

# Der Einsatz aerogeophysikalischer und geoelektrischer Messungen zur Grundwasser- und Rohstoffexploration

ALEXANDER RÖMER (1), GERHARD BIEBER (1), ANDREAS AHL (1), ROBERT SUPPER (1) & KLAUS MOTSCHKA (1)

## Einleitung

Mit der Energiekrise 1973 und dem damit verbundenen Streben nach autarker Energie- und Rohstoffversorgung wurde in Österreich ein komplexes, bundesweites Suchprogramm nach mineralischen Rohstoffen erarbeitet, das sowohl Geochemie als auch ein aeromagnetisches Vermessungsprogramm umfasste. Im Sommer 1977 wurde gemeinsam mit der Bundesrepublik Deutschland, welche an die Republik Österreich herangetreten war, Südbayern und Westösterreich von der Fa. Hunting Geology and Geophysics Ltd. befliegen. Die aeromagnetische Vermessung Ostösterreichs durch eigenes Personal und eigene Geräte in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wurde im Sommer 1978 begonnen und im Jahr 1982 abgeschlossen. Ebenfalls 1978 wurde ein Verwaltungsübereinkommen zwischen Wissenschaftsministerium und Wirtschaftsministerium als Sitz der Bergbaubehörde (zur Zeit in einem Ministerium vereint) „in Anbetracht der ungünstigen Versorgungsstruktur Österreichs mit mineralischen Roh- und Grundstoffen und im Hinblick auf die potentiellen Möglichkeiten des Vorhandenseins entsprechender Lagerstätten“ abgeschlossen, um „Voraussetzungen für eine Verbesserung der inländischen Aufbringung an Roh- und Grundstoffen zu schaffen“. Dafür wurden und werden Mittel zum Vollzug des Lagerstättengesetzes (VLG, 1947: „Der Geologischen Bundesanstalt obliegt im Interesse der einheimischen Wirtschaft in Zusammenarbeit mit der Bergbehörde die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Lagerstätten und die Sammlung und Bearbeitung der Ergebnisse dieser Untersuchungen.“, BGBl. Nr. 246/1947: §1) zur Verfügung gestellt. Noch vor Abschluss der überregionalen aeromagnetischen Vermessung wurde eine Weiterführung der Aerogeophysik auf regionaler Ebene erörtert. In einem Pilotprojekt zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und der Geologischen Bundesanstalt (GBA)

