindrücke dieser Untersuchung nicht immer im Einklang mit älteren geologischen Karten sind in welchen teils eine Grafitführung im hier behandelten Gebiet eingetragen ist. Das trifft im speziellen auf die Gebiete in der Gegend um die Donau- und Pfahlstörung zu, wo man leicht auf dunkle Störungsgesteine (Mylonite, Kataklasite) treffen kann, die teilweise “abfärben” und womöglich als Grafitschiefer bezeichnet wurden.

Die in IRIS geführten Punkte sind so nicht nach zu vollziehen. Es handelt sich hierbei um Punkte die schlussendlich auf Commenda (1904) zurückgehen und seitdem wohl in der Literatur tradiert wurden. Doch bereits bei diesem werden die Vorkommen als wenig bedeutsam geführt und der Grafit als unrein eingestuft. Diese Vorkommen werden hier als dokumentierte Versuche der Grafit-Prospektion bzw. als kleine Abbaue im 19. Jahrhundert interpretiert. Aus der Literatur geht hervor, dass der Bergbau auf Grafit im “Passauer Land” eine Jahrhunderte lange Tradition hat und bereits auf die vorchristliche Zeit zurückgeht (Felber, 1987). Bis etwa 1910 dominierte der „Bauernbergbau“: In offen Gruben wurden kleinräumige Grafitvorkommen mit Spaten und Pickel abgebaut (Regelous und Holzförster, 2018). Dies passt gut in das gewonnene Bild, als dass es immer wieder kleinräumige Anreicherungen geben kann die ausgebeutet wurden.

Weiteres fügt sich das gewonnene Bild gut in die durch Regelous und Holzförster (2018) angegeben geologischen Übersichtskarte des Landkreises Passau. Hier werden zwei Arten von Gneisen unterschieden welche mit Grafiteinlagerungen und welche ohne, die migmatisch sein können. Erste

erstrecken sich etwa von Kropfmühl (bekannter aktiver Abbau von Flockengrafit) bis zur Donau und letztere betrifft den Großteil des hier untersuchten Gebiets östlich davon.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind auch im Einklang mit den, seitens der GBA, bereits früher durchgeführten Prospektionen und geophysikalischen Untersuchungen. Einzig Freinberg wird durch Schermann u. a. (1979) (als Haibach bezeichnet) eine gewisse wirtschaftliche Bedeutung zugetragen. Durch Motschka u. a. (2008) wurde bei Panidorf eine Niederohmigkeit des Gesteins ermittelt und als möglicher Hinweis auf eine Grafitmineralisation gedeutet. Diese könnte jedoch auch mit der Pfahlstörung in Verbindung stehen, da die gemessene Niederohmigkeit genau wie die Pfahlstörung NW-SE orientiert ist.

Von den untersuchten Lokalitäten machte einzig Herzogsdorf den Eindruck einer "Grafit-Gegend" – was auch durch den belegten Abbau bestätigt wird. Wenngleich auch hier kein anstehendes grafitführendes Gestein gefunden wurde – was sich jedoch durch die ausgeprägte anthropogene Überprägung begründen lässt – lassen sich genug zum Teil stark grafitführende Lesesteine auf den Äckern und Halden finden.

### Mögliche weitere Untersuchungen

Für weitere Untersuchungen im Bereich des Bavarikums könnten die bereits durch Till (1913) erwähnten Vorkommen in der Gegend von Engelhartzell in Erwägung gezogen und überprüft werden. Diese liegen zumindest noch im Bereich der Paragneise mit Grafitlagerungen in der von Regelous und Holzförster (2018) angegeben geologischen Überblickskarte. Wenngleich auch hier nicht unbedingt von einer großen Relevanz für Lagerstätten ausgegangen wird.

Weiteres könnte auch das Gebiet bei Freinberg und Esternberg näher untersucht werden - evtl. mit geophysikalischen Methoden. Bei erster Lokalität wurde bei dieser Untersuchung Grafit gefunden und bei zweiter ist in (Holzer, 1964) ein alter Stollen und Grafitigelproduktion Anfang des 19. Jahrhunderts in Pyrawang erwähnt. Spuren dieses Stollens ließen sich bei dieser Kurzexkursion nicht erkennen doch lässt die Tigelproduktion zumindest auf eine größere Menge Grafit schließen.

Für Herzogsdorf kann eine geophysikalische Untersuchung angedacht werden, da hier ein erwähnenswertes Grafitvorkommen bekannt ist und die Geländearbeit im Zuge dieser Exkursion dies auch bestätigte.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Trägergestein des Grafits sind Paragesteine und mit diesen assoziierte Quarzitlagen. Grafit ist zum einen dispers verteilt und zum anderen in dünnmächtigen Lagen zu erkennen.
- Etwaige Vorkommen bzw. Anreicherung scheinen geringmächtig und lokal stark begrenzt zu sein.
- Aus den untersuchten Lokalitäten kann keine Relevanz für Lagerstätten abgeleitet werden.
- Von sieben im IRIS angezeigten Grafitvorkommen konnten nur zwei verifiziert werden. Dies sind Freinberg und Herzogsdorf.

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen für das IRIS und das Projekt UELG-83 PotGraf ziehen:

- IRIS
  - Die im untersuchten Gebiet vorhandenen IRIS-Punkte sind so nicht nachvollziehbar und werden als historische Relikte betrachtet. Mit Ausnahme von Freinberg und Herzogsdorf sollten diese in der Datenbank als historische (Literatur)Punkte markiert oder entfernt werden. Weiteres sollten sie nicht mehr als Grafitvorkommen nach Außen kommuniziert werden und auch nicht an andere (EU-)Projekte

gemeldet werden. Diese vielleicht drastisch wirkende Maßnahme ist – nach Ansicht des Autors – aufgrund der wenigen Grafit-Punkte im Bavarikum nötig. Denn wenn nur bei zwei von sieben gemeldeten Vorkommen Grafit gefunden wurde, so ist dies wenig wünschenswert. Wenn in der Webapplikation diese Punkte angezeigt werden, so sollte die mit ihnen verbundene Information auch korrekt und zutreffend sein. Die Erwartungshaltung der Benutzer ist wohl jene, dass wenn sie zu diesen Punkten hinfahren dort auch Grafit finden bzw. von einem Fachpublikum jene, dass sie sich zumindest in einer “Grafit-Umgebung” befinden. Diese Erwartungen werden von den geschilderten Punkten nicht erfüllt. Dies lässt sich in einer Kartenansicht gut veranschaulichen – siehe Abb. 67: Ist ein Vorkommen im Drosendorf-Deckensystem falsch, so ist dies aufgrund der vielen Vorkommen weniger gewichtig und leicht verzeihbar. Wohingegen das auf ein Gebiet mit wenigen Vorkommen, wie dem Bavarikum, nicht zutrifft.

– Die durch Rantitsch und Linner (2021) publizierten Grafit-Vorkommen sollten in das IRIS aufgenommen werden. Für diese liegen GPS verortete Punkte vor, diese sind nach aktuellen Methoden der Analytik klassifiziert und es sind keine Literaturpunkte aus den letzten Jahrhunderten.

- UELG-83 PotGraf – Eine geophysikalische Untersuchung um die ehemaligen Lagerstätten von Herzogsdorf scheint sinnvoll.

– Für alle anderen hier besuchten Vorkommen des Bavarikum scheint dies wenig sinnvoll zu sein. Einzig die Gegend zwischen Freinberg, Esternberg und Pyrawang könnte in Erwägung gezogen werden.

– Weitere geologische Untersuchungen könnten in der Umgebung von Engelhartzell gemacht werden. Abgesehen davon sind weitere geologische Erkundungen im Bavarikum mit einem erhöhten Aufwand verbunden und deren Ergebnisse werden aus heutiger Sicht als möglicherweise nicht zufriedenstellend eingestuft.

– Für das Projekt sinnvoller erscheint es das Bearbeitungsgebiet von Hengstberg auf die Grafitvorkommen am Rande des “Dunkelsteiner Waldes” auszudehnen.

– Für die durch das Projekt ermöglichte Raman-Spektroskopie der Grafite durch die Montanuniversität Leoben könnten noch Proben von bekannten Abbauten ab Persenbeug donauabwärts und entlang der Vorkommen im Drosendorf-Deckensystem genommen werden. Dies wäre eine sinnvolle Tätigkeit um die Datenlage zu verdichten.

– Schlussendlich bietet es sich an noch einige im IRIS vorhandenen Grafitvorkommen im Drosendorf-Deckensystem zu verifizieren um die Datenlage im IRIS zu verbessern. Denn angeregt durch die Erkenntnisse dieser Kurzexkursion, könnte es durchaus sein, dass sich auch hier einige Literaturpunkte befinden, die nicht mehr “zeitgemäß” sind.

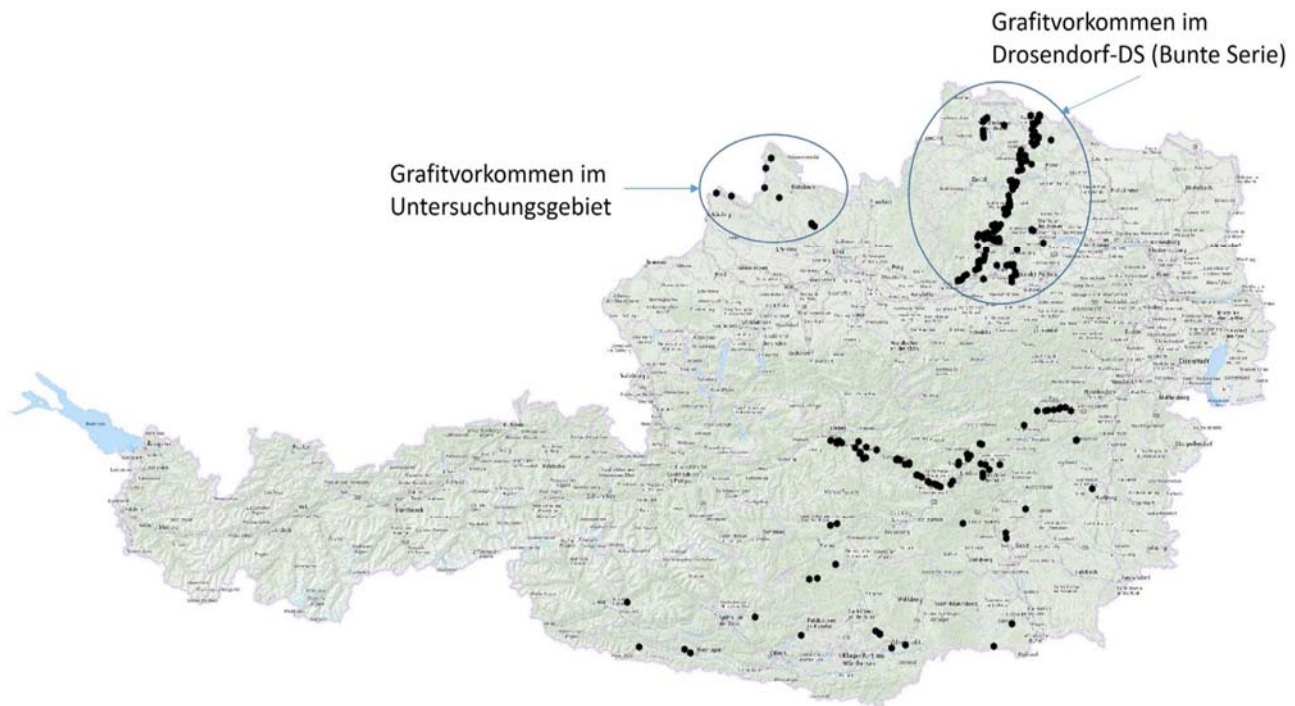


Abbildung 67: Durch das IRIS gemeldete Grafite-Vorkommen in Österreich. (Grundkarte: basemap.at)

#### Literatur

Commenda, H., 1904, Übersicht der Mineralien Oberösterreichs: Verein für Naturkunde in Österreich ob der Enns zu Linz, p. 1–72, [https://www.zobodat.at/pdf/VNodE\\_0033\\_0001-0072.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/VNodE_0033_0001-0072.pdf).

Felber, J., 1987, Geologische Studien in der Kropfmühl-Serie: Beiträge zur Geochemie und Petrographie einer moldanubischen Bunten Gruppe in Ostbayern (Passauer Wald, Niederbayern) unter besonderer Berücksichtigung der Genese graphitführender Metamorphite [phdthesis]: Ludwig-Maximilians-Universität München.

Holzer, H.F., 1964, Die Flinzgraphitvorkommen im außeralpinen Grundgebirge Ober- und Niederösterreichs: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, p. 360–371, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964\\_360\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964_360_A.pdf).

