

Donnerstag 19. Oktober 2017

18:00-18:30

Geophysikalische Methoden zur Erkennung, Charakterisierung und Überwachung von Naturgefahren

Mag. K Zorn MSc

Terradat – Geophysical Innovation (Vereinigtes Königreich, Spanien, Italien, Österreich)

1. Einleitung

Die Anwendung von geophysikalischen Methoden als Vorbereitung zur Planung von oberflächennahen bis hin zu tiefgründigen Projekten jeglicher Art ist im internationalen Raum sehr gefragt und manchmal sogar per Gesetz verordnet. So werden Elektromagnetik, Magnetik, Seismik, Elektrik, Gravimetrie, Radar und andere geophysikalische Methoden gezielt angewendet, um den Untergrund zu erforschen. Durch die umweltverträgliche Datensammlung an der Oberfläche und der geringen Aussetzung an Gefahren kann Geophysik auch in sehr sensiblen Gebieten angewendet werden. Die Anwendung und Auswertung verschiedenster geophysikalischer Untersuchungen, die zusammen ein kohärentes Bild des Untergrundes zeigen, liefern kostengünstig und schnell unverzichtbare Ergebnisse. Im Gegenteil zu den meisten intrusiven Untergrundforschungen ist besonderer Vorteil der Geophysik, dass Anomalien abgegrenzt und herausgefiltert werden, wodurch Verallgemeinerungen vermieden und der tatsächliche Zustand im Boden kartiert wird.

Der Einsatz von Geophysik zur Aufklärung des Untergrundes hat zahllose Anwendungsgebiete die von der Geologie, hin zu Archäologie, Bauwesen oder Umweltschutz reichen. Hier soll die Verwendung von Geophysik zur Aufklärung von potentiell gefährlichen Naturereignissen für den Menschen besprochen werden. Die Erkennung, Charakterisierung bis hin zur Überwachung von solchen Naturereignissen spielt in unserem Siedlungsgebiet eine wichtige Rolle, um das Nebeneinander von Mensch und Natur zu gewährleisten und eine sichere Zukunft zu ermöglichen. Folgend werden verschiedene geophysikalische Forschungsmethoden und deren Ergebnisse zu drei Anwendungsgebieten dargestellt: Erkennung von unterirdischer Karstbildung, Charakterisierung von potentiellen Hangrutschungen, und Kartierung von Permafrost(-degradierung).

2. Fallbeispiele zur Verwendung von Geophysik bei Naturgefahren

2.1 Feststellung von Karst- und Hohlraumbildungen im Untergrund

Karst- und Hohlraumbildungen entstehen unter chemischen Prozessen durch Säureverwitterungen von Sedimentgesteinen in Landschaften mit hohem Anteil an Kalziumkarbonaten, wie Kalk, Gips und Kreide. Wann und wo solche chemischen Prozesse im Untergrund stattfinden, ist von der Oberfläche meist nicht ersichtlich und wird erst festgestellt, wenn sich Hohlräume zur Oberfläche "durchnagen", diese plötzlich nachgibt und einbricht. Um solche Überraschungen zu verhindern und einen Blick in das Innere des Bodens zu gewährleisten, wird Geophysik angewendet. Ein Einsatz solcher Untersuchungen wird vor allem bei Bautätigkeiten in geologisch kritischen Gebieten herangezogen oder um eventuelle Hohlraumbildung nach besonderen Wetter- oder Flutereignissen auszuschließen.

In der nachgestellten Fallstudie galt es, eine Fläche von ungefähr 12 Hektar auf Karst und Hohlraumbildungen zu untersuchen, um die Planung eines Sportstadions den geologischen Gegebenheiten anzupassen. Bei dem Areal handelte sich um geackertes Land, insgesamt auf vier Felder aufgeteilt (Abb. 1). Die Geologie des Gebietes umfasst in sich geschichtetes Kalk- und Tongestein des Jura und liegt an der Südküste von Wales in Großbritannien. Das Gebiet ist generell für Erdabsackungen bekannt; in direktem Anschluss an das zu untersuchende Gebiet befand sich ein ungefähr 10m tiefer Graben, der Resultat einer Hohlraumbildung mit folgender Erdabsackung ist. Ansonsten waren keinerlei Depressionen an der Oberfläche ersichtlich gewesen.



Abbildung 1: Links – Überblick über das Untersuchungsgebiet, Satellitenbild in Gelb unterlegt (Bing, 2017).
Rechts – Blick auf einen Teil des Gebietes (von Osten aus).