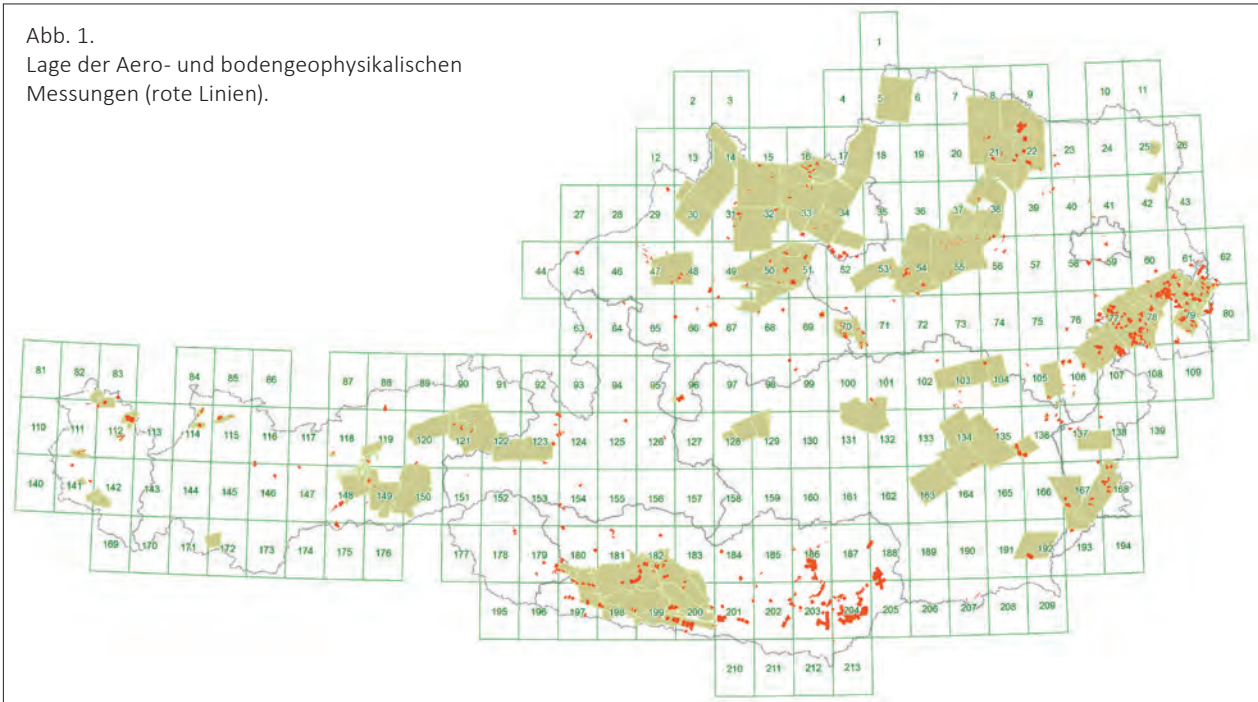
in Wien konnte gezeigt werden, dass entsprechende Messungen vom Hubschrauber aus sehr zielführend sind. In zwei Testgebieten (Wörgl, St. Johann/Tirol) kamen elektromagnetische, magnetische und radiometrische Messungen zum Einsatz. Nach der Klärung der Bereitstellung eines Hubschraubers durch das Österreichische Bundesheer wurde 1982 unter der Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Seiberl (1941–2016) mit den ersten Befliegungen im Dunkelsteinerwald und Ennstal begonnen. Ohne den durch das Bundesheer zur Verfügung gestellten Hubschrauber wäre das aerogeophysikalische Messprogramm in Österreich nur sehr schwer zu verwirklichen gewesen, da der bei weitem größte Kostenfaktor in der Aerogeophysik durch das Fluggerät verursacht wird. Schon ab dem Ende der 1980er Jahre hat sich das Anwendungsspektrum der Aerogeophysik laufend von reinen Rohstoffprojekten zu Forschungsvorhaben mit hydrogeologischen Inhalten (z.B. Untersuchung junger Beckenstrukturen) und Projekte zur Untersuchung geogener (Massenbewegungen) und anthropogener Risikofaktoren (Strahlenschutzanwendungen) weiterentwickelt. Projekte im Ausland wurden bereits ab 1988–1990 (Bauxitexploration in Westungarn) durchgeführt und stellen bis heute einen Teil der Aktivitäten der FA Geophysik dar (Donaudelta Rumänien, Vulkangebiete Italien, Mexiko/Yucatán, Republik Korea).

In den 35 Jahren seit Bestehen der Aerogeophysik wurde das Messsystem technisch immer weiterentwickelt. So wurden die Positions- und Höhenbestimmungen (differential GPS für Hubschrauber und Messsonde, Laserhöhenmesser mit Mehrfachreflexionen, Neigungs- und Beschleunigungsmesser etc.), als auch die Messplattform (Weiterentwicklung des elektromagnetischen Messsystems mit mehreren Frequenzen, neuer Magnetiksensor etc.) adaptiert und auch weitere Messsysteme (z.B. Bodenfeuchtesonde) in das System integriert.

Im Bereich der Bodengeophysik wurde schon zu Beginn der 1990er Jahre ein damals neu ent-

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. [alexander.roemer@geologie.ac.at](mailto:alexander.roemer@geologie.ac.at)

Abb. 1.  
Lage der Aero- und bodengeophysikalischen Messungen (rote Linien).



wickeltes geoelektrisches Multielektroden-system mit 100 Elektroden angeschafft. Dieses Messverfahren bildet seitdem den Schwerpunkt der bodengeophysikalischen Messungen der FA Geophysik der GBA. Zusätzlich wird seit 2001 an der FA Geophysik ein eigenes Multielektroden Geoelektriksystem (GEOMON4D) entwickelt, welches sowohl bei „klassischen“ Profilmessungen, als auch im Bereich des geoelektrischen Monitorings zum Einsatz kommt. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die seit Anfang der 1980er bzw. 1990er Jahre durchgeführten Messungen im Bereich der Aero- und Bodengeophysik. Derzeit beinhaltet die Metadatenbank (GEOPHYSIS) 118 Einträge für die Aerogeophysik und 1.200 Eingaben und Lagen für die Bodengeophysik (ca. 1.200 geoelektrische Profile).