Motschka, K., Slapansky, P., Schubert, G., und Ahl, A., 2008, AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG im Bereich Ulrichsberg (OÖ): Geologische Bundesanstalt (GBA), Wien resreport, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/AeroGeoPh\\_2008\\_Ulrichsberg.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/AeroGeoPh_2008_Ulrichsberg.pdf).

Rantitsch, G., und Linner, M., 2021, Graphitization during high-grade metamorphism in the southern Bohemian Massif: International Journal of Coal Geology, v. 248, p. 103864, doi:10.1016/j.coal.2021.103864.

Regelous, A., und Holzförster, F., 2018, Die drei Schätze im Passauer Land, eine Handreichung für Lehrkräfte und sonstige Multiplikatorinnen und Multiplikatoren aus der Umweltbildung: GEO-Zentrum an der KTB, Windischeschenbach.



Schermann, O., Heinz, H., Thiele, O., Hauswirth, E.K., und Spazek, H., 1979, Prospektion auf Flinzgraphit im Raum Aigen im Mühlkreis - Ulrichsberg: Geologische Bundesanstalt (GBA) resreport, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/Schermann\\_1979\\_Flinzgraphit\\_Aigen.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/Schermann_1979_Flinzgraphit_Aigen.pdf).

Till, A., 1913, Über das Grundgebirge zwischen Passau und Engelhartzell, in Verhandlungen der k.k. Geologischen Reichsanstalt, Geologischen Reichsanstalt, 7 und 8, p. 185–203, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1913\\_185\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1913_185_A.pdf).

Weber, L., Schedl, A., und Lipiarski, P., 2019, IRIS Online (Interaktives Rohstoff Informations System), ein Beispiel für ein weltweit einzigartiges digitales Rohstoff-Informationssystem: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, v. 164, p. 56–66, doi:[10.1007/s00501-018-0810-0](https://doi.org/10.1007/s00501-018-0810-0).

## 5. Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Zusammenarbeit mit Universitäten

- Kurze Projektvorstellung auf der Homepage der Geologischen Bundesanstalt <http://www.geologie.ac.at/index.php?id=225&projectid=75&L=0>
- Masterarbeit von BSc. Armin Preiner am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik der Montanuniversität Leoben, Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Scholger Robert

Die im Sommer 2021 von Kollegen A. Preiner begonnene Masterarbeit am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik an der Montanuniv. Leoben (Betreuer: Prof. Dr. R. Scholger) zum Thema Grafit (Titel: *Geophysikalische Prospektion von Grafitlagerstätten der Bunten Serie im Waldviertel*) wurde im Juli 2022 erfolgreich abgeschlossen.

Die Masterarbeit befasst sich mit dem Vergleich von unterschiedlichen geophysikalischen Prospektionsmethoden (Geoelektrik, SP- und IP-Messungen) für Grafitlagerstätten im Messgebiet Amstall. Dieser Vergleich wird herangezogen, um die ungefähre Mächtigkeit der unterschiedlichen Grafitkörper im Untergrund zu ermitteln. Durch Bohrungen, welche in den 1980er Jahren durchgeführt wurden, kann der Grafitkörper mittels Inversionsmodelle durch das gesamte Messgebiet verfolgt werden. Ein spezielles Augenmerk wird auf die IP-Messungen gelegt, da die genauen Effekte von Grafit auf die induzierte Polarisation in diesem Gebiet noch nicht genau ergründet worden sind. Das untersuchte Mineral zeigt im Allgemeinen laut Literatur eine sehr hohe Variabilität bei dieser Art von Messung. Es werden unterschiedliche Mess- und Auswertemethoden miteinander verglichen, um die bestmöglichen IP - Modellergebnisse zu erstellen. Die Korrelation der unterschiedlichen Methoden soll dabei helfen einen Hinweis zu der Lokalisation des Grafitkörpers zu geben.

Die im Sommer 2021 von Kollegen A. Preiner begonnene Masterarbeit am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik an der Montanuniv. Leoben (Betreuer: Prof. Dr. R. Scholger) zum Thema Grafit (Titel: *Geophysikalische Prospektion von Grafitlagerstätten der Bunten Serie im Waldviertel*) wurde im Juli 2022 erfolgreich abgeschlossen

Als Teil der **Disseminationsstrategie** wurden, neben dem Abschluss einer Masterarbeit an der MUL Leoben, folgende fachspezifische Vorträge bei folgenden Veranstaltungen gehalten:

- **Vortrag beim GreenPeg Online-Seminar am 22. März 2022**

Römer, A.: *Geophysics at the Geological Survey of Austria, Aero- and ground geophysics/ Casestudy Grafite*

- **Near Surface Geoscience, Belgrad, 20. Sept. 2022**

Preiner A., Ottowitz D., Jochum B., Peresson M., Römer A.:  
*A comparison: ERT, IP and SP methods in the exploration of graphite in Lower Austria*



- **Herbstkolloquium der Österr. Geophysikalischen Gesellschaft AGS, GBA, 17. Nov. 2022**

Themenblock: Beiträge der Geophysik zur Rohstoff- und Energiesicherheit in Europa

Adrian Flores-Orozco/TU Wien: *Quantitative exploration of former graphite-quarries through joint inversion of seismic and electrical methods*

Im Anhang befinden sich die Beiträge der einzelnen Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit.

## 6. Vorschau auf die Arbeitsplanung des Projektjahres 2023

Geplant sind für 2023 weitere umfassende Untersuchungen, geologische Geländeaufnahmen und weitere geophysikalische Messungen in ausgewählten Messgebieten im Bereich des Dunkelsteiner Waldes, v.a. im Abschnitt Hengstberg. Dabei wird der Einsatz von geoelektrischen Verfahren (Parameter: elektr. Widerstand, induzierte Polarisation (IP)) zu einer möglichen Tiefenabgrenzung bzw. Charakterisierung grafitführender Bereiche und Messungen des Eigenpotenzials, der erweiterten SP Messungen mittels mise a la masse, etc. weitergeführt. Ferner sind in Kooperation mit der TU Wien seismische Messungen und weitere elektromagnetische Messverfahren (TimeDomain Messungen) geplant. Die geophysikalischen Ergebnisse sollen Grundlagen für gezielte Probenahmen bereitstellen. Die Proben werden an der GBA aufbereitet (Grob- und Feinseparation, Dünn- und Sondenschlifferstellung). Nachfolgend geochemische Untersuchungen in Form von Mikroskopie, XRD und REM, sowie RFA, ICP-MS und EMS für geochemische Informationen zur Charakterisierung der unterschiedlichen Grafittypen im Hinblick auf Spurenelementchemismus unter Berücksichtigung weiterer kritischer Rohstoffelemente (z.B. SEE, V). Mit den weiteren Beprobungen und geochemischen Analysen sollen prospektionsindikative Spurenelemente (insbesondere Bor) weiter untersucht werden. Eine synergetische Auswertung aller Daten, eine Interpretation mit einer Analyse zur ersten Abschätzung des Lagerstättenpotenzials für bestimmte Bereiche sowie eine weitergehende Evaluierung von Methoden bzw. im Folgenden von Explorationsstrategien sind als weitere Schritte geplant.

Geplant sind zusätzlich Vergleichsmessungen von GEOMON 4D IP mit der neu angeschafften Geoelektrikapparatur STING von AGI/USA.

Weiterführende Arbeiten und Analyse der Interpretationsmöglichkeiten mithilfe dieser Ergebnisse in ein 3D GIS Applikation.

Weitere geologische und ev. geophysikalische Untersuchungen ausgewählter Flockengrafit-Vorkommen im Bavarikum. Als Lokalität für geophysikalische Untersuchungen kann Herzogsdorf in Erwägung gezogen werden.

Weiterführung der Kooperation mit Univ. Prof. Adrian Flores-Orozco, von der TU Wien. Dabei sollen weitere SIP-Labormessungen zur Untersuchung möglicher Korrelationen von Grafitgehalten mittels Spektral-IP (SIP) an der TU Wien durchgeführt werden. Des Weiteren sollen Fragen zum Potenzial geochemischer Daten (LA ICP-MS) für einen globalen Herkunftsnachweis von Grafit untersucht werden.

Parallel wird das Projektmanagement (Phase Projektmanagement - AP2023 PM) laufend geführt. Die regelmäßigen Projekttreffen werden fortgesetzt.

## 7. Literatur

HOLZER, H.F., 1964, Die Flinzgraphitvorkommen im außeralpinen Grundgebirge Ober- und Niederösterreichs: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, p. 360–371, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964\\_360\\_A.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/VH1964_360_A.pdf).

FUCHS, G. & FUCHS, W., 1986: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Blatt 36 Ottenschlag. - Geol. B.-A., Wien, 1 Bl., Wien.

LINNER, M., 2007, Das Bavarikum – eine tektonische Einheit im südwestlichen Moldanubikum (Böhmische Masse);, p. 173–176, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/ATA\\_2007\\_173.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/ATA_2007_173.pdf).

LINNER, M., BAYER, I., SCHUSTER, R., UND FUCHS, G., 2013, Tektonische Gliederung der südlichen Böhmischen Masse abgeleitet aus dem Gesamtdatensatz der Geologischen Bundesanstalt;., p. 106–108, [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/ATA\\_2013\\_106.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/ATA_2013_106.pdf).

LIPIARSKI, P., WEBER, L., SCHEDL, A., HEGER, H., UND REISCHER, J., 2019, IRIS Online - Interaktives Rohstoffinformationssystem für Österreich;., p. 106–108.

RANTITSCH, G., UND LINNER, M., 2021, Graphitization during high-grade metamorphism in the southern Bohemian Massif: International Journal of Coal Geology, v. 248, p. 103864, doi: [10.1016/j.coal.2021.103864](https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103864).

ROETZEL, R. & FUCHS, G., 2001: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Blatt 8 Geras. - Geol. B.-A., Wien, 1 Bl., Wien.

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

SCHNABEL, W., KRENMAYR, H.-G. & LINNER, M., 2012: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Blatt 55 Obergrafendorf. - Geol. B.-A., Wien, 1 Bl., Wien.

SIMANDL, G.J., PARADIS, S., UND AKAM, C., 2015, Graphite deposit types, their origin, and economic significance (G. J. Simandl & M. Neetz, Hrsg.);, p. 163–171, [http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS\\_P2015-03-19\\_Simandl.pdf](http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS_P2015-03-19_Simandl.pdf)

THIELE, O.; JENCEK, V. & MATEJOVSKA, O., 1987: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Blatt 7 Groß-Siegharts. - Geol. B.-A., Wien, 1 Bl., Wien.

WEBER, L., SCHEDL, A., UND LIPIARSKI, P., 2019, IRIS Online (Interaktives Rohstoff Informations System), ein Beispiel für ein weltweit einzigartiges digitales Rohstoff-Informationssystem: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, v. 164, p. 56–66, doi:[10.1007/s00501-018-0810-0](https://doi.org/10.1007/s00501-018-0810-0).

Für weiterführende Literatur wird auf den Projektantrag verwiesen.

## 8. Anhang

### Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Zusammenarbeit mit Universitäten

#### Abstracts

- Near Surface Geoscience, Belgrad, Sept. 2022

Preiner A., Ottowitz D., Jochum B., Peresson M., Römer A.:

*A comparison: ERT, IP and SP methods in the exploration of graphite in the Lower Austria*

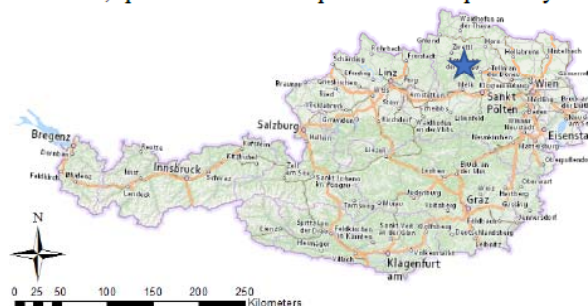
# EAGE



#### **A comparison: ERT, IP and SP methods in the Exploration of Graphite in the Lower Austria**

##### **Introduction**

The demand for graphite is increasing every year due to the growing demand for electromobility and similar applications. This mineral is highly electrically conductive and can be self-polarized. Austria was one of the world's largest exporters of graphite in the 20th century. However, as deposits diminished and exploration methods became more complicated, much of the production ceased in the late 1980s. The same happened in the recently investigated area in Amstall in Lower Austria (Pichlhöfer R., 1985). Drilling was carried out in the area in the early 1980s and subsequently encountered a graphite horizon. An attempt was made to correlate these boreholes with a current geoelectrical survey. The methods used for the recent investigation were ERT (Electric Resistivity Tomography), IP (Induced Polarization) and SP (Self or Spontaneous Potential). The profiles were all attempted to be laid out in such a way as to hit the former wells. This caused some problems, because the boreholes had to be digitized and the position in the forest was very difficult to establish by GNSS (Global Navigation Satellite System). The main task of this project was to find out whether there are still deposits worth mining and how extensive those deposits are. In addition, special attention was paid to the comparability of IP and ERT.