Aufgrund der vorliegenden Geologie wurde eine Kombination von zwei verschiedenen, einander gut ergänzenden geophysikalischen Methoden ausgewählt, um Merkmale von Karstbildung bestmöglich festzustellen zu können. Als erste Untersuchung wurde die elektromagnetische Kartierung angewendet, um eine komplette, horizontale Flächenabdeckung zu gewährleisten. Aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften von Kalk- und Tongestein stellt die geophysikalische Kartierung Unterschiede des Bodens je nach untersuchender Frequenz bis in Tiefen von vier Metern sehr gut dar. Zur Datensammlung wurde ein GEM2 mit Multifrequenz und GPS Lokalisierung verwendet. Die Felder wurden in Nord-Süd Richtung in Abständen von drei Metern in parallelen Linien abgedeckt.

Die Auswertung der elektromagnetischen Kartierung (EM) zeigte eine generell hohe Vielfaltigkeit des Gebietes und eindeutig abgrenzbare Zonen unterschiedlichen Charakters, die von der oberflächlichen Betrachtung keineswegs ersichtlich gewesen wäre (Abb. 2). Die Untersuchung kartierte Zonen mit hoher elektromagnetischer Leitfähigkeit, was auf Gebiete mit höherem Feuchte- und/oder Tongehalt hindeutet. Im Gegensatz dazu wurden Areale mit geringerer elektromagnetischer Leitfähigkeit kartiert, was einen trockeneren, körnigeren Untergrund markiert.

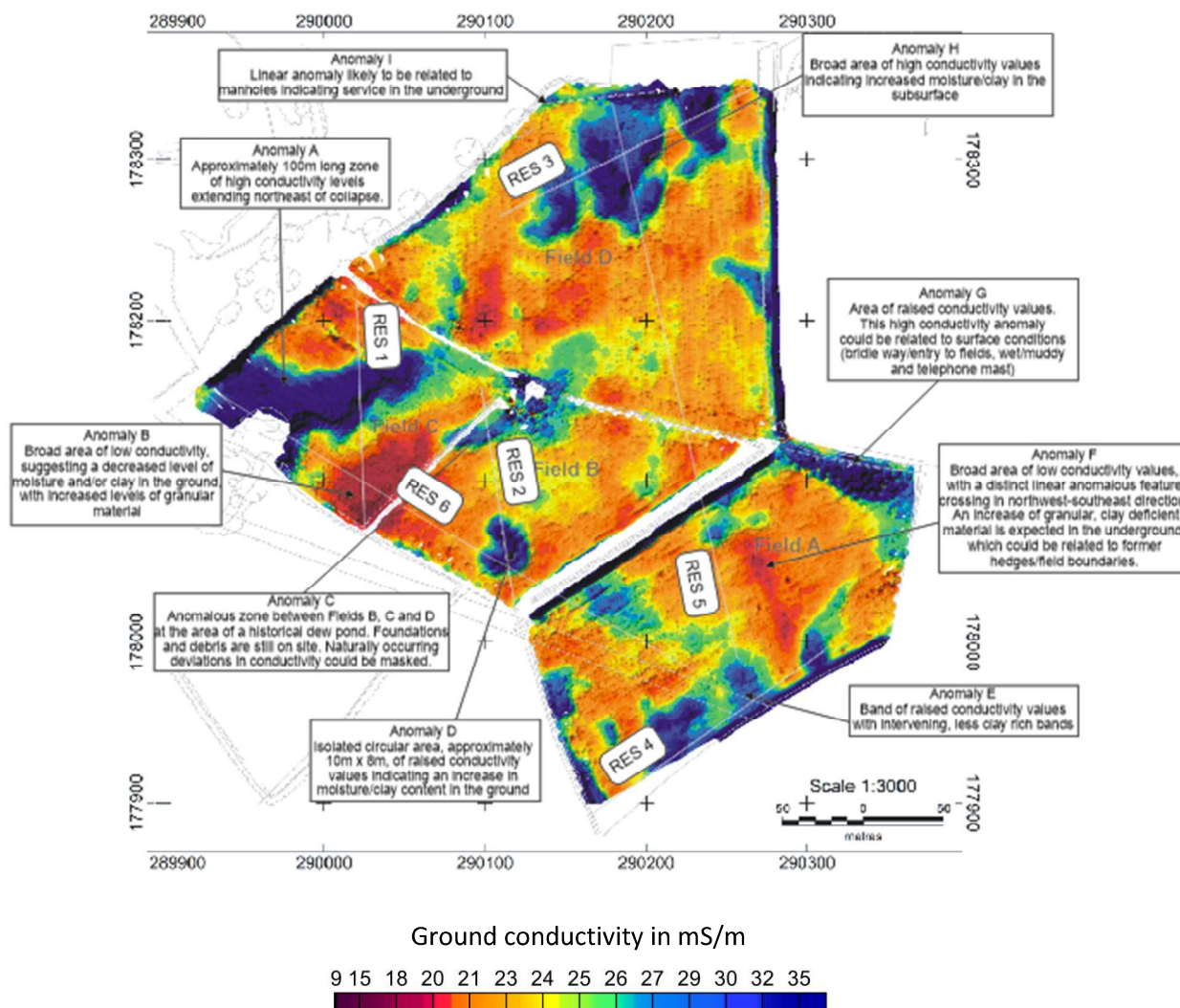


Abbildung 2: Ergebnis der elektromagnetischen Kartierung (hohe elektromagnetische Leitfähigkeit in blau).