Anhand ausgewählter Ergebnisse von drei Fallbeispielen soll ein Ausschnitt von aero- und bodengeophysikalischen rohstoff- und hydrogeologisch relevanten Projekten gegeben werden. Das erste Beispiel ist das Messgebiet „Südliches Waldviertel“ mit einem umfassenden Rohstoffbezug aus dem Jahr 1987 (ALBER, 1987), ein weiteres Projekt, welches einen hydrogeologischen Bezug aufweist, stellt das Messgebiet Leithagebirge (AHL et al., 2012; SCHUBERT et al., 2013) dar. Abschlie-

ßend werden ausgewählte Beispiele aus dem aktuellen Messgebiet Wörgl (SLAPANSKY et al., 2017) präsentiert.

### Messgebiet „Südliches Waldviertel“ (ALBER, 1987)

Das Ziel des Projektes war es, die zahlreichen Informationen über Rohstoffvorkommen, Geologie, Geophysik und Geochemie zusammenzutragen und einen Stand des Mineralrohstoffpotenzials zu erheben in Hinblick auf die Verteilung der Rohstoffe und die Konflikte, die sich durch deren Sicherung und Gewinnung und die Folgenutzung der Gewinnungsstätten ergeben. Außerdem sollten noch für die Auswertung der systematischen Geochemie und Hubschrauber-geophysik zusätzlich Unterlagen beigebracht und eventuell neue Möglichkeiten aufgezeigt werden, um solcherart eine höhere Aussagekraft für planerische Maßnahmen zu erreichen. Abbildung 2 zeigt die Lage

Abb. 2.

Lage des Untersuchungsgebietes „Südliches Waldviertel“ (aus ALBER, 1987).







Abb. 3.  
Ausgewählte Anomalien der Aeroelektromagnetik/  
Aeromagnetik „Südliches Waldviertel“ (aus ALBER, 1987).

des Untersuchungsgebietes. 1982 bzw. 1983 wurden die Gebiete Dunkelsteinerwald, Rossatz und die Kremser Bucht per Hubschrauber aero-geophysikalisch vermessen: Auswahlkriterien waren das Auftreten von Grafiten in der Bunten Serie und Anomalien der Aeromagnetik im Dunkelsteinerwald und in der Kremser Bucht. Außerdem wurden im Bereich der Bunten Serie auf ÖK-Blatt 36 (Ottenschlag) Grafitvorkommen mittels aktiver und passiver elektrischer Methoden (IP-, SP- und Widerstandsmessungen) untersucht. In Abbildung 3 verdeutlichen die Anomalien W4 bis W9 die durch Rehberger Amphibolite beherrschte Zone innerhalb der Paragneise nordwestlich von Langenlois; die Paragesteine sind,

wie erwähnt, durch Grafitzüge gekennzeichnet (Grafitsschiefer, Grafitquarzite). Die Minima W5, W10 und W20 koinzidieren mit magnetischen Anomalien (Serpentinite, Gabbroamphibolite vom Typ „Rehberg“). Die guten Leitfähigkeiten gewisser Abschnitte der Rehberger Amphibolite lassen eine genauere Untersuchung dieser im Hinblick auf Magnetkiesführung und Buntmetallvorkommen (disseminated copper) als empfehlenswert erscheinen. Mit den Grafitquarziten in den Paragneisen westlich und nördlich von Lengenfeld verknüpft sind elektromagnetische und z.T. magnetische Anomalien, die höchstwahrscheinlich an seichtliegende (nicht aufgeschlossene) Amphibolitkörper mit (serpentinisierten) Ultrabasiten gebunden sind. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis des Boden-SP-Profiles EK 3: Der Maximalwert (555 mV) im Nordwest-Teil des Profils tritt über Marmor-einschaltungen im Quarzit und Paragneis auf. Der starke negative Gradient (Abfall der SP-Werte von 500 mV auf -250 mV) weist auf mächtigere dichte Grafite zwischen Marmor und Paragneis hin. Dieser Abschnitt ist für eine weitere Grafitprospektion besonders ins Auge zu fassen (ALBER, 1987).

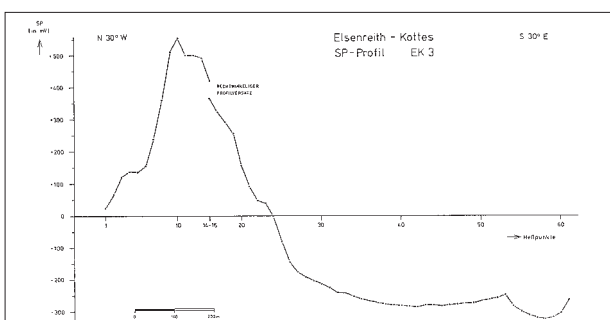


Abb. 4.  
SP-Profil (aus ALBER, 1987).