**Figure 1** Location of the measurement area (Amstall), marked with a blue star (Ref: Geoland Basemap).

##### **SP measurement method**

At first, the survey area was investigated by means of SP measurements before the survey was advanced by means of ERT and IP. The SP measurement, where the voltage between two non-polarizable electrodes is recorded, represents a passive geophysical method (no injection of electric current). The reference electrode is removed so far from the measurement area that the graphite no longer influences it. It is essential to use non-polarizable electrodes for the measurements in order to exclude self-polarization by the measuring device. The measurements were made with a fixed base method because this does not lead to an error summation. The measuring points were located by GNSS and interpolated by gridding (Kriging) in the Surfer (Golden Software), so that a SP map (Fig. 2) with positive and negative anomalies has been produced. Based on this map, the underlying negative anomalies could be used to infer the subsurface graphite deposits. The SP map shown in Figure 2 was used as the basis for planning IP and ERT measurements in order to reach the graphite body in the best possible way.

- **Herbstkolloquium der Österr. Geophysikalischen Gesellschaft AGS, GBA, Nov. 2022**

Themenblock: Beiträge der Geophysik zur Rohstoff- und Energiesicherheit in Europa

Adrian Flores-Orozco/TU Wien: *Quantitative exploration of former graphite-quarries through joint inversion of seismic and electrical methods*

Einladung zum Herbstkolloquium der  
Österreichischen Geophysikalischen Gesellschaft  
AGS

Donnerstag, 17. 11. 2022 | 14:00 – 17:30

Geologische Bundesanstalt  
Neulinggasse 38 | 1030 Wien | Vortragssaal  
und online via ZOOM

Das heurige Herbstkolloquium widmet sich dem  
Themenblock:

**Beiträge der Geophysik zur Rohstoff- und  
Energiesicherheit in Europa**

Wir freuen uns wieder ein interessantes und abwechslungsreiches Vortragsprogramm präsentieren zu können. Die ersten drei Vortragenden des ersten Blocks geben einen Überblick über die verschiedenen Fragestellungen, die Fachvorträge im zweiten Block beleuchten einzelne Aspekte zum Themenkomplex.

Wir freuen uns natürlich Sie persönlich begrüßen zu dürfen, bieten aber auch die Möglichkeit einer Onlineteilnahme an.

Zur besseren Planung und Organisation bitten wir um  
Anmeldung per folgendem link:  
<https://form.jotform.com/212704185449054>

Link zur Online-Teilnahme via ZOOM  
<https://eu01web.zoom.us/j/63919402182?pwd=RW1DMlJnR1EwL1hETDhWWFRmRlVxdz09>  
Kenncode: 414893

weitere Informationen zur Teilnahme finden Sie auf der  
nächsten Seite

Programm:

**BLOCK 1: Impulsvorträge**

14:15	Begrüßung	Robert Supper	Präsident der AGS
14:20	Energiesicherheit	Eva-Maria Pusch	OMV, Head of Market Competitive Intelligence Vorstandsmitglied des World Energy Council Austria
14:35	Rohstoffsicherheit	Leopold Weber	Vice Chairman International Organizing Committee World Mining Congress
14:50	Netzicherheit	Kurt Misak	Austrian Power Grid Head of Security of Supply and Operational Energy Economics

**Fragen und Antworten, Podiumsdiskussion**

~~ Kaffeepause ~~

**BLOCK 2: Fachvorträge**

15:20	Aktuelle Situation in Europa zu Carbon Capture and Storage (CCS)	Jakob Kulich	GBA
15:40	Gold Hydrogen as a clean energy source for the energy transition (en)	Gabor Tari	OMV
16:00	Baurohstoffforschung in Österreich mit Fokus auf Tonminerale	Julia Rabeder	GBA
16:20	Drohnen-Aerogeophysik für die Bau- und Energierohstoffexploration, Erfahrungen und Chancen.	Arnulf Schiller	GBA
16:40	Geothermal Information Platform OGRE (en via ZOOM)	Anna-Maria Nador	SZTFH, HU
17:00	Magnetik und Space Weather als Basis für die Netzicherheit	Roman Leonhardt	ZAMG
17:20	Quantitative exploration of former graphite-quarries through joint inversion of seismic and electrical methods (en)	Adrian Flores-Orozco	TU Wien
ab 17:45	Ausklang mit kleinem Buffet		



**Potenzialabschätzung ausgewählter Grafitvorkommen/-lagerstätten in der Böhmisches  
Masse (PotGRAF)**

**Charakterisierung der Graphitlagerstätte Hengstberg mittels  
Spektraler Induzierter Polarisation**

Projektbericht 2022

Clemens Moser<sup>1</sup> und Adrián Flores-Orozco<sup>1</sup>

1) Forschungsbereich Geophysik, Department für Geodäsie und Geoinformation, TU Wien, Wiedner Hauptstraße 8-10, 1040-Wien, Österreich.

### **Kurzfassung**

Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Graphit und der komplexen elektrischen Leitfähigkeit, eignen sich geoelektrische Methoden zur Prospektion von Graphitlagerstätten. Nachdem der Fokus des Projektes PotGRAF im Jahr 2021 darauf lag ein tieferes Verständnis zwischen Graphit, seinen Eigenschaften und den elektrischen Eigenschaften auf Laborebene zu erlangen, wurde im Jahr 2022 versucht das Potential der Induzierten Polarisation (IP) an der Graphitlagerstätte Hengstberg zu testen, um die räumliche Verbreitung von Graphit zu untersuchen. Dazu wurden IP-Messungen an insgesamt 10 Profilen, begleitet von Messungen der seismischen Refraktionstomographie (SRT), durchgeführt. Die Ergebnisse geben die Möglichkeit zwischen graphitreichen und graphitarmsen Bereichen im Untergrund zu unterscheiden. Das Teams des Forschungsbereichs Geophysik an der TU Wien (TUW) hat sich 2022 hauptsächlich mit der Datenaufnahme sowie der voneinander unabhängigen Prozessierung der IP- und SRT-Daten beschäftigt.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Feldmessungen.....	4
2.1. Spektrale Induzierte Polarisation.....	5
2.2. Seismische Refraktionstomographie .....	7
3. Ergebnisse und Interpretation .....	8
3.1. P2: SIP-Ergebnisse .....	8
3.2. P3-4: Vergleich von SIP- und SRT-Ergebnissen .....	9
4. Zusammenfassung und Ausblick.....	10
Literaturverzeichnis.....	12



## 1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes PotGRAF wurde versucht Graphitlagerstätten mithilfe geophysikalischer Methoden, besonders der Induzierten Polarisation (IP), zu charakterisieren (Flores-Orozco et al. 2021a). Eine Vielzahl an Laboruntersuchungen zeigen, dass sich die Methode der Induzierten Polarisation besonders gut zur Prospektion von Graphitlagerstätten eignet, da Graphit leitfähig ist und stark polarisiert (Revil et al. 2017 und Wu & Peruzzo 2020). Als elektrischer Leiter ist die hohe Leitfähigkeit von Graphit auf dessen Matrixleitfähigkeit zurückzuführen, während die starke Polarisation durch die Polarisation freier Ladungsträger hervorgerufen wird (Bücker et al. 2018; 2019). Aufgrund der hohen Leitfähigkeit in graphitreichen Bereichen und der damit verbundenen starken Kontamination der Daten durch induzierte und kapazitive Kabel-Boden-Effekte (z.B. Flores Orozco et al. 2018; 2021b), konnte das Potential von IP-Messungen bisher jedoch erst bei einigen wenigen Feldmessungen genutzt werden (z.B. Abdulsamad et al. 2019 und Flores-Orozco et al. 2021a).

Die IP-Methode ist eine Erweiterung der Elektrischen Widerstandstomographie (ERT), mithilfe derer die elektrische Leitfähigkeit sowie die kapazitiven Eigenschaften des Untergrundes ermittelt werden können. Dazu wird an zwei Elektroden Strom eingespeist, während an zwei weiteren Elektroden das elektrische Potential gemessen wird (Ward 1980). Von Spektraler Induzierter Polarisation (SIP) spricht man, sobald die Messung im Frequenzbereich unter Injektion von Wechselstrom bei einer Vielzahl an Frequenzen durchgeführt wird. Als Messgröße erhält man die komplexe elektrische Impedanz, aufgespalten in eine Magnitude  $|Z^*|$  und eine Phasenverschiebung  $\phi$ . Durch die Inversion einer großen Anzahl gemessener Daten kann die Verteilung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund bestimmt werden, die entweder als Magnitude  $|\sigma^*|$  und Phase  $\phi$  oder als Realteil  $\sigma'$  und Imaginärteil  $\sigma''$  dargestellt werden kann (Binley & Slater 2020).

Nachdem im vergangenen Jahr (2021) der Fokus des Projektes PotGRAF auf dem detaillierten Verständnis des Zusammenhanges zwischen Graphit, dessen Eigenschaften und der komplexen elektrischen Leitfähigkeit lag (Katona et al. 2021), galt es im Jahr 2022 die Ergebnisse der Laboruntersuchungen ins Feld zu übertragen. Dazu wurden von April bis Oktober 2022 geoelektrische (SIP) Messungen am Hengstberg, einer alten Graphitlagerstätte, durchgeführt, um die räumliche Verbreitung von Graphit zu bestimmen. Die Lagerstätte liegt in

Niederösterreich, nördlich von Loosdorf im Mostviertel, und umfasst eine bewaldete Erhöhung (442 m) von rund 8 ha. Um die SIP-Ergebnisse zu validieren, wurden zudem elektromagnetische (Transiente Elektromagnetik, TEM) und seismische (Seismische Refraktionstomographie, SRT) Messungen durchgeführt, die die Unterstützung von Matthias Steiner (SRT), Lukas Aigner und Anna Hettegger (Elektromagnetik) aus dem Forschungsbereich Geophysik der TU Wien erforderten.

Zudem wurde das Projekt im Jahr 2022 von zwei Bachelorarbeiten begleitet. Franziska Öhlinger beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen den SIP-Messungen und der räumlichen Graphitverbreitung, mit dem Fokus auf der elektrischen Leitfähigkeit. Der Fokus von Zsombor Sütös Bachelorarbeit liegt hingegen auf den seismischen Messungen, die einen geologischen Überblick über den Hengstberg geben sollen und als Validierung für die SIP-Ergebnisse dienen sollen.

## 2. Feldmessungen

Im Rahmen des Projektes PotGRAF wurden von April bis Oktober 2022 geophysikalische Messungen am Hengstberg durchgeführt. Die erste Feldkampagne fand am 29.04.2022 statt, bei der an einigen Stellen im Untersuchungsgebiet mit der Transienten Elektromagnetik (TEM) sowie der Elektromagnetischen Methode bei niedriger Induktionszahl (EMI) gemessen wurde. Zudem wurde an einem Profil (P8) (Südseite des Hengstberges) mit der SIP-Methode gemessen (siehe Abb. 1). Um einen räumlichen Überblick über die Graphitverteilung am Hengstberg zu erlangen, wurde, auf Basis der Ergebnisse der ersten Feldkampagne, beschlossen das gesamte Gebiet des Hengstberges mit einem möglichst dichten Netz an SIP-Profilen abzudecken und die Ergebnisse mit zusätzlichen SRT-Messungen zu validieren. Die zweite Feldkampagne fand am 19.05.2022 statt, bei der an den Profilen 1, 2 und 7 (Nordseite des Hengstberges) SIP-Messungen durchgeführt worden sind. Am Tag darauf wurden im Rahmen der Feldübung Angewandte Geophysik für Bachelorstudierende der Umweltingenieurwissenschaften der TU Wien an den Profilen 3, 4, 5 und 6 (für die Verbesserung der Dichte im Zentrum des Hengstberges) mit der SIP-Methode und an den Profilen 1, 2, 3, 4 und 5 mit der SRT-Methode gemessen. Zwei weitere Feldkampagnen fanden am 30.06.2022, bei der an Profil P9 SIP gemessen wurde, und am 07.10.2022 statt, bei der an Profil P10 mit SIP und an Profil P8 mit SRT gemessen wurde.