Obwohl die Qualität und die Auswertung der gesammelten EM Daten das Gebiet oberflächlich (bis zu ungefähr vier Meter Tiefe) sehr gut charakterisiert haben, wurde zusätzlich eine zweite Untersuchungsmethode angewendet, um nicht nur einen horizontalen sondern auch einen vertikalen Einblick in den Untergrund zu bekommen.

Die elektrische Widerstandstomographie (ERT) wurde nach Auswertung der EM Kartierung gezielt eingesetzt, um anormale oberflächennahe Zonen mit einem 2D Tiefenprofil auf deren Entwicklung in die Tiefe zu überprüfen. Ziel dieser Untersuchung war es, eventuell trichterförmige Gesteinsveränderungen zu finden.

Insgesamt wurden sechs ERT Profile über EM Anomalien in verschiedenen Zonen gelegt (Abb. 2). Die Auswertung der Profile ergab eine ausgezeichnete Korrelation mit den EM Daten. Darin wurden oberflächennahe Anomalien bestätigt und deren Entwicklung in die Tiefe kartiert. Des Weiteren wurden trichterförmige Veränderungen im Untergrund erkennbar. Insbesondere war dabei feststellbar, dass diese Trichter zu Erdabsackungen in der Vergangenheit geführt haben müssen und solche Erdabsackungen

künstlich mit Material aufgefüllt worden sind. Dies wurde dadurch belegt, dass sich auffällig hochohmsches Material über diesen Trichtern befunden hat (Abb. 3).

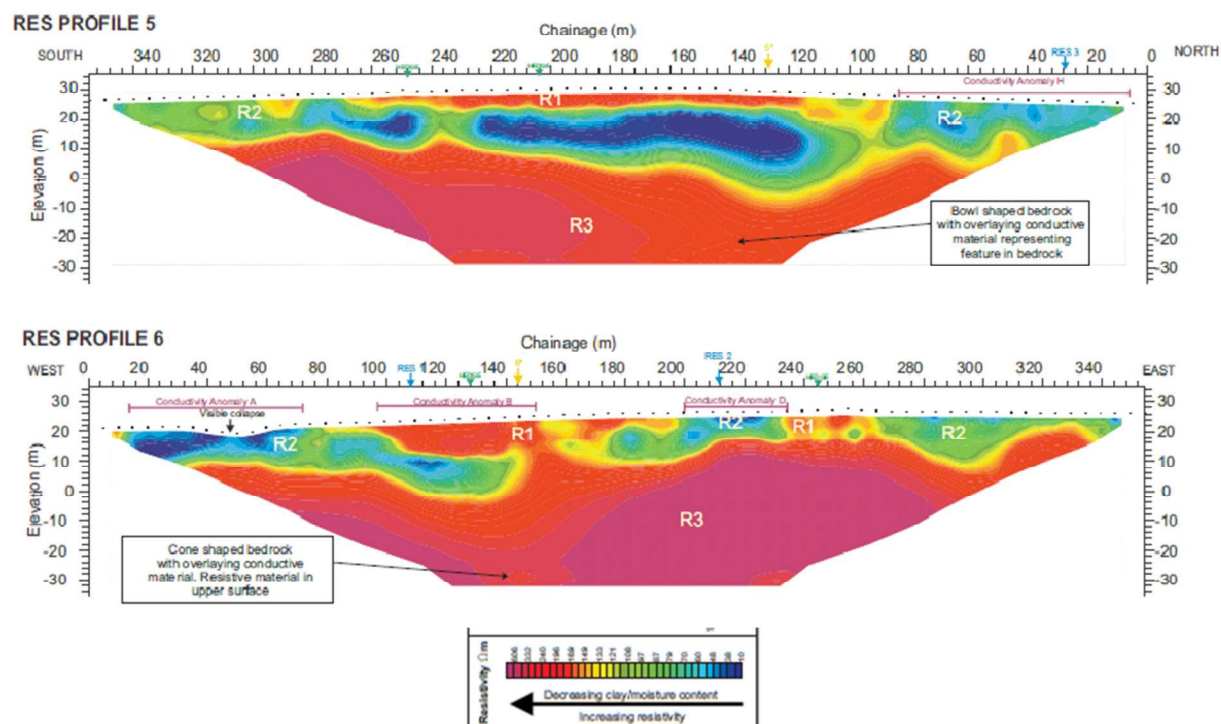


Abbildung 3: Zwei Beispiele (RES 5 und RES 6) der elektrischen Widerstandstomographie, die trichterförmige Einbuchtungen im Festgestein anzeigen (für Korrelation mit EM Kartierung und Lage von RES 5 und RES 6 siehe Abbildung 2)

Nachdem die gesammelten Daten klare Ergebnisse geliefert haben, war es an dieser Stelle vorerst nicht notwendig, weitere Untersuchungen vorzunehmen und das Projekt wurde mit einer Kartierung von Karstbildungen im Untergrund abgeschlossen.