### Messgebiet Leithagebirge

(AHL et al., 2012; SCHUBERT et al., 2013)

Mit der hubschrauber- und bodengeophysikalischen Vermessung im Bereich Leithagebirge (ÖK-Blätter 77, 78) sollten in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur Hydrogeologie sowie zur Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung erstellt werden. Die Befliegung (Abb. 5) erfolgte in Form paralleler Fluglinien mit

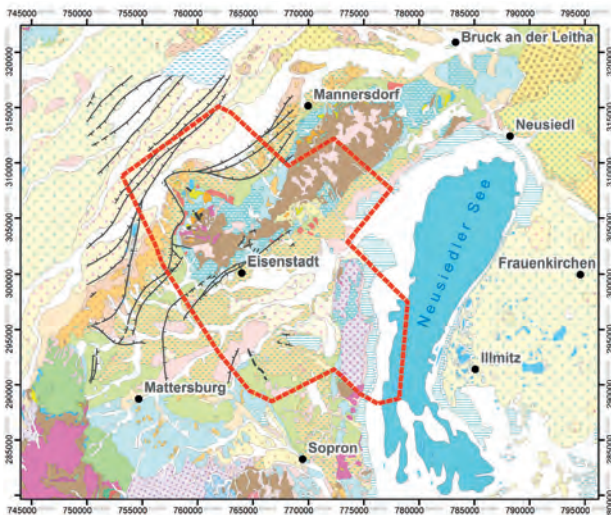
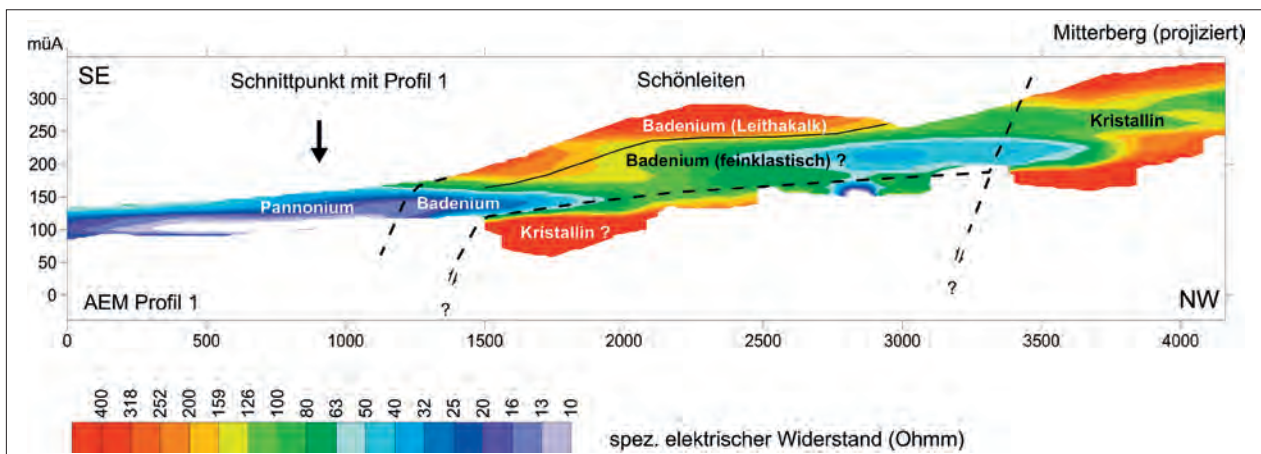


Abb. 5. Lage des Messgebiets Leithagebirge.