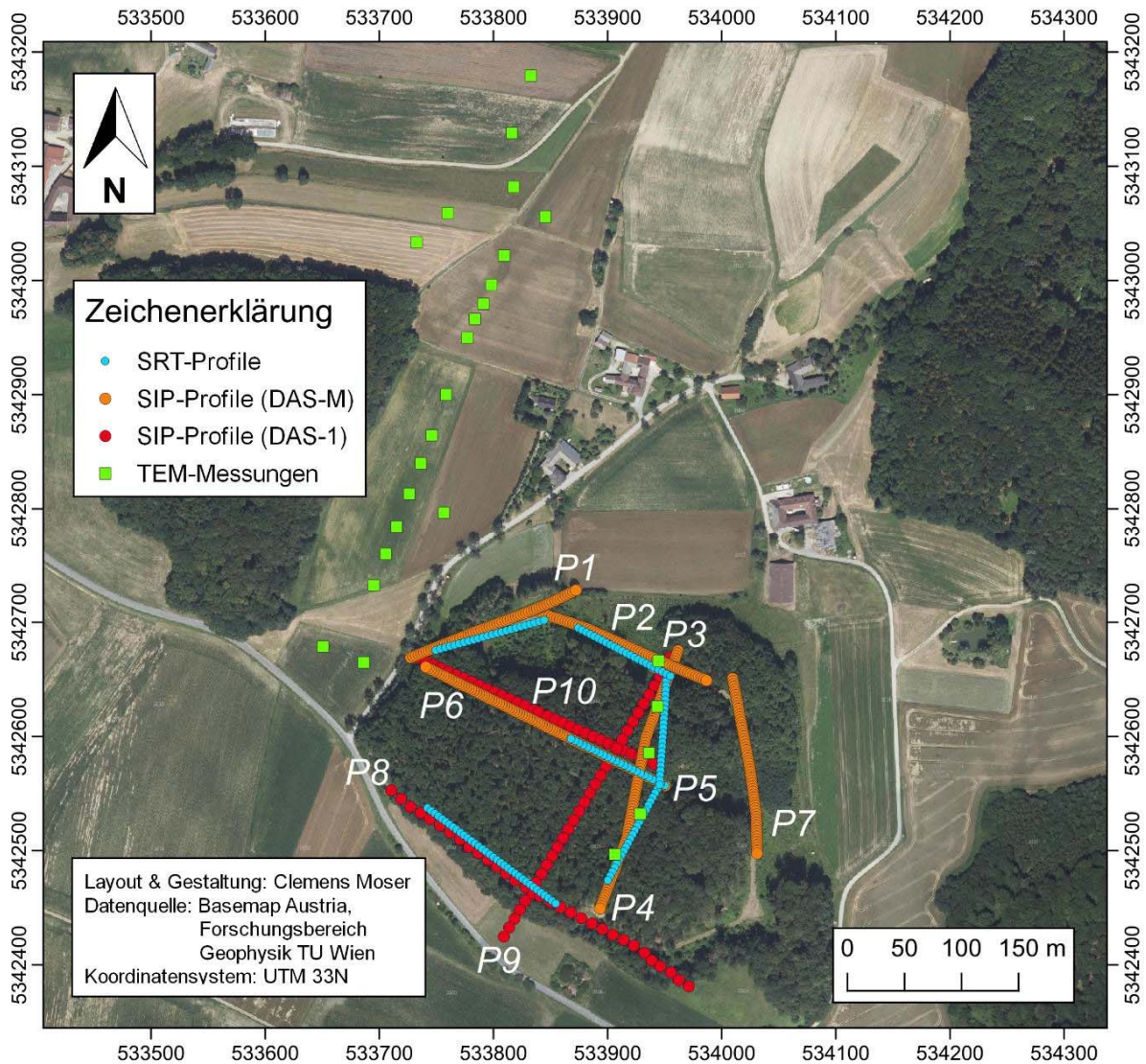


Abb. 1: Mittels SIP und SRT gemessene Profile am Hengstberg. Die Elektrodenpositionen der DAS-M-Profile wurden mit orangenen Punkten markiert, während die Elektrodenpositionen der DAS-1-Messungen rot gefärbt sind. Die Geophonpositionen der SRT-Messungen wurden als blaue Punkte dargestellt, die Positionen der TEM-Messungen als grüne Quadrate.

## 2.1. Spektrale Induzierte Polarisation

Von den 10 gemessenen SIP-Profilen (siehe Abb. 1) wurden sieben Profile (1 bis 7) mit der DAS-M (von Multi-Phase Technologies) (siehe Abb. 2b) durchgeführt, während an den restlichen Profilen mittels DAS-1 (von Multi-Phase Technologies) gemessen wurde (Details siehe Tab. 1). An den DAS-M-Profilen wurden je 64 Elektroden im Abstand von 2.5 m

verwendet. Die Profile 3 und 4 sowie 5 und 6 bilden je ein Roll-Along-Profil mit insgesamt 96 Elektroden und einer Überlappung von 32 Elektroden. Um die Datenqualität der IP-Messungen zu verbessern, wurden für die Stromeinspeisung und die Potentialmessung physisch voneinander getrennte Kabel verwendet, die in abwechselnder Reihenfolge mit den Elektroden verbunden worden sind (siehe Abb. 2a). Bei den Profilen 8, 9 und 10 (DAS-1-Profile) wurden anstelle getrennter Kabel Koaxialkabel mit 32 Elektroden in einem Abstand von je 10 m (Profile 8 und 9) bzw. 7.5 m (Profil 10) verwendet. Durch die Verwendung von Koaxialkabeln können elektromagnetische Kopplungseffekte sowie der Effekt des *Cross-Talkings* zwischen den Kabeln (u.a. Zimmermann et al. 2008, 2019; Flores Orozco et al. 2021 und Maierhofer et al. 2022) vermieden werden. Sowohl bei den Messungen mit der DAS-1 als auch mit der DAS-M wurden Dipol-Dipol-Konfigurationen (DD) angewandt, die ermöglichen, dass keine Potentialmessungen an jenen Elektroden durchgeführt werden, die unmittelbar zuvor zur Stromeinspeisung verwendet worden sind. Bei den DAS-1 Messungen wurden zusätzlich Multiple-Gradient-Konfigurationen (MG) verwendet, um die Signalstärke zu erhöhen. Für die SIP-Messungen wurde ein Frequenzbereich von 0.1-240 Hz ausgewählt. Die Messung niedrigerer Frequenzen ( $< 0.1$  Hz) würde zu lange Messzeiten erfordern, Daten höherer Frequenzen ( $> 240$  Hz) sind gewöhnlich aufgrund elektromagnetischer Kopplungseffekte zu stark verrauscht. Die Positionen der Anfangs- und Endelektroden wurden jeweils mittels GPS eingemessen, die Positionen der Elektroden dazwischen wurden interpoliert, ebenso die Positionen der Geophone, die bei den seismischen Messungen verwendet worden sind.



Abb. 2: Fotos der SIP-Messung an Profil 1. (a) Physisch voneinander getrennte Multicore-Kabel wurden abwechselnd mit den Elektroden verbunden. (b) Eine der 6 Boxen, aus denen das Messgerät DAS-M besteht.

Profil	Messdatum	Elektrodenanzahl	Elektrodenabstand	Messgerät
P1	19.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P2	19.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P3	20.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P4	20.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P5	20.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P6	20.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P7	19.05.2022	64	2.5 m	DAS-M
P8	29.04.2022	32	10 m	DAS-1
P9	30.06.2022	32	10 m	DAS-1
P10	07.10.2022	32	7.5 m	DAS-1

Tab. 1: Technische Details zu den einzelnen SIP-Messungen.

## 2.2. Seismische Refraktionstomographie

Die SRT-Messungen wurden mit einem *Summit data acquisition system* (von DMT) mit einer Aufnahmelänge von 1024 ms, einer Abtastrate von 0.25 ms, einem Pre-Trigger von 20 ms und einem Geophonabstand von 4 m durchgeführt (siehe auch Tab. 2). Bei drei der sechs mittels SRT gemessenen Profile (1, 2 und 5) wurden 24 Geophone verwendet, während die Profile 3 und 4 zu einem Profil mit 48 Geophonen zusammengelegt wurden. Bei Profil 9 wurden zwei Roll-Along-Segmente mit je 24 Geophonen und einer Überlappung von 50% verwendet. Seismische Wellen wurden an den Geophonpositionen sowie in der Mitte zwischen zwei Geophonen mithilfe eines 7.5 kg Vorschlaghammers erzeugt, abgesehen von Profil 5, bei dem nur an den Geophonen Schüsse gesetzt worden sind. Mit dem Hammer wurde an jeder Position viermal auf eine Schlagplatte (3.5 cm Dicke) geschlagen, um ein adäquates Signal-Rausch-Verhältnis zu gewährleisten.

Profil	Messdatum	Geophone	Geophonabstand	Messgerät
P1	20.05.2022	24	4 m	<i>Summit data acquisition system</i>
P2	20.05.2022	24	4 m	<i>Summit data acquisition system</i>
P3-4	20.05.2022	48	4 m	<i>Summit data acquisition system</i>
P5	20.05.2022	24	4 m	<i>Summit data acquisition system</i>
P9	07.10.2022	36	4 m	<i>Summit data acquisition system</i>

Tab. 2: Technische Details zu den einzelnen SRT-Messungen.

### 3. Ergebnisse und Interpretation

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse dreier für den Hengstberg repräsentative Profile gezeigt. Zuerst werden die Parameter der komplexen elektrischen Leitfähigkeit anhand von Profil 2 und Profil 8 miteinander verglichen. Anschließend werden die SIP- und SRT-Ergebnisse an Profil 8 präsentiert und zu einer gemeinsamen Interpretation verwendet.

Von der TUW wurden SIP-Daten im Frequenzbereich von 0.1-250 Hz aufgenommen, in Abb. 4 werden jedoch nur die Ergebnisse der niedrigsten Frequenz präsentiert, um den Umfang des vorliegenden Berichts nicht zu sprengen.

#### 3.1. P2: SIP-Ergebnisse

Abb. 3 zeigt die Verteilung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit entlang Profil 2 im Nordteil des Hengstberges. An diesem Profil sind vier Stellen mit hohen Werten der Parameter der komplexen elektrischen Leitfähigkeit zu erkennen. Die hohe elektrische Leitfähigkeit sowie die hohe elektrische Polarisierung in jenen Bereichen ist auf einen hohen Graphitanteil zurückzuführen. Bereiche mit geringem Graphitgehalt entsprechen hingegen niedrigen Leitfähigkeiten und schwacher Polarisierung.

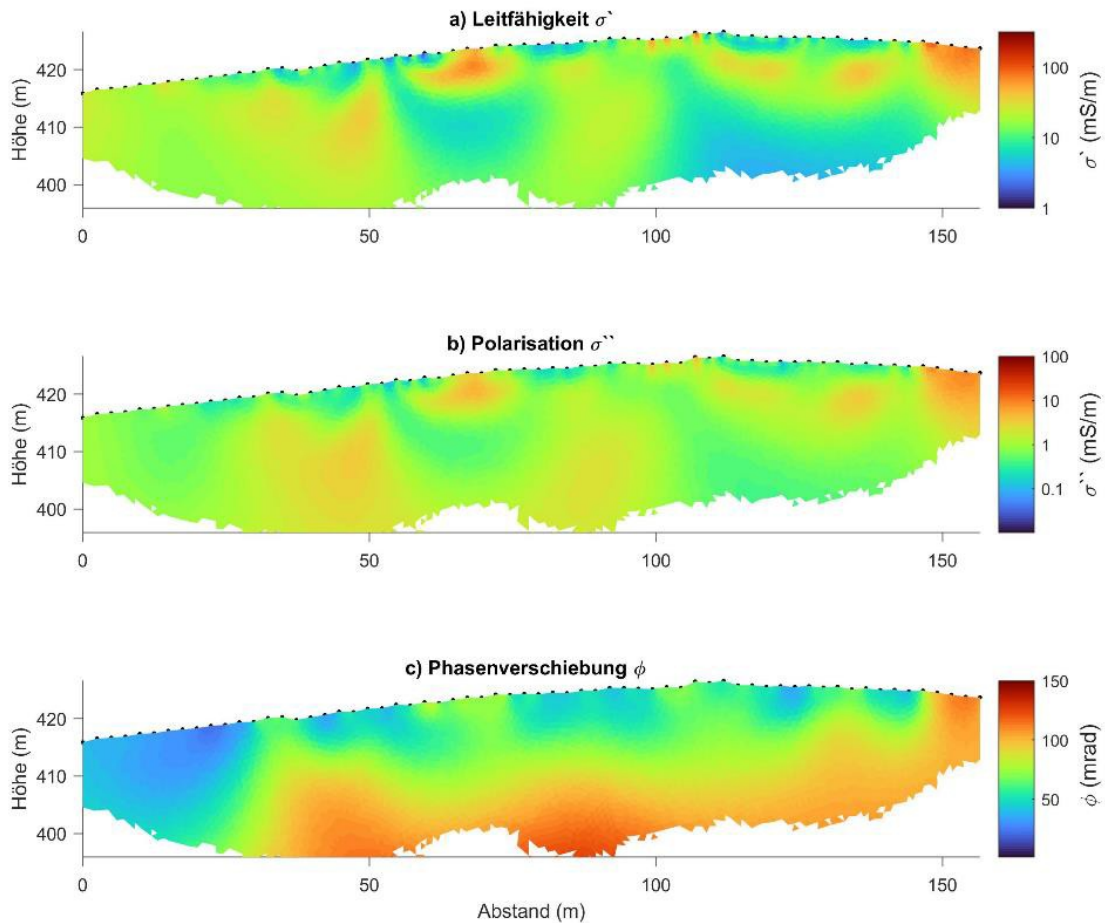


Abb. 3: Die komplexe elektrische Leitfähigkeit in Form ihres (a) Real- ( $\sigma'$ , Leitfähigkeit) und (b) Imaginärteils ( $\sigma''$ , Polarisation) sowie (c) der Phasenverschiebung  $\phi$  entlang Profil 2 von West nach Ost. Die Elektrodenpositionen sind durch schwarze Punkte markiert.