Je nach Gebiet wäre auch eine gravimetrische Untersuchung sehr gut anwendbar, um Höhlen oder Leerräume zu kartieren. Dabei wird die Anziehung der sich unter dem Instrument befindenden Masse mit hochsensiblen Instrumenten gemessen und kleinste Abweichungen der lokalen Gravität festgestellt. Ein gemessenes Hoch oder Tief gibt Auskunft über Massenunterschiede, die wiederum Rückschluss auf geologische Eigenschaften geben kann.

Das Bodenradar (GPR) kann auch erfolgreich eingesetzt werden, um Charakteristiken des Untergrundes in Verbindung mit Karst- und Hohlraumbildung zu kartieren. Reflektoren, die abfallende Schichten des Bodens charakterisieren, Diffraktionen, die direkt auf Hohlräume hinweisen können oder variierende Signalstärke des GPR, die auf verschiedene Materialien des Bodens Aufschluss gibt, werden in der Interpretation von Karst erfolgreich angewendet (Abb. 4).

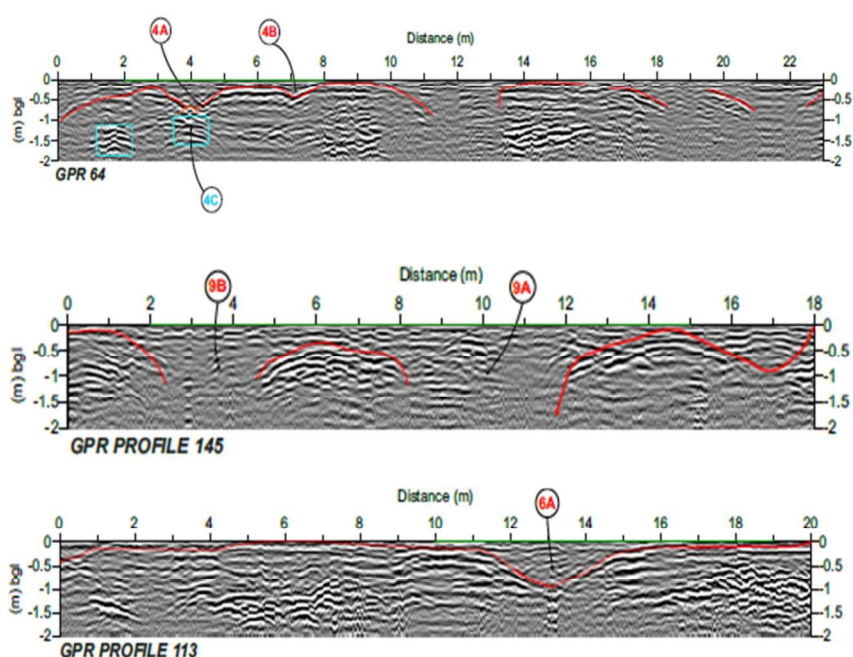


Abbildung 4: Beispiele von GPR Profilen gesammelt während eines Projektes zur Lokalisierung von bodennahen Karst in Kreide mit besonderen Boden-anomalien in rot/blau. Nach Auswertung der geophysikalischen GPR Daten wurden Anomalien am Boden gezielt freigelegt (rechts in Bildern).

2.2 Charakterisierung von Hangrutschungen

Landrutschungen kommen je nach Gebiet und Verhältnissen sehr verbreitet in verschiedensten Formen vor. Dabei kann es sich von kleinen Abrissen hin zu großen, tiefen Landrutschsystemen handeln, die sich schneller oder langsamer entwickeln können. Meist ist eine Vorhersage wann und wo sich ein Landrutsch ereignet nicht möglich. Daher wird in kritischen Gebieten oft eine geophysikalische Untersuchung angeordnet, um Planung und Sicherungsmethoden gezielt einzusetzen und möglichen Katastrophen vorzubeugen.

In der nachgestellten Fallstudie galt es einen Hang oberhalb einer stark befahrenen vierspurigen Landesstrasse genauer zu untersuchen (Abb. 5). Dabei war Aufbau, Charakter und Geologie der Schräge vorrangiges Untersuchungsziel. Das Gebiet ist für einen durch den Straßenbau angeschnittenen Hang repräsentativ und umfasste ungefähr 21 Hektar mit Hanggefälle in West-Ostrichtung, parallel hin zur Straße. Die Topographie der Schräge variierte stark mit kleineren terrassenförmigen Ebenen und Rinnen im oberen, bewaldeten Gebiet des Hanges und einer steilen Böschung am Fuß hin zur Landesstrasse. Weitere Charakteristika waren Kanäle zur Hangentwässerung (Abb. 6).