einem geplanten Sollabstand von 200 m. Das besondere Interesse lag in der Beurteilung der neogenen Beckenablagerungen hinsichtlich wasserhöffiger, verkarstungsfähiger (Karbonatgesteine) und grobklastischer (Kies, Schotter) Formationen in diesem Bereich. Klüftige Karbonatgesteine mit Lösungsporosität sind obertags auskartiert, ihre unterirdische Lagerung und Verbreitung war aber bisher, abgesehen von Bohraufschlüssen und seismischen Profilen, noch zu wenig bekannt. Sie liegen idealer Weise unter geringdurchlässigen bis

dichten Hangendsedimenten mit gespanntem bis artesischem hydrostatischem Druck. Bodengeoelektrische Untersuchungen haben gezeigt, dass sich verkarstungsfähige Karbonatgesteine und grobklastische Sedimente (Kiese) in ihrem Widerstandsbild deutlich von den übrigen feinklastischen neogenen Sedimenten unterscheiden und damit günstige Bedingungen für den Einsatz der Aerogeophysik vorliegen. Je nach lithologischer Ausbildung war es auch möglich, das Grundgebirge (Kristallin) durch bodengeoelektrische Messungen bis zu einer maximalen Tiefe von 200 m unter GOK zu erfassen. Diesbezüglich war von den aerogeophysikalischen Messungen zu erwarten, dass einerseits die unterirdische Geometrie der Grundgebirgsauftragung bis zu einer maximalen Tiefe von 80 m unter GOK zu verfolgen ist, andererseits anhand des Widerstandsbildes auch auf verkarstungsfähige Formationen und/oder gröberklastische Serien (Kiese) geschlossen werden kann. Ziel war es, mit Hilfe dieser geophysikalischen Methoden einen Beitrag zur Beurteilung einer allfälligen Erschließbarkeit verkarstungsfähiger Formationen im Untergrund zu leisten. Ein Beispiel für die geologisch/lithologische Interpretation der AEM Daten zeigt Abbildung 6. Im Abschnitt südwestlich von Donnerskirchen liegen hinsichtlich erschließbarer Grundwasserressourcen interessantere Untergrundverhältnisse vor. Ein weiterer Profilschnitt, abgeleitet aus den aeroelektromagnetischen Ergebnissen, gibt eine Vorstellung von den hier möglichen Untergrundverhältnissen (Abb. 7). Die eingetragenen Störungen ergeben sich aus dem Verschnitt der Isohypsen

Abb. 6. Inversionsergebnisse AEM – Profilschnitt bei Donnerskirchen (aus SCHUBERT et. al, 2013).





mit der Oberflächengeologie aus der Geologischen Karte (Blatt 78 Rust, HERMANN et al., 1993). Ein durch Donnerskirchen NE–SW verlaufender Bruch (SCHMID, 1968; TOLLMANN, 1953) lässt auf eine Absenkung des Badeniums in diesem Bereich schließen. Der Südwest-Teil des Profils sowie die geoelektrischen Messungen bestätigen diese Annahme. Anhand des Geoelektrikprofils P2 lässt sich die Mächtigkeit der kompakten Leithakalkfazies (Nulliporenkalk, detritäre Leithakalksandsteine) von ~30 m ableiten (dunkelblaue Färbung im geologischen Profil). Darunter sind noch im Übergang zu den feinklastischen, niederohmigen Bereichen (hellblauer Widerstandsbereich im Profil 2 der Geoelektrik) gröberklastische Sedimentabfolgen des unteren Badeniums zu erwarten (grüner Widerstandsbereich im Profil 2). Sehr gut lässt sich der hochohmige Leithakalk (grün bis roter Abschnitt) bis ca. 300 m im Hangenden des Profils verfolgen. Die elektrischen Widerstände betragen im Maximum weit über 10.000  $\Omega$ m. Dies spricht für eine z.T. sehr massive Ausbildung des Leithakalks. Die Begrenzung dieser Anomalie korreliert sehr gut mit der in der geologischen Karte eingezeichneten Grenze des (badenischen) Leithakalks gegen Süden (Südosten). Südöstlich schließt das sehr niederohmige (< 50  $\Omega$ m), d.h. schluffig, tonig ausgebildete Pannonium an. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich der Leithakalk noch zumindest 50 m unter dem Pannonium gegen Süden fortsetzt. Die Positionierung eines Bohransatzpunktes in diesem Abschnitt wurde empfohlen. Im Rahmen der seit dem Jahr

2000 durchgeführten Projekte mit dem Land Burgenland und dem Wasserleitungsverband Nördliches Burgenland wurden an zehn vorgeschlagenen Erkundungsstandorten Bohrungen mit einer summierten Wasserförderrate von etwa 150 l/s abgeteuft.