### 3.2. P3-4: Vergleich von SIP- und SRT-Ergebnissen

In Abb. 4 sind die Ergebnisse der komplexen Leitfähigkeit der DD-Daten (Zeile 1), der MG-Daten (Zeile 2) bei 0.125 Hz sowie die Ergebnisse der SRT-Messungen (Zeile 3) entlang Profil 8 im Südteil des Hengstberges dargestellt. Das mittels SIP gemessene Profil erstreckt sich über mehr als 300 m, während die SRT-Messung einen kleineren Bereich von rund 170 m abdeckt (markiert als schwarzes Rechteck innerhalb der elektrischen Tomogramme). Gewählt wurde Profil 8, da an diesem Profil bereits Messungen mit einem vor kurzem von der Geologischen

Bundesanstalt (GBA) entwickelten Instruments, das IP-Messungen im Zeitbereich unter dem *full-wave* Modus ermöglicht, durchgeführt worden sind.

Gut zu erkennen ist eine leitfähige ( $\sigma' > 80$  mS/m) und stark polarisierende ( $\sigma'' > 1$  mS/m) Anomalie im Zentrum des Profils, die sich von der Oberfläche bis in große Tiefen ( $> 50$  m) erstreckt und dabei in ihrer Breite zunimmt. An derselben Stelle ist am SRT-Tomogramm eine Erhöhung der seismischen P-Wellengeschwindigkeit ( $v_p > 3500$  m/s) zu beobachten. Die gemeinsame Interpretation aus der komplexen elektrischen Leitfähigkeit und der P-Wellengeschwindigkeit lässt darauf schließen, dass jener Bereich, besonders mit zunehmender Tiefe, stark mit Spalten und Brüchen durchzogen ist und die Formation von Graphit ermöglicht.

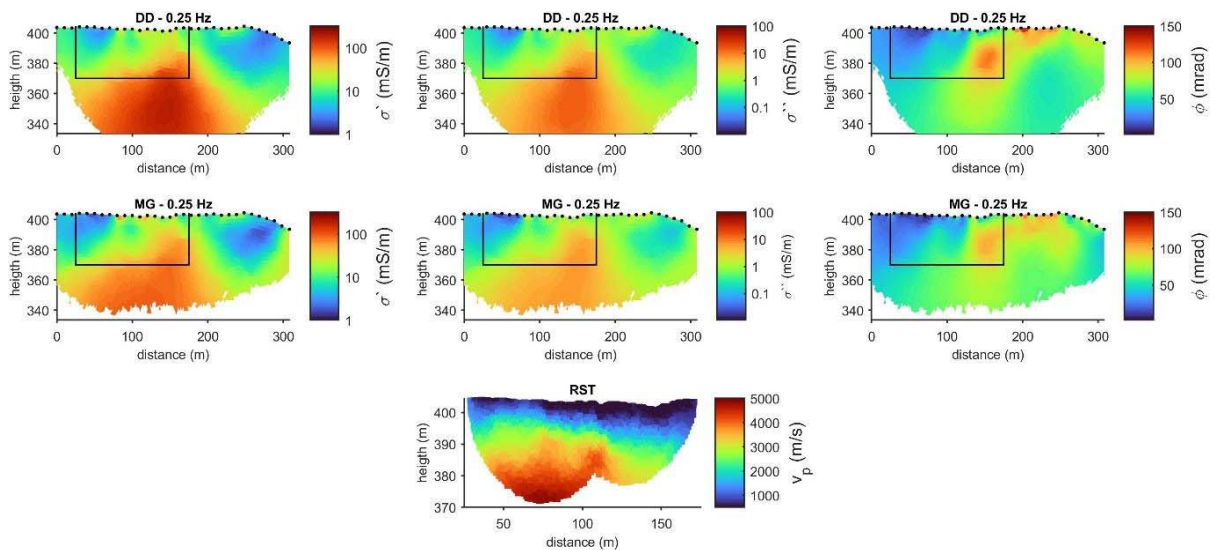


Abb. 4: IP- und SRT-Ergebnisse an Profil 3-4. Zeile 1 zeigt den Realteil, den Imaginärteil sowie die Phase der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für die DD-Konfiguration, Zeile 2 die gleichen Parameter für die MG-Konfiguration. In Zeile 3 wird die Verteilung der P-Wellengeschwindigkeit als Ergebnis der SRT-Messung dargestellt. Der von der SRT-Messung abgedeckte Bereich ist in den Tomogrammen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit mittels schwarzen Rechtecks markiert. Elektrodenpositionen sind als schwarze Punkte dargestellt.



Zur Unterscheidung zwischen graphitreichen und graphitarmen Zonen eignet sich, im Vergleich zum Real- und Imaginärteil, besser die Phase (Spalte 3 der Zeile 1 und 2), die dem Verhältnis aus Real- und Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit entspricht. Entlang Profil 8 können hohe Phasen ( $\phi > 100$  mrad) sowohl im DD- als auch im MG-Ergebnis vom Zentrum bis in den östlichen Teil in Oberflächennähe beobachtet werden, die auf graphitreiche Zonen hinweisen. Graphitarmer Bereiche mit niedrigen Phasen ( $\phi < 50$  mrad) befinden sich hingegen im westlichen Teil des Profils.

Wie zuvor beschrieben scheinen zwar die seismischen und elektrischen Parameter konsistente Objekte zu beschreiben, jedoch wird die Verteilung jeweiliger Parameter im Untergrund von unterschiedlichen geologischen Eigenschaften bestimmt. Während die seismischen Geschwindigkeiten hauptsächlich mit der Dichte (bzw. der Porosität) in Zusammenhang stehen, werden die Parameter der komplexen elektrischen Leitfähigkeit vom Graphitgehalt bestimmt. Demzufolge wird in einem nächsten Schritt ein geologisches Modell erstellt, das die Geometrie der Graphitlagerstätte sowie eine Abschätzung des Graphitgehalts am Hengstberg inkludieren soll. Die gemeinsame Analyse von seismischen und elektrischen Daten soll zu einer verbesserten Interpretation der elektrischen Ergebnisse beitragen, besonders in Hinblick auf die Geometrie des Grundgesteins (verbunden mit hohen seismischen Geschwindigkeiten). Denn in diesem Bereich können bei der Inversion von IP-Daten Artefakte hoher Leitfähigkeit auftreten, die während der Inversion von Daten hoch leitfähiger oberflächennaher Materialien (Graphit) entstehen können.

In einem weiteren Schritt ist geplant auch die Inversionsergebnisse der TEM-Messungen in die Analysen zu inkludieren. Die TEM-Daten sind jedoch bisher noch nicht final ausgewertet, da die Daten große Signalumpolungen aufgrund der starken IP-Signaturen beinhalten. Um die Daten trotzdem auswerten zu können, wird momentan an der TUW ein Inversionsalgorithmus entwickelt, der die Polarisierungseffekte in TEM-Daten berücksichtigen soll.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

An der Graphitlagerstätte Hengstberg wurden im Jahr 2022 in Summe an 10 Profilen SIP-Messungen, begleitet von SRT-Messungen, durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich

SIP-Messungen zur Beschreibung der Verbreitung von Graphit im Untergrund, besonders aufgrund des Zusammenhanges zwischen der Phase der komplexen elektrischen Leitfähigkeit und Graphit, gut eignen. Zudem scheint die Interpretation von SRT-Daten nicht nur bei der Suche nach graphitreichen Bereichen zu helfen, sondern die gemeinsame Interpretation von IP- und SRT-Ergebnissen lässt die Detektion spaltenreicher Bereiche zu, in denen es zur Bildung von Graphit kommen kann. Um an Graphitlagerstätten die gemeinsame Interpretation von IP- und SRT-Ergebnissen zu verbessern, könnten zukünftig IP- und SRT-Daten gemeinsam invertiert werden (z.B. nach dem Ansatz von Steiner et al. 2022) oder zumindest Ergebnisse der SRT-Inversion als strukturgebende Elemente in die IP-Inversion inkludiert werden.

## 9. Literaturverzeichnis

Abdulsamad F. R. (2019): Complex Conductivity of Graphitic Schists and Sandstones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 8223–8249.

Binley A. & Slater L. (2020): *Resistivity and Induced Polarization: Theory and Applications to the Near-surface Earth*. Cambridge University Press.

Bücker M., Flores Orozco A. & Kemna A. (2018): Electrochemical polarization around metallic particles – Part 1: The role of diffuse-layer and volume-diffusion relaxation. *Geophysics*, 83(4), E203–E217.

Bücker M., Undorf S., Flores Orozco A. & Kemna A. (2019): Electrochemical polarization around metallic particles – Part 2: The role of diffuse surface charge. *Geophysics*, 84(2), E57–E73.

Flores Orozco A., Aigner L., & Gallistl J. (2021b): Investigation of cable effects in spectral induced polarization imaging at the field scale using multicore and coaxial cables. *Geophysics*, 86(1), E59–E75.

Flores Orozco A., Bücker M., Steiner M. & Malet J. P. (2018): Complex-conductivity imaging for the understanding of landslide architecture. *Engineering geology*, 243, 241–252.

Flores-Orozco A., Katona T., Aigner L., Steiner M. & Römer A. (2021a): Anwendung der Induzierten Polarisation in der Graphitexploration. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 166(4), 201–205.

Katona T., Neumayr C., Aigner L., Steiner M., Römer A. & Flores Orozco A. (2021): Laboratory and field spectral induced polarization measurements for characterization of graphite ores. In *NSG2021 1st Conference on Hydrogeophysics (Vol. 2021, No. 1, pp. 1–5)*. European Association of Geoscientists & Engineers.

Maierhofer T., Hauck C., Hilbich C., Kemna A. & Flores-Orozco A. (2022): Spectral induced polarization imaging to investigate an ice-rich mountain permafrost site in Switzerland. *The Cryosphere*, 16, 1903–1925.

Revil A. M., Mao D., Shao Z., Sleevi M. F. & Wang D. (2017): Induced polarization response of porous media with metallic particles – Part 6: The case of metals and semimetals. *Geophysics*, 82(2), E97–E110.

Steiner M., T. Katona, J. Fellner & Flores Orozco A. (2022): Quantitative water content estimation in landfills through joint inversion of seismic refraction and electrical resistivity data considering surface conduction. *Waste Management*, 149, 21–32.

Ward S. H. (1990): Resistivity and Induced Polarization Methods, in Ward, S. H., Hrsg., *Geotechnical and environmental geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, 147–189.

Wu Y. & Peruzzo L. (2020): Effects of salinity and pH on the spectral induced polarization signals of graphite particles. *Geophysical Journal International*, 221(3), 1532–1541.

Zimmermann E., Kemna A., Berwix J., Glaas W. & Vereecken H. (2008). EIT measurement system with high phase accuracy for the imaging of spectral induced polarization properties of soils and sediments. *Measurement Science and Technology*, 19(9), 094010.

Zimmermann E., Huisman J. A., Mester A. & van Waasen S. (2019). Correction of phase errors due to leakage currents in wideband EIT field measurements on soil and sediments. *Measurement Science and Technology*, 30(8), 084002.