Der Hang ist für immer wieder auftretende kleinere Rutschungen bekannt mit einem Gebiet, das als aktive Landrutschzone gilt. Geologische Gegebenheiten umfassen eingebetteten relativ flachen Sandstein mit Tongestein von der St Maughans Formation.



Abbildung 5: Links – Lage des Gebietes, Untersuchungsprofile in rot und blau (Satellitenbild Google, 2017).
Rechts – DTM des untersuchten Gebietes.



Abbildung 6: Links – Oberer Teil des Untersuchungsgebietes. Rechts – Unterer Teil des Untersuchungsgebietes
und angrenzende Landesstrasse.

Als Untersuchung des Untergrundes wurde eine seismische Refraktion durchgeführt. Diese Methode bietet die Möglichkeit, Ausbreitungsgeschwindigkeiten zweier verschiedener Wellen im Untergrund aufzuzeichnen, die Rückschlüsse auf Aufbau, Geologie und Stärke des Untergrundes erlauben (P-Wellen - Kompressionswellen; S-Wellen - Schwerwellen; MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen variiert je nach geologischen Gegebenheiten, wodurch eine Unterscheidung von verschiedenem Material in Schichten zum Aufbau der Böschung möglich ist (Abb. 7). In diesem Projekt wurden insgesamt fünf seismische Profile ausgelegt, drei in Längsrichtung des Hanges, zwei im rechten Winkel zum Hanggefälle (72 Kanäle im 2m Abstand mit einer Geode, Wellenerzeugung durch manuellen Einsatz von Hammer und Stahlplatte sowie Verwendung von Buffalo-Gun mit Schwarzpulvergeschossen von 12 und 8 Gauge).

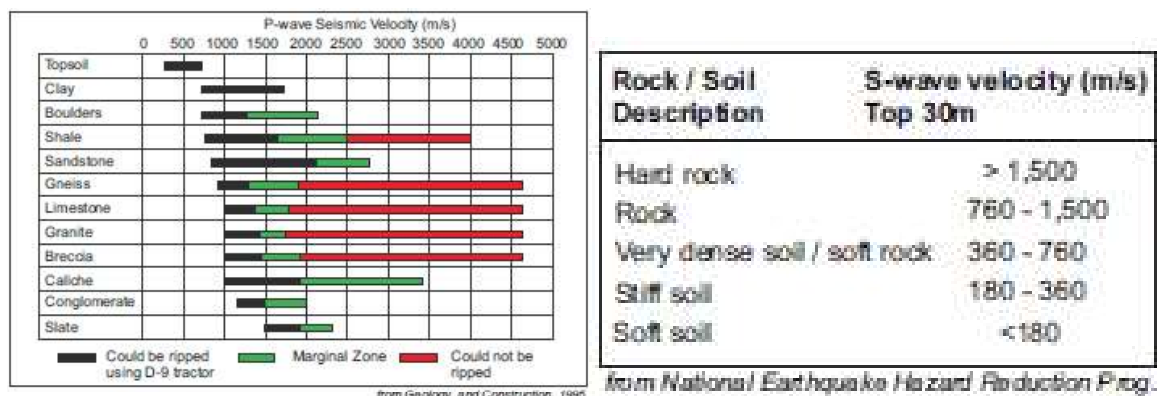
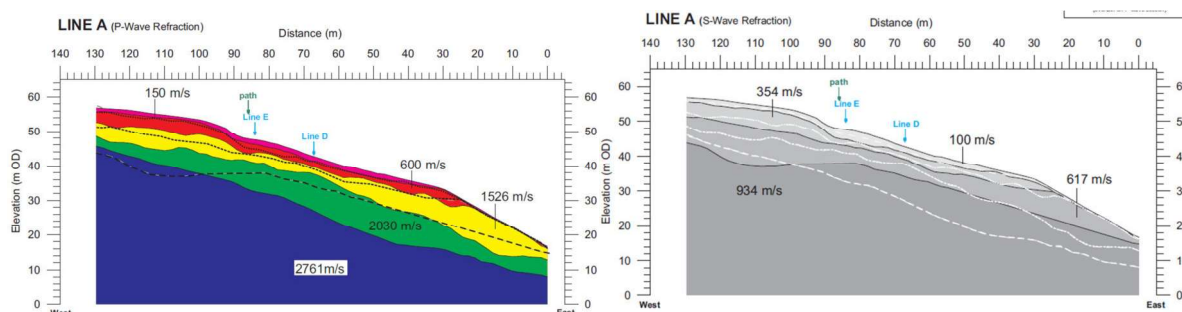


Abbildung 7: Tabelle für charakteristische Ausbreitungsgeschwindigkeiten von P- und S-Wellen in verschiedenen geologischen Gegebenheiten (individuelle Quellenangabe in Abbildung).