### Messgebiet Wörgl

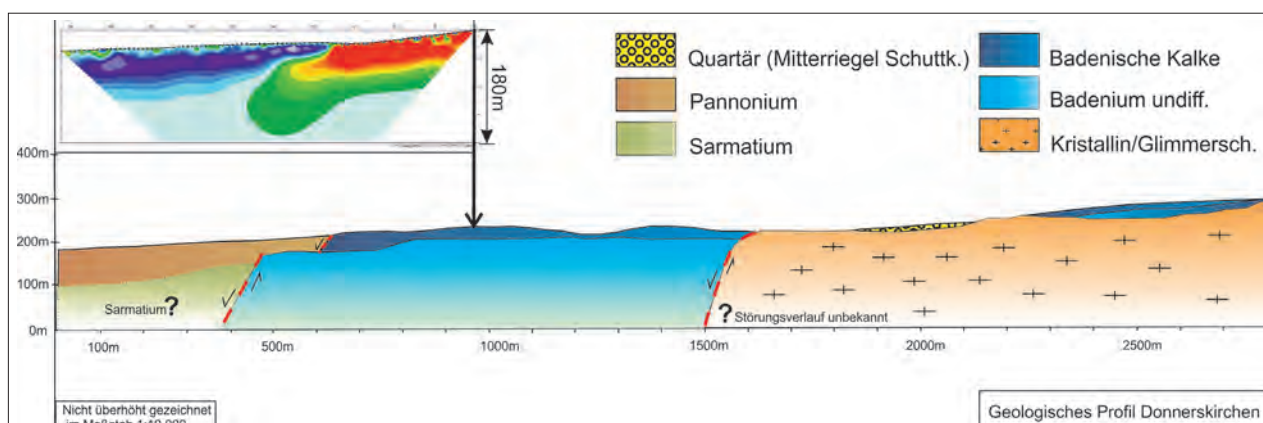
(SLAPANSKY et al., 2017)

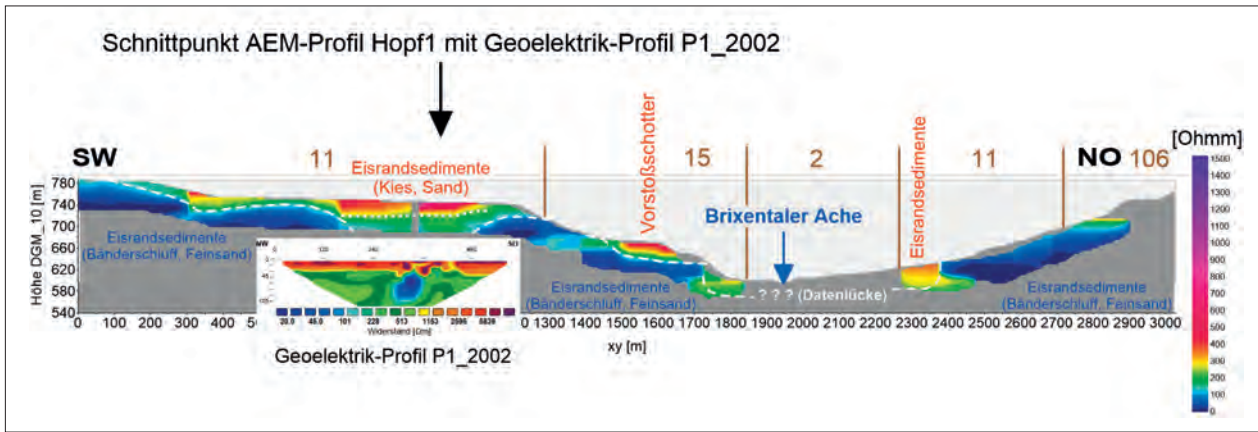
Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Bereich Wörgl (ÖK-Blätter 90 und 121) sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung erstellt werden. Anhand der Verteilung des elektrischen Widerstandes ist ein Informationsgewinn hinsichtlich des Internaufbaues/Abschätzung der Mächtigkeit pleistozäner Lockersedimente (Eisrandsedimente, Grund und Endmoräne, Vorstoßschotter, fluviatile Ablagerungen) zu erwarten.

Das Untersuchungsgebiet orientiert sich dabei am Verlauf der Täler und umfasst das Söllland (Talfurche von Ellmau–Scheffau) bis Going, das Brixental, das Kelchsautal und das Windautal. Es umfasst Anteile der Innsbrucker Quarzphyllitzone, der Grauwackenzone und im Norden die basalen Schichtglieder der Nördlichen Kalkalpen. Die Talbereiche werden von mächtigen, pleistozänen Lockersedimentkörpern eingenommen. Im Brixental finden sich im Bereich von Hopfgarten bis zu 150 m hohe Terrassen mit unterschiedlichen Niveaus, die sich in die Nebentäler Windau- und Kelchsautal fortsetzen.