## UELG-83 Potgraf

### Bericht zum Auftrag P061-06-2022

G. Rantitsch, V. Dietrich, F. Melcher, Montanuniversität Leoben, November 2022

#### 1. Aufgabenstellung

Rantitsch und Linner (2021) konnten durch die Anwendung der Ramanspektroskopie an Grafitproben der Böhmisches Masse zeigen, dass die Exhumation von Granulitkörpern und die Hochtemperatur- Metamorphose des Bavarikums den Grafitisierungsgrad wesentlich beeinflusst. Die im Zuge dieser Arbeit etablierte Methode wurde an neu aufgesammelten Proben angewandt, um die Arbeiten des UELG-83 Potgraf Projekts der Geologischen Bundesanstalt zu unterstützen. Insbesondere soll die interne mikro-strukturelle Variabilität gut aufgeschlossener Lagerstätten des Grafitbezirks Waldviertel, sowie die Erkundung der Bildungsbedingungen der Grafite im Bavarikum der Böhmisches Masse bewertet werden. Weiters sollen einzelne Graphit-Proben hinsichtlich der Kristallmorphologie beschrieben werden.

#### 2. Proben

Grafitproben (Tab. 1) wurden durch G. Schuberth-Hlavač (11G11-23) und M. Linner (ML-Graf, ML37) zur Verfügung gestellt. Eigene Proben (GR22) wurden im Zuge einer gemeinsamen Exkursion im Raum Hengstberg (5.4.2022) genommen, bzw. vom Grafitbergbau Kropfmühl (Probe Kropfmühl) zur Verfügung gestellt. Die Proben verteilen sich auf die Lagerstätten Weinberg und Hengstberg des Moldanubikums und auf das Bavarikum in den Vorkommen um Herzogsdorf und Kropfmühl (Abb. 1). Die Lagerstätte von Hengstberg befindet sich im Nahbereich des Granulitdoms des Dunkelsteiner Walds (Abb. 1) und wurde dadurch wesentlich stärker grafitisiert als die Lagerstätte Weinberg (Rantitsch & Linner, 2021).

	Probe	UTM-N-3045	UTM-E-3045		Bemerkung
	<b>Moldanubikum</b>				
<b>Weinberg</b>	ML37-01-21	5358336	522386	Grafitfels, lagig, mit Pyrit	
	ML37-02A-21	5358347	522445	Grafitfels, massig, mit Pyrit und Korund	
	ML37-03A-21	5358175	522690	Grafit-Schiefer (kataklastisch)/Pegmatit	
	ML37-03B-21	5358175	522690	Grafit-Schiefer, kataklastisch	
<b>Hengstberg</b>	GR22-01	5342706	533783		Halde
	GR22-02A	5342405	533934	Hangendgrenze	Mariastollen
	GR22-02B	5342405	533934	Pegmatitkontakt direkter Kontakt	Mariastollen Mariastollen
	GR22-02C	5342405	533934	Flöz	Mariastollen
	ML55-01A-21	5342452	533849	Kalksilikatgestein (grafitisch) & Pegmatit	Mariastollen
	ML55-01B-21	5342452	533849	Kalksilikatgestein (grafitreich) am Pegmatitkontakt	Mariastollen
	22G19	5342455	534059	Paragneis, grafitführend	Clarastollen
	22G21	5342455	534059	Paragneis, grafitführend	Clarastollen
	22G22	5342455	534059	Paragneis, grafitführend	Clarastollen
	22G23	5342455	534059	Paragneis, grafitführend	Clarastollen
	<b>Bavarikum</b>				
	22G11	5380335	389085	Paragneis Migmatit	
	22G12	5380366	389146	Perlgnais (migmatischer Paragneis)	
	22G13	5380603	400143	Quarzit	
	22G14	5380603	400143	ca. 15cm mächtige Grafit-Scherzone mit SC-Gefüge	
	22G15	5365858	434988	Paragneis	nicht messbar
	22G17	5364290	436808	Paragneis	nicht messbar
	22G18	5364376	436661	Quarzit	nicht messbar
	Kropfmühl	5386336	400994	Grafiterz	
<b>Herzogsdorf</b>	ML-Graf-1-22	5365843	434971	Quarzit mit wenig Grafit	nicht messbar
	ML-Graf-2-22	5365600	434967	Paragneis-Migmatit, Grafit führend, vergrust-verlehmt	
	ML-Graf-03A-22	5364305	436818	Biotitreicher Paragneis mit wenig Grafit	
	ML-Graf-03B-22	5364305	436818	Quarzitische Paragneis, grau, Grafit?	nicht messbar
	ML-Graf-4-22	5364324	436844	Paragneis, metablastisch, wenig Grafit	nicht messbar
	22G16	5365601	434965	Paragneis Migmatit, stark verwittert	

Tabelle 1: Untersuchte Proben (die grau markierten Proben wurden chemisch aufbereitet).

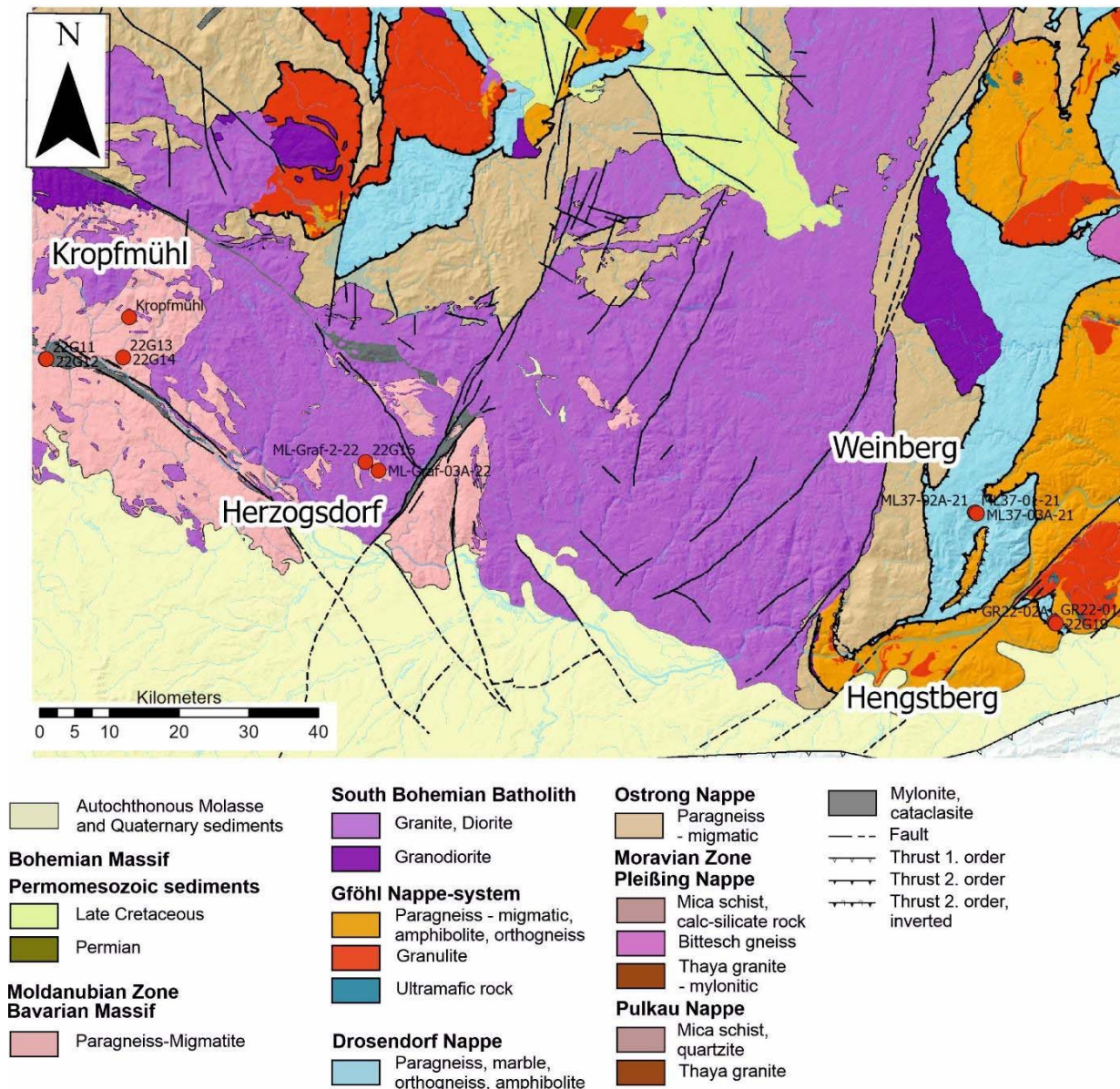


Abbildung 1: Untersuchte Proben in der Karte von Rantitsch & Linner (2021).

### 3. Methodik

Ein Teil der Proben ist arm an sichtbarem Grafit. Diese Proben wurden chemisch (HCl und HF) aufbereitet. Allerdings konnten dadurch nicht in allen Proben brauchbare Präparate hergestellt werden (s. Tabelle 1).

Die Mikrostruktur des Grafit wurde, wie in Rantitsch und Linner (2021) beschrieben, durch die Raman-Spektroskopie untersucht (s. Anhang). Es wurden 20 Messpunkte in zwei Spektralbereichen jeder Probe aufgenommen. Abweichend von Rantitsch und Linner (2021) wurde das Spektrum der zweiten Ordnung durch eine automatisierte numerische Auswertung verbessert analysiert (s. Anhang). Das Spektrum der ersten Ordnung repräsentiert die Gitterordnung innerhalb der Grafit-Basisebenen, das Spektrum der zweiten Ordnung

repräsentiert die Gitterordnung in der kristallografischen z-Richtung (s. Rantitsch und Linner, 2021).

Es wurden zwei Proben (GR22-02A und GR22-02B) aus Hengstberg und die Probe aus Kropfmühl mit einem ZEISS® EVO MA 10 Rasterelektronenmikroskop untersucht (Analytik: V. Dietrich). Das REM wurde im Standardless-Modus bei 15kV Anregungsspannung betrieben. Die Ergebnisse werden als Se- kundärelektronenbilder dargestellt.

#### 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse (Tabelle 2) belegen deutlich den strukturellen Unterschied zwischen den Grafiten des Bavarikums und des Moldanubikums. Das Vorkommen Hengstberg im Moldanubikum des Dunkelstei- ner Walds zeigt aufgrund der Nähe zu einem Granulitdom (Abb. 1) den Grafitisierungsgrad des Bavari- kums. In der Gruppe der geringer grafitisierten Proben zeigt sich dies im Spektralbereich der 1. Ord- nung durch breitere und asymmetrischere G-Banden, die zu niedrigeren Wellenzahlen verschoben sind und in der zweiten Ordnung durch symmetrischere S2-Banden, die ebenfalls zu niedrigeren Wellen- zahlen verschoben sind (Tabelle 2).

Probe	1st order									2nd order					Bemerkung
	N	G-hwhm	std	G_STA	std	G_shape factor	std	Gmax_pos	std	N	S-shape factor	std	Smax-pos	std	
ML37-01-21	20	7.8	0.7	17.5	2.8	16.02	3.2	1579.5	1.9	20	1.35	0.3	2717.0	3.9	Weinberg
ML37-02A-21	20	7.5	0.8	16.7	2.8	14.63	4.6	1577.2	3.8	20	1.73	0.8	2712.8	8.3	
ML37-03A-21	20	7.5	0.7	15.2	3.8	17.95	4.2	1578.6	2.6	20	1.58	0.5	2715.2	4.1	
ML37-03B-21	20	7.5	0.8	15.6	2.9	17.17	3.2	1580.6	1.8	20	1.38	0.6	2716.2	6.2	
GR22-01	20	7.0	0.5	14.6	1.6	19.91	2.8	1581.1	1.0	20	1.04	0.2	2718.4	2.9	Mariastollen
GR22-02A	20	8.2	0.8	18.6	3.8	11.88	3.6	1580.0	1.3	20	1.29	0.2	2718.9	3.7	
GR22-02B	20	6.8	0.4	13.9	1.1	20.63	2.0	1580.8	0.9	20	1.04	0.1	2719.3	2.4	
GR22-02B-Kontakt	20	6.9	0.5	14.5	2.6	17.97	4.4	1580.5	1.7	20	1.09	0.3	2718.4	4.9	
GR22-02C	20	6.9	0.5	14.2	1.2	19.65	3.5	1580.9	2.8	20	1.13	0.6	2719.1	6.6	
ML55-01A-21	20	7.5	0.7	15.3	1.9	17.79	3.1	1580.6	2.6	20	1.29	0.7	2718.0	7.0	
ML55-01B-21	20	6.8	1.2	13.8	5.3	20.39	4.5	1580.5	2.6	20	1.13	0.1	2718.3	2.6	
22G19	20	7.1	0.7	14.3	1.7	17.92	3.5	1579.2	4.1	20	1.33	0.8	2715.4	7.6	Clarastollen
22G21	20	6.6	0.7	13.2	1.4	21.05	4.6	1578.3	4.3	20	1.38	0.9	2714.4	7.6	
22G22	20	7.0	1.0	14.8	2.9	14.58	5.3	1574.1	4.9	20	2.88	1.1	2708.2	9.6	
22G23	20	6.8	0.5	13.6	1.8	20.78	2.9	1581.2	0.9	20	1.08	0.1	2719.7	3.7	
22G11	20	7.2	0.9	14.6	3.3	19.68	3.4	1581.2	1.1	20	1.01	0.1	2719.2	3.5	
22G12	20	6.6	0.5	13.3	1.8	21.75	2.5	1581.2	1.5	20	1.04	0.3	2718.7	3.9	
22G13	20	7.8	2.0	17.1	7.2	17.36	5.9	1577.8	3.1	20	1.67	0.6	2446.1	13.2	Scherung
22G14	20	6.8	0.9	13.6	2.4	17.59	4.3	1577.8	3.7	20	1.61	0.9	2713.2	7.8	Scherung
Kropfmühl	20	6.6	0.3	13.3	0.8	21.58	1.2	1581.7	0.7	20	0.95	0.1	2719.0	3.0	
ML-Graf-2-22	20	7.3	0.8	15.7	5.7	16.86	4.9	1578.2	2.1	20	1.43	0.4	2716.7	4.0	verwittert
ML-Graf-03A-22	20	6.9	0.5	13.6	1.4	20.83	3.5	1580.8	2.8	20	1.02	0.7	2719.0	5.5	
22G16	20	7.2	0.8	16.0	3.6	15.59	4.0	1577.9	3.8	20	1.46	0.8	2714.1	6.5	verwittert