Als zweite Methode wurde die elektrische Widerstandstomographie durchgeführt, die den Vorteil hat, geologische, vor allem aber hydrologische Eigenschaften des Hanges zu kartieren. Dafür wurden fünf Profile mit je 72 Kanälen (Elektrodenabstände von je 2m) gelegt, um ein passendes Verhältnis von Tiefe und Detail zu gewährleisten.

Beide geophysikalischen Anwendungen lieferten gute Ergebnisse trotz vorhandener topographischer Schwierigkeiten. Mithilfe der seismischen Refraktionsdaten wurde eine Charakterisierung aufgrund klarer Schichten unterschiedlicher Wellengeschwindigkeiten möglich, die zur Aufklärung des Hangaufbaus geeignet waren. Die elektrische Widerstandstomographie hat klare Daten zu Lithologie, Hydrologie, Struktur und Verwitterung des Gesteines geliefert. Die Profile sind dadurch charakterisiert, dass eine resistive Schicht einer leitenden Schicht überliegt. Durch Eingliederung der seismischen Untersuchungsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um überlagerndes Sediment auf verwitterndem Muttergestein befindet. Neben der Auskunft zum Hangcharakter, Aufbau und den hanginternen hydrologischen Gegebenheiten (Abb. 8) zeigten die Untersuchungen außergewöhnlich heterogene Verhältnisse entlang des Hanges auf, die sich mehr oder weniger auf die Rutschbereitschaft verschiedener Hangabschnitte auswirkt.



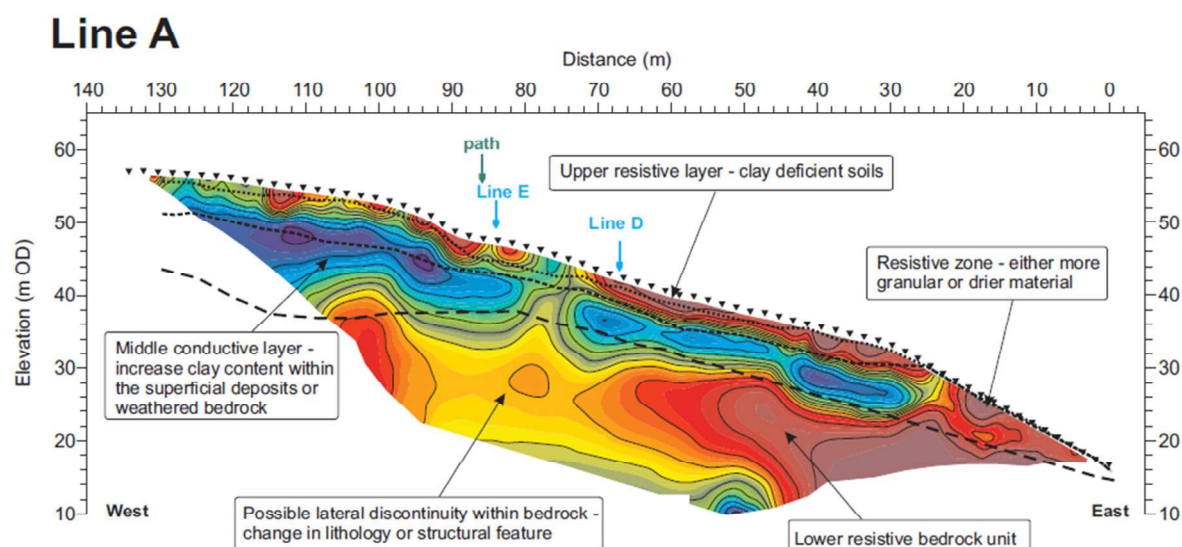


Abbildung 8: Beispiel eines Ergebnisses der geophysikalischen Untersuchung (seismische Refraktion und elektrische Widerstandstomographie).

Neben der geophysikalischen Bestandsaufnahme an diesem Hang wird in naher Zukunft ein umfangreiches Monitoring-Projekt begonnen, das über einen längeren Zeitraum Aufzeichnungen zu Entwicklung und Bewegungen am Hang macht. Die Installation eines AquaTerra Groundwater Flow Monitor wird den Wasserausfluss entlang des Hanges zu verschiedenen Zeiten und Gebieten messen und aufzeichnen. Des Weiteren wird der Hang mit einem 3D Laser Scanner flächenmäßig in zeitlichen Abständen genauestens aufgezeichnet und Oberflächenveränderungen visualisiert (Abb. 9).