Ein Beispiel für die geologisch/lithologische Interpretation der AEM-Daten, basierend auf der Geologischen Karte von Salzburg 1:200.000 (PESTAL et al., 2005), der GEOFAST-Karte Neukirchen 1:50.000, Blatt 121 (KREUSS, 2008) und der Dissertation von REITNER (2005), zeigt Abbil-

Abb. 7.  
Geologisches Profil am Südbang des Leithagebirges bei Donnerskirchen. Der südöstliche Profilanteil korreliert mit dem Profilschnitt der Geoelektrik (Donnerskirchen P2), siehe Bild links oben (aus SCHUBERT et. al., 2013).





dung 8. Im AEM-Profilsschnitt Hopf 1 heben sich die höherohmigen pleistozänen Lockersedimente (Eisrandsedimente, Vorstoßschotter) vom liegenden, niederohmigen Festgestein der Löhnersbach-Formation ab. Das Geoelektrikprofil P1\_2002 bestätigt diesen Interpretationsansatz. Mit solchen geologisch lithologischen Interpretationen, vor allem hinsichtlich des Internaufbaues der pleistozänen Lockersedimente, können rohstoffrelevante Aussagen für die Abschätzung der Mächtigkeit und der Ausdehnung sowie für die Zusammensetzung dieser Lockersedimente für detaillierte Folgeuntersuchungen getätigt werden.

## Literatur

- AHL, A., BIEBER, G., MOTSCHKA, K., RÖMER, A., SLAPANSKY, P. & SUPPER, R. (2012): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Leithagebirge (Bgl.d.). – Unveröffentlichter Endbericht, ÜLG20/28/35, GBA/Wissenschaftliches Archiv, Nr. A 16903-R, 150 S., Wien.
- ALBER, J. (1987): Rohstoffpotential, südliches Waldviertel – Dunkelsteinerwald. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **3**, 186 S., Wien.
- HERMANN, P., PASCHER, G.A. & PISTOTNIK, J. (1993): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 78 Rust. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KREUSS, O. (2008): Geofast – Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der GBA 1:50.000 – ÖK 121 Neukirchen am Großvenediger (Stand 2008). – 1 Blatt, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., HEJL, E., BRAUNSTINGL, R., EGGER, H., HUSEN VAN, D., LINNEN, M., MANDL, G.W., MOSER, M., REITNER, J., RUPP, C. & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. – 1 Blatt, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- REITNER, J.M. (2005): Quartärgeologie und Landschaftsentwicklung im Raum Kitzbühel–St. Johann i. T.–Hopfgarten (Nordtirol) vom Riss bis in das Würm–Spätglazial (MIS 6–2). – Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie der Universität Wien, XIII + 190 S. + Anhang, Wien.

Abb. 8. Inversionsergebnis AEM-Profilsschnitt Hopf 1 mit geologischer Interpretation (aus SLAPANSKY et al., 2017).

- SCHMID, H. (1968): Das Jungtertiär an der SE-Seite des Leithagebirges zwischen Eisenstadt und Breitenbrunn (Burgenland). – Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, **41**, 74 S., Eisenstadt.
- SCHUBERT, G., HÖRFARTER, C., RÖMER, A., BIEBER, G., AHL, A. & MOTSCHKA, K. (2013): Endbericht BA20 Phase5/2012: Karstwasserführende Gesteine im Burgenland. – Unveröffentlichter Bericht, 158 S., Wien.
- SLAPANSKY, P., MOTSCHKA, K., BIEBER, G., AHL, A., WINKLER, E., SCHATTAUER, I. & PAPP, E. (2017): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Wörgl. – Unveröffentlichter Endbericht, ÜLG20/28/35, Wien.
- TOLLMANN, A. (1953): Das Neogen am Südwestrand des Leithagebirges zwischen Eisenstadt und Hornstein. – Dissertation, Philosophische Fakultät der Universität Wien, 225 S., Wien.

- BGBL. NR. 246/1947: Bundesgesetz vom 22. Oktober 1947 über die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Mineralien (Lagerstättengesetz). Gesamte Rechtsvorschrift für Lagerstättengesetz: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10006202> (Fassung vom 29.03.2017).