Tabelle 2: Mikrostrukturelle Kennwerte der Ramanspektren erster und zweiter Ordnung (s. Rantitsch und Linner, 2021; G-hwhm= Breite der G-Bande in  $\text{cm}^{-1}$ , G-shape factor= Asymmetrie der G-Bande, Gmax-pos= Position der G-Bande im Ramanspektrum in  $\text{cm}^{-1}$ , S-shape factor= Asymmetrie der S2- Bande, S-max pos= Position der S2-Bande im Ramanspektrum in  $\text{cm}^{-1}$ , N= Anzahl der Messwerte, sd= Standardabweichung). Gelb markierte Werte zeigen einen höheren Ordnungsgrad im Vergleich zu den anderen Proben an.



Im Vorkommen Hengstberg zeigen drei von vier Proben aus dem Clarastollen im Spektralbereich der 2. Ordnung eine geringere Strukturprägung als die Proben aus dem Mariastollen (Tab. 2). Nachdem dieser Unterschied im Spektralbereich der ersten Ordnung nicht beobachtet werden kann, muss hier eine geringere Grafitisierung in der kristallographischen z-Richtung angenommen werden. Als Grund dafür kann eine zurückgebliebene Grafitisierung aufgrund des geringen Grafitgehaltes in der dominanten Paragneis-Matrix vermutet werden.

Im Mariastollen zeigt sich in den Proben GR22-02 ein Fortschritt der Grafitisierung von der Probe A zur Probe B direkt am Kontakt zu einer Pegmatitlage. Eine leichte Zunahme der Asymmetrie der G-Bande am direkten Kontakt (Tab. 2) kann durch sehr lokale Intrusionsprozesse erklärt werden.

In den Proben aus dem Bavarikum können Faktoren erkannt werden, die den Grafitisierungsgrad beeinflussen. Hier zeigt sich, dass Verwitterungsprozesse und Schertektonik den Ordnungsgrad des Grafits verschlechtern (Tab. 2). Im Kartenbild zeigt sich ein kontinuierlicher Grafitisierungsgrad im Bereich zwischen Herzogsdorf und Kropfmühl.

Der REM-Befund an den Proben aus Hengstberg zeigt ein deutliches Wachstum der Graphitkristalle hin zum Pegmatit-Kontakt (Abb. 2). Abbildung 2a zeigt Sekundärelektronenbilder der Probe GR22-02A, die in ihrer Morphologie deutlich weniger gering kristallin sind und nicht die für den Graphit stark ausgeprägte Schichtstruktur aufweisen. Die Körner erscheinen klumpig agglomeriert und abgerundet und nicht so kristallin ausgeprägt, wie die Körner der Probe GR22-02B. Abbildung 2b zeigt Bilder der Probe GR22-02B, die direkt am Kontakt zum Pegmatit genommen wurde. Die typische Schichtstruktur der Graphitflocken ist viel stärker ausgeprägt als in der vom Kontakt weiter entfernten Probe (Abb. 2a) zu erkennen. Auch ist hier die Packungsdichte der einzelnen Schichten im Korn deutlicher ausgeprägt. Die eher kleinen klumpigen Aggregate in der Probe GR22-02A (Abb. 2a) umfassen Grafitflocken mit einer Größe unter  $100\mu\text{m}$ . Direkt am Kontakt (Probe GR22-02B) sind gut ausgebildete und Paket-bildende Flocken mit Kristallgrößen von einigen  $100\mu\text{m}$  zu beobachten (Abb. 2b). Größere und noch besser ausgebildete Grafitflocken mit hexagonalen Kristallformen findet man in der Probe aus Kropfmühl (Abb. 2c).

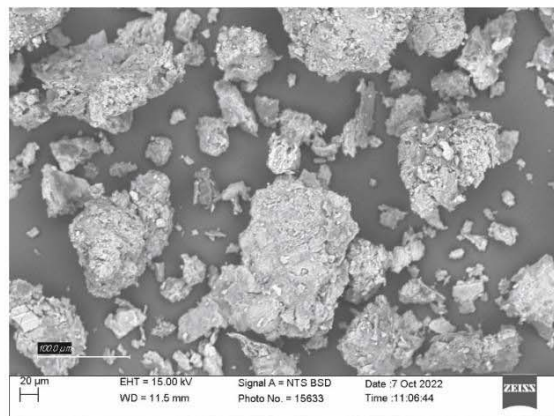
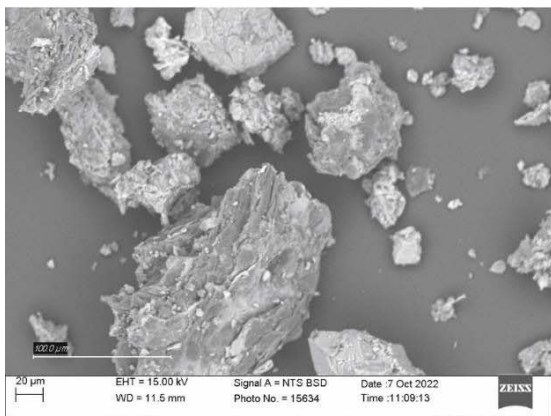
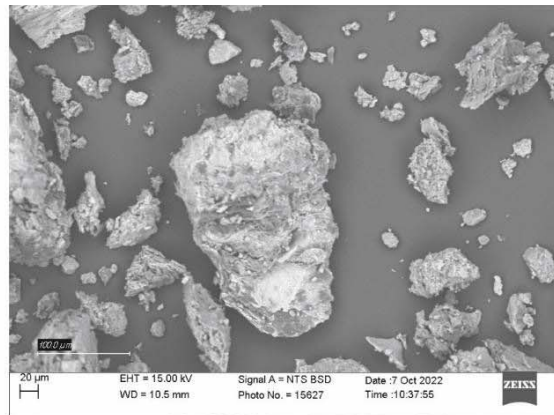
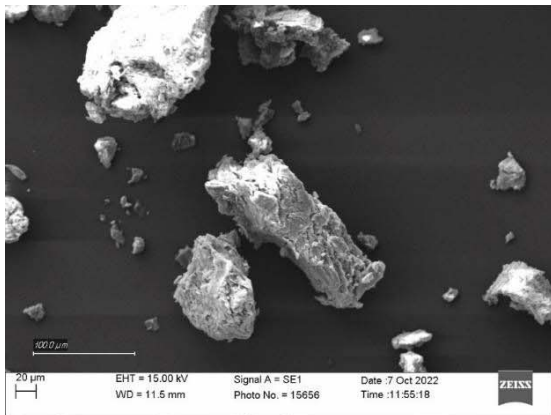


Abb. 2a: REM-Bilder der Probe GR22-02A (Aufnahme V. Dietrich).

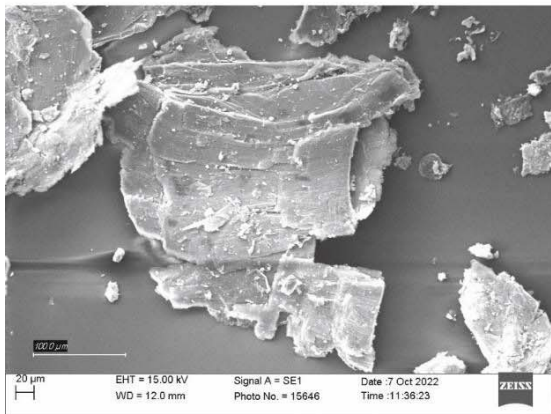
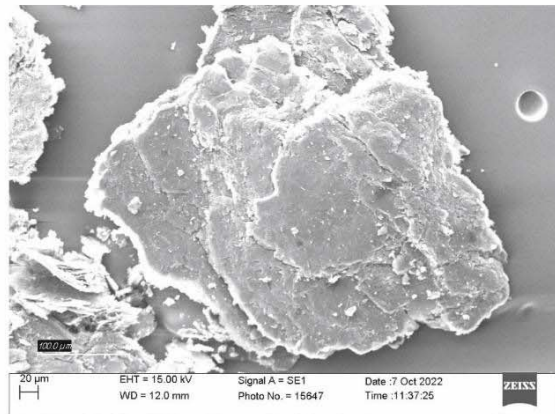
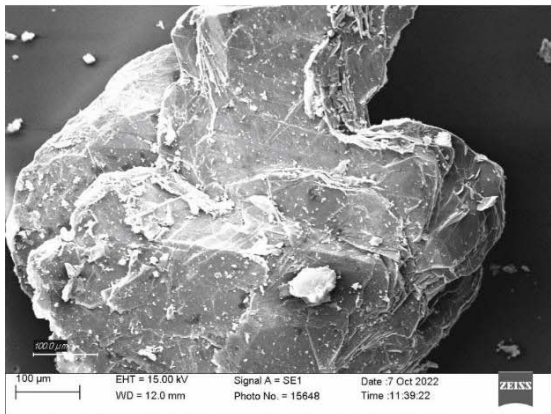
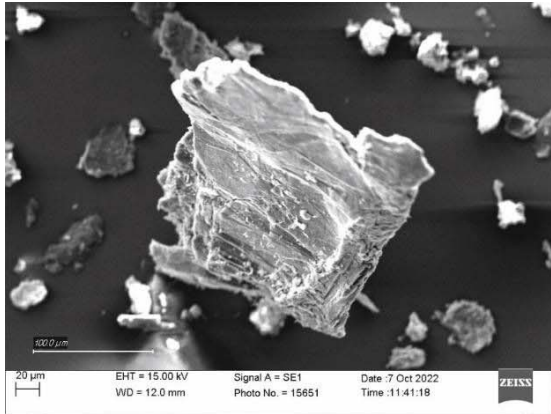


Abb. 2b: REM-Bilder der Probe GR22-02B (Aufnahme V. Dietrich).