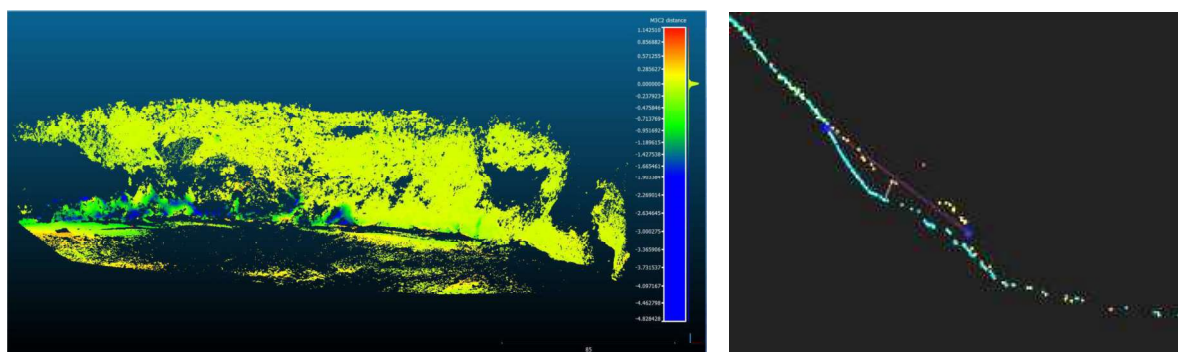


Abbildung 9: Beispiele von 3D Datensets. Links – Vorderansicht eines Hanges mit Erosionsflächen gekennzeichnet in blau, unveränderte Gebiete in grün/gelb. Rechts – Seitenansicht einer erodierten Fläche am Fuß einer Böschung (Gelb/Erstaufzeichnung, blau/zweite Aufzeichnung).

2.3 Auszug zur Feststellung von Permafrost(-degradierung) mit Hilfe geophysikalischer Methoden

In der dritten wenn auch nicht als vollständig besprochenen Fallstudie soll aufgrund der Aktualität im alpinen Raum und Lokalität des *Geoforums Tirol* kurz auf geophysikalische Methoden und deren Aufklärung in Bezug auf Permafrostdegradierung eingegangen werden. Für genaue Details zu dem Projekt sind die Artikel in der Literaturangabe zu beachten.

1997 wurde von der EU das Project PACE (*Permafrost and Climate Change in Europe*) ins Leben gerufen, um Permafrostverbreitung in Gebieten von Norwegen hin nach Spanien zu untersuchen (Abb. 10). Neben intrusiven Untersuchungen wurde auch die Geophysik angewendet, um in besonders schwer erreichbaren Gebieten flächendeckend den Untergrund zu erforschen und zu überwachen.



Abbildung 10: Forschung im hochalpinen Gelände im Rahmen der PACE Study.

Permafrost ist seit Jahren rückgängig und taut bis in hochgelegene Gebiete auf. Dies kann sich von lokaler Instabilität bis hin zu weitreichenden Folgen auf das Ökosystem auswirken.

Hauptziel der Untersuchungen war es, interne Strukturen, Dicke und Verbreitung von Permafrost zu kartieren und zu erforschen. Zur geophysikalischen Untersuchung wurde eine breite Palette an Methoden angewendet (Refraktionsseismik, DC elektrischer Widerstand, GPR Bodenradar, elektromagnetische Induktion, Radiometrie Passive Microwave (11,4GHz) für BTS (Bottom Temperature of Snowcover)).

Die Resultate der geophysikalischen Forschungen (hier in stark gekürzter Form zusammengefasst) ergaben, dass Permafrost sehr gut mit einer Kombination von seismischer Refraktion und elektrischer Widerstandstomographie kartiert werden kann. Die Identifikation innerhalb einer Abfolge von Sedimenten verlangt die Beobachtung einer Schicht oder linsenförmigen Bildung im Untergrund die beides – sehr hohen elektrischen Widerstand und sehr hohe seismische Wellengeschwindigkeit – aufzeigt. Nachdem die beiden geophysikalischen Methoden auf verschiedenen physikalischen Prinzipien beruhen, liefern sie ergänzende Informationen für die Interpretation.

Die seismische Refraktion unterschied verschiedene Wellengeschwindigkeiten im Untergrund zwischen Schichten von aktivem Permafrost (800-1000m/s), Permafrost (4000-7000m/s), gefrorenem Material (3000-3500m/s), und in Permafrost freiem Gebiet (1500m/s).

Unter Verwendung des Ohmschen Widerstandes wurde auch erfolgreich zwischen Permafrost aktiver Schicht (20 k Ω m), Permafrost (100-200k Ω m), Permafrost freiem Gebiet (1-5 k Ω m), gefrorenem Gestein (50-150 k Ω m) und ungefrorenem Gestein (10-25 k Ω m) unterschieden (Abb. 11).

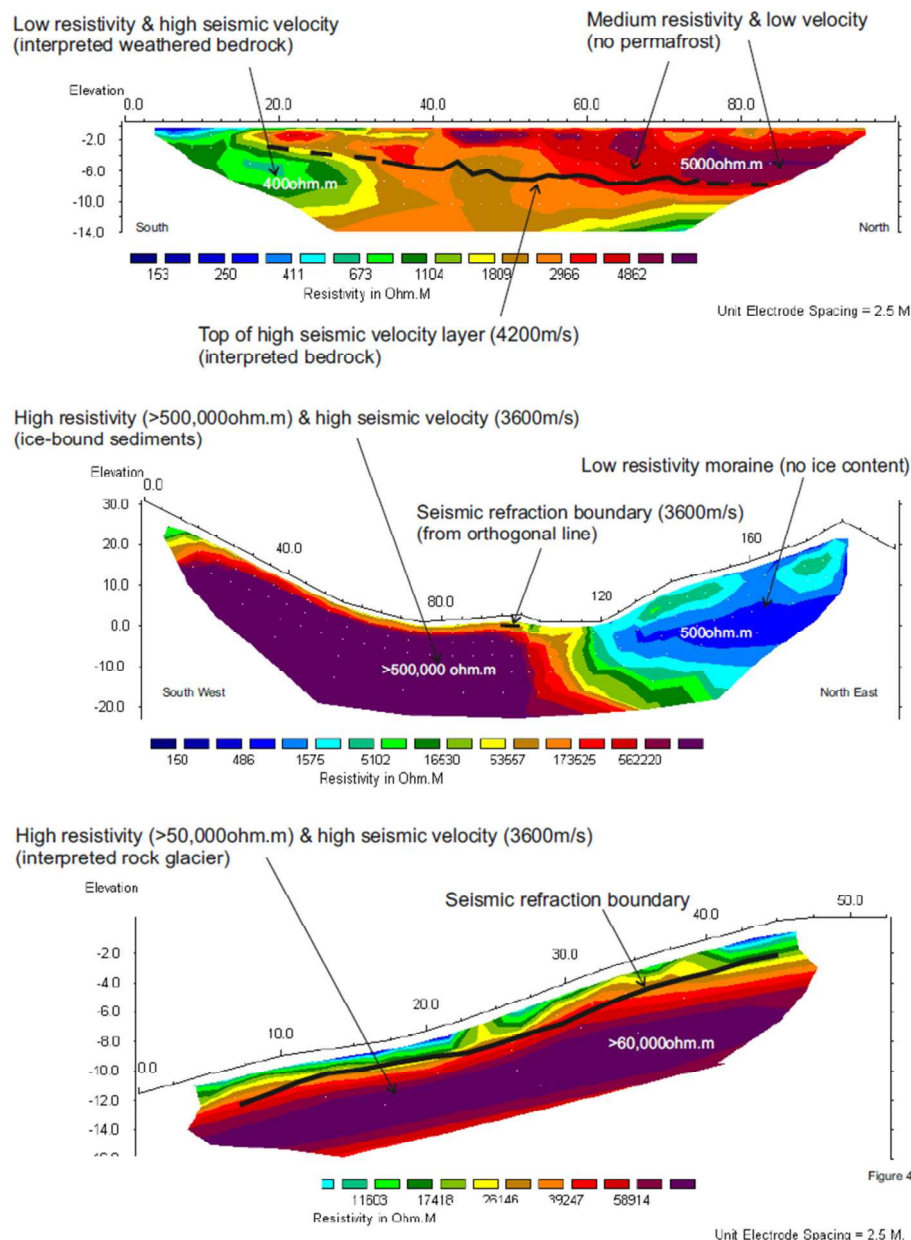


Abbildung 11: Beispiele von seismischer Refraktion und elektrischer Widerstandstomographie zur Permafrostkartierung an drei verschiedenen Standpunkten im Rahmen der PACE Study (Eigener Datensatz bearbeitet, publiziert in Mühl et al., 2001 und Hauck et al. 2000).

3. Schlussfolgerung

Dank der breiten Palette an geophysikalischen Anwendungen und Möglichkeiten der Messung kann auf individuelle Charakteristiken des Untergrundes eingegangen und Forschungsobjekte gezielt untersucht werden. Der Einsatz von verschiedenen sich ergänzenden geophysikalischen Methoden erhöht Interpretierbarkeit und Charakterisierung von Anomalien. Somit findet Geophysik nicht nur in der Erkennung und Charakterisierung von verschiedensten Naturgefahren Verwendung, sondern bietet auch zur generellen Charakterisierung des Untergrundes Aufklärung.

4. Literatur/Quellen:

- Daten und Grafiken: gesammelt, bearbeitet und erstellt von Terradat, UK.
- Satellitenbilder: Bing und Google Satellitenbilder, 2017.
- Information zu Permafrost PACE Untersuchung erhältlich unter :
 - D. Mühl, C. Hauck, H. Gubler, R. McDonald and N. Russill (2001). New Geophysical Methods of Investigating the Nature and Distribution of Mountain Permafrost with Special Reference to Radiometry Techniques. In: PERMAFROST AND PERIGLACIAL PROCESSES, Permafrost Periglac. Process. 12: 27–38.
 - C. Hauck, D. Vonder Mühl, N. Russill and K. Isaksen (2000). An integrated geophysical study to map mountain permafrost: A case study from Norway.