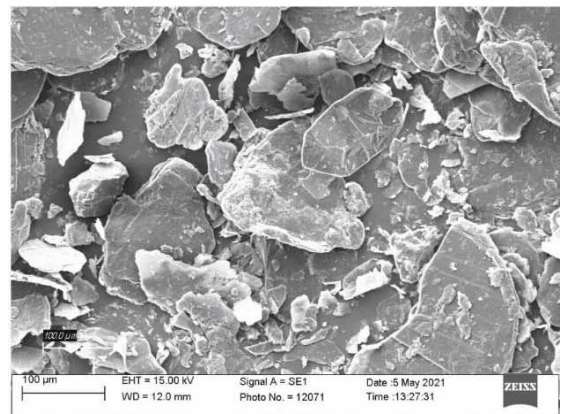
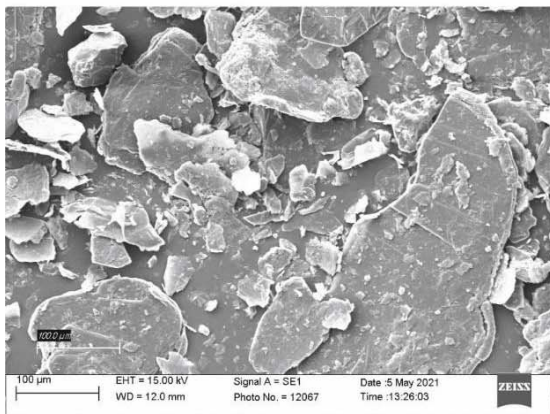
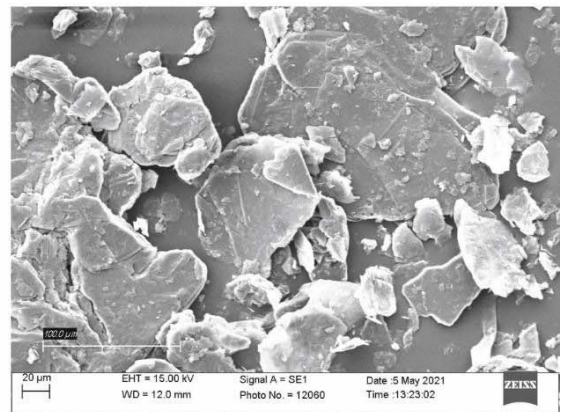
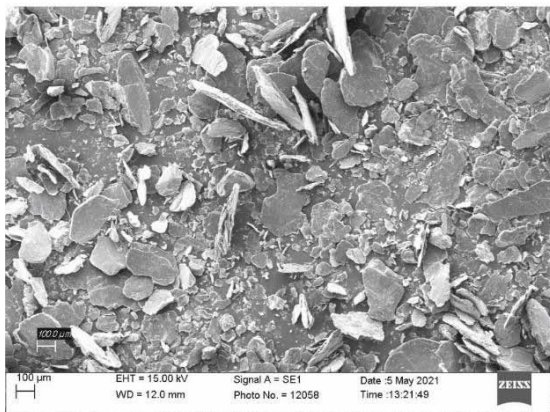
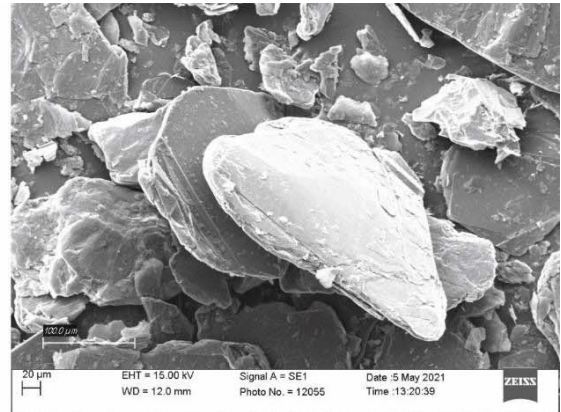
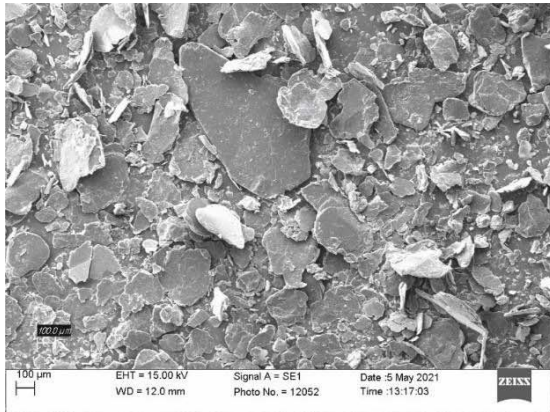


Abb. 2c: REM-Bilder der Probe Kropfmühl (Aufnahme V. Dietrich).

## 10. 5. Schlussfolgerungen

Die kombinierte Anwendung der Ramanspektroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie bewertet nicht nur die Mikrostruktur und die Kristallmorphologie des Graphits, sondern ermöglicht auch einen detaillierten Blick auf dessen Bildungsbedingungen. So kann in Hengstberg die qualitätsverbessernde Wirkung lokaler Pegmatitintrusionen gezeigt werden. Die

Grafitqualität kann dagegen aber auch durch Verwitterungsprozesse verschlechtert werden, was für die oberflächennahen Vorkommen des Grafit- bezirks der Böhmisches Masse durchaus von Bedeutung ist. Als weiteren Einflussfaktor kann die Struktur-verslechternde Wirkung lokaler Scherzonen erkannt werden. Die Lagerstätte Hengstberg unterscheidet sich aufgrund ihrer besseren Strukturprägung grundlegend von den anderen Lagerstätten der Bunten Serie (s. auch Rantitsch & Linner, 2021). Der Vergleich der Proben aus Hengstberg mit denen aus dem Bavarikum deutet darauf hin, dass die Hochtemperatur-Metamorphose im Bavarikum bei einer den Hengstberg-Proben entsprechenden Strukturprägung zu einem weiter Kristallwachstum und dadurch zu einer verbesserten Rohstoff-Qualität geführt hat. Als wesentlich für die Grafitqualität erscheint der Grafit-Gehalt des Wirtsgesteins. In dispers im Paragneis verteilten Grafitflocken ist dementsprechend die strukturelle Prägung geringer.

## 11. Literatur

Rantitsch, G., Linner, M. (2021). Graphitization during high-grade metamorphism in the southern Bohemian Massif. *International Journal of Coal Geology*, 103864. doi: 10.1016/j.coal.2021.103864.

## 12. Anhang: Methodik der Ramanspektroskopie

A Horiba Labram HR Evolution instrument, equipped with a 100mW Nd:Yag (532nm) laser, a confocal microscope (100x objective, hole aperture=100 $\mu$ m), a 1800 g/mm grating, and a Peltier cooled CCD detector was used to collect Raman spectra. Two scans were averaged. 20 spectra over the 700–2000  $\text{cm}^{-1}$  (first order) region and 16–20 spectra over the 2200–3200  $\text{cm}^{-1}$  (second order) region were recorded on visible graphite basal planes for each sample. The wavenumbers were calibrated with the Rayleigh scattering (0  $\text{cm}^{-1}$ ), and a silicon wafer (520.7  $\text{cm}^{-1}$ ).

The band nomenclature follows the commonly applied terminology as reviewed by Henry et al. (2019), discriminating the G- (“graphite” band at ca. 1580  $\text{cm}^{-1}$ ), D1- (disorder band at ca. 1340  $\text{cm}^{-1}$ ) and D2- (disorder band at ca. 1610  $\text{cm}^{-1}$ ) bands in the first-order region as well as the S1- and S2 (at ca. 2700  $\text{cm}^{-1}$ ) bands in the second-order region.

The first-order Raman spectra were evaluated by the IFORS software of Lünsdorf and Lünsdorf (2016), excluding subjectivity in curve-fitting by fitting the spectra without user-interaction. The spectra were characterized by spectral parameters of Lünsdorf et al. (2017, G-STA= total area, scaled by the G maximum intensity, G-shape factor, Gmax-position= band position of the G-band maximum) estimated by the median of all collected first-order spectra. To estimate the G-band widths (G-hwhm= G-band half-width at half-maximum), the minimum distance between adjacent functions was adjusted to 300 in order to represent the band by a single function.

The S2 band of graphite has a marked asymmetrically shape and can be deconvoluted by two pseudo-Voigt functions (e.g. Rantitsch and Linner 2021). Empirically it was shown that the spectral distance of those functions increases with an increase of structural ordering (Skrzypek, 2021; Rantitsch and Linner, 2021), resulting in an increasing asymmetry of the band shape. To get an automated estimate describing this evolution, the second-order spectrum was fitted also with the IFORS software by investigating the intensity distribution in the D2-region by a D2-shape-factor (Figure A1), as introduced by Lünsdorf et al. (2017) to describe the shape of the G-band. This was done by modifying the readout function of the IFORS software (Lünsdorf and Lünsdorf, 2016). Following Lünsdorf et al. (2017), the D2-shape factor is here the average intensities from 2680–2700  $\text{cm}^{-1}$  divided by the average intensities in the interval of 2730–2750  $\text{cm}^{-1}$ .

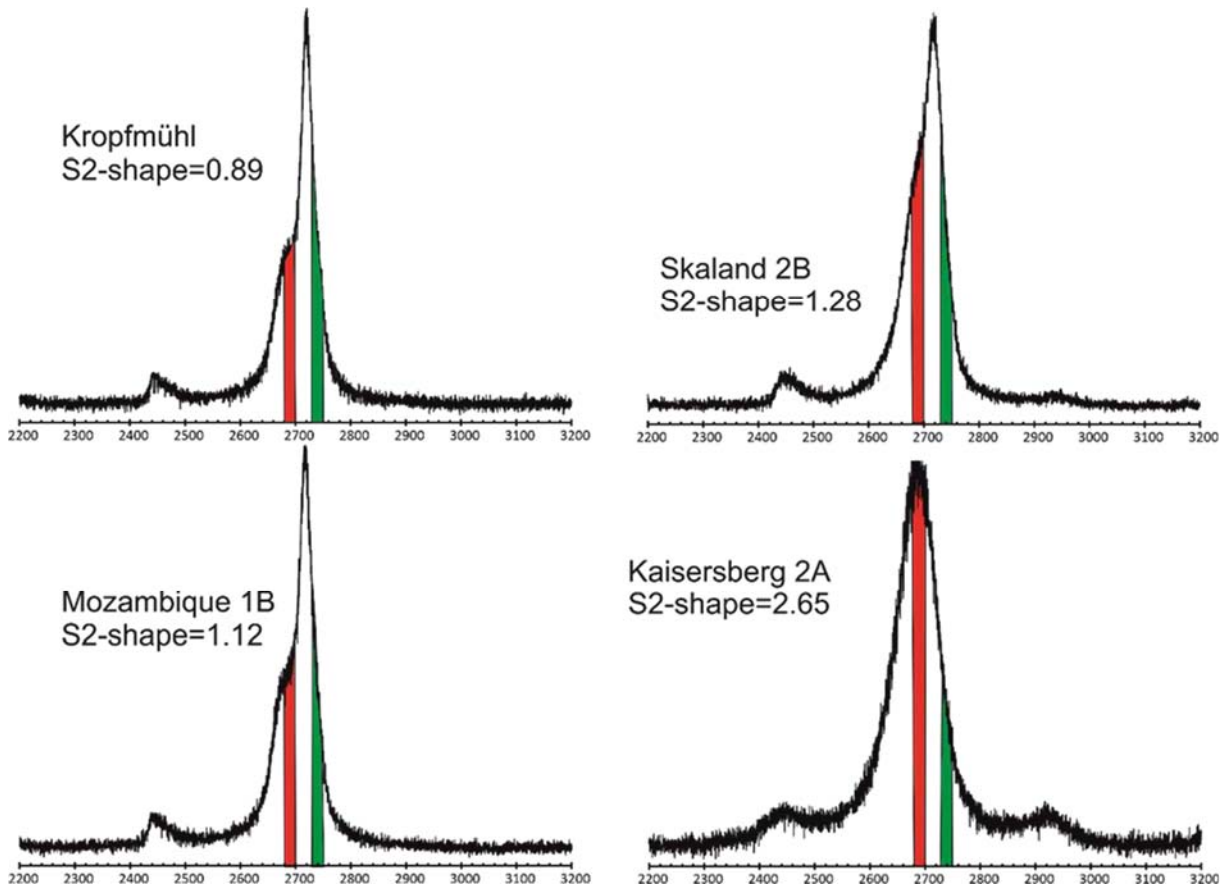


Figure A1: Second-order Raman spectra of graphite with decreasing asymmetry of the S2 band (indicating decreasing metamorphic temperatures), characterized by the average intensities from 2680–2700 cm<sup>-1</sup> (red band area) divided by the average intensities in the interval of 2730–2750 cm<sup>-1</sup> (green band area). A decrease of asymmetry is characterized by increasing S2-shape values.

Henry, D.G., Jarvis, I., Gillmore, G., Stephenson, M., 2019. Raman spectroscopy as a tool to determine the thermal maturity of organic matter: Application to sedimentary, metamorphic and structural geology. *Earth-Science Reviews*, 102936. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102936>

Lünsdorf, N.K., Lünsdorf, J.O., 2016. Evaluating Raman spectra of carbonaceous matter by automated, iterative curve-fitting. *International Journal of Coal Geology*, 160–161, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.008>

Lünsdorf, N.K., Dunkl, I., Schmidt, B.C., Rantitsch, G., Eynatten, H. von, 2017. Towards a higher comparability of geothermometric data obtained by Raman spectroscopy of carbonaceous material. Part 2: A revised geothermometer. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 41, 593–612. <https://doi.org/10.1111/ggr.12178>

Rantitsch, G., Linner, M. (2021). Graphitization during high-grade metamorphism in the southern Bohemian Massif. *International Journal of Coal Geology*, 103864. doi: 10.1016/j.coal.2021.103864.

Skrzypek, E., 2021. First- and second-order Raman spectra of carbonaceous material through successive contact and regional metamorphic events (Ryoke belt, SW Japan). *Lithos*, 388-389, 106029. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106029>