

## **Detektion unbekannter Hohlräume mit Geoelektrik**

Robert SUPPER

**Robert Supper, David Ottowitz, Birgit Jochum, Axl Römer, Ingrid Schattauer, Klaus Motschka**

Geoelektrische und elektromagnetische Methoden sind Messverfahren, bei denen der spezifische elektrische Widerstand des Untergrundes bestimmt wird. Diese hängt hauptsächlich ab von der Porosität des Untergrundes, der Sättigung und der Leitfähigkeit des Porenwassers.

Bei der geoelektrischen Messmethode bedient man sich meist einer linearen, symmetrischen Elektrodenkonfiguration, wobei die Außenelektroden den Strom einspeisen und die Innenelektroden die Potentialdifferenz messen. Das Prinzip einer herkömmlichen geoelektrischen Tiefensondierung besteht darin, durch Variation des Außenelektrodenabstandes verschiedene Tiefen zu erfassen. Um zweidimensionale Aufnahme des Untergrundes zu ermöglichen, wurden Multielektrodenanordnungen entwickelt, die aus einer Messeinheit und bis zu 256 automatisch steuerbaren Elektroden bestehen. In der Folge werden von einer Steuereinheit automatisch durch Zusammenschalten der entsprechenden Tiefensondierungen bis zum maximal möglichen Außenelektrodenabstand gemessen. Aus den

Pseudowiderständen wird mit einem Inversionsverfahren ein Modell der Widerstands-

Tiefenverteilung berechnet. So erhält man den Widerstandsaufbau des Untergrundes. Das Ergebnis sind Profilschnitte, wobei die Darstellung der Topographie entlang der Profile berücksichtigt werden kann.

Bei der elektromagnetischen Methode wird die Messung des Widerstandes kontaktlos in induktiver Art mittels Spulen durchgeführt. Diese Methode kann auch großflächig vom Hubschrauber aus durchgeführt werden.

Für die Einsetzbarkeit beider Methoden ist ein entsprechend hoher Widerstands-Kontrast zwischen der natürlichen Umgebung und der aufzuspürenden Struktur Voraussetzung. Im Fall der Detektion von Hohlräumen ist diese Voraussetzung im Allgemeinen eher nicht erfüllt. Diese Methode eignet sich daher nicht generell zur Erkundung von Hohlräumen. So sind zum Beispiel Hohlräume und Höhlen im trockenen Karst oder Hohlräume in Beton aufgrund des fehlenden Kontrastes (beide Körper besitzen jeweils einen sehr hohen elektrischen Widerstand) kaum zu erkunden. Hierbei entscheidet auch noch das Verhältnis Durchmesser des Hohlraumes zur Tiefenlage über sinnvolle Ergebnisse. In Spezialfällen, bei denen ein entsprechend hoher Widerstandskontrast zwischen Untergrund und Hohlraum zu erwarten ist, ist allerdings sehr wohl mit aussagekräftigen Ergebnissen zu rechnen. Solche Fälle treten vor allem ein, wenn ein Hohlraum mit einer sekundären Substanz aufgefüllt wird. So konnten zum Beispiel in Yucatan, Mexico, mit Salzwasser gefüllte Höhlensysteme sowohl mit Geoelektrik (Abb. 1 und 2) als auch mit Aeroelektromagnetik (Abb. 3) präzise auch großflächig lokalisiert werden. Weiters konnte in Hallstatt (Abb. 4) der Hohlraum eines mit Schlamm gefüllten historischen Bergbaues abgegrenzt werden. Gute Einsatzmöglichkeiten ergeben sich auch bei Hohlräumen in niederohmigem Ton oder Löß oder eventuell im Gipskarst.

Eine weitere Anwendung von Geoelektrik zur Aufspürung von Hohlräumen ist der Einsatz von Monitoring. Hierbei werden zweidimensionale Profile in festem zeitlichen Abstand wiederholt gemessen und die Daten als ein Datensatz gemeinsam in ein Änderungsmodell

umgerechnet. Geschehen zwischen den Messungen Änderungen im Untergrund, werden zum Beispiel Hohlräume mit Wasser oder Salztracer geflutet, so kann mit dieser Methode die Lage von Hohlräumen genau detektiert werden. Dieses Verfahren kommt bei der Dichtheitsüberprüfung von Dämmen (Abb. 5) oder bei der Überwachung von Tunnelvortrieben zum Einsatz und kann auch als Vorwarnsystem eingesetzt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass elektrische Methoden sicher nicht die erste Wahl bei der Detektion von Hohlräumen sind, sie sehr wohl in vielen Spezialfällen hochauflösende Ergebnisse liefern können. Zur Beurteilung der Einsatzmöglichkeit ist allerdings eine genaue Evaluierung der lokal vorliegenden Untergrundverhältnisse vor der Messung Voraussetzung.

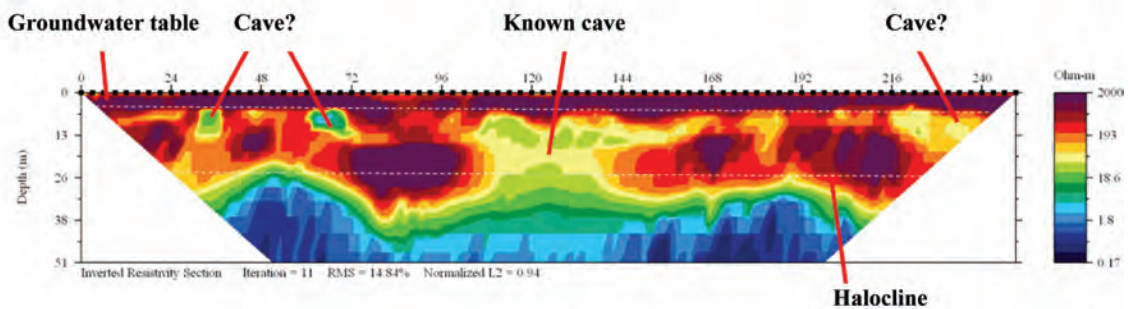


Abbildung 1: Ergebnis eines geoelektrischen Multielektrodenprofils im Karst von Mexiko; die Elektroden wurden an der Oberfläche verlegt; die obere strichlierte Linie gibt die Tiefe des Grundwasserspiegels an, die untere strichlierte Linie die Tiefe der Halokline, also den Übergang von Brackwasser zu Salzwasser; im Bereich des Brackwassers sind klar niederohmige Bereiche (grün bis blaue Farbe) zu erkennen, die auf Höhlen hindeuten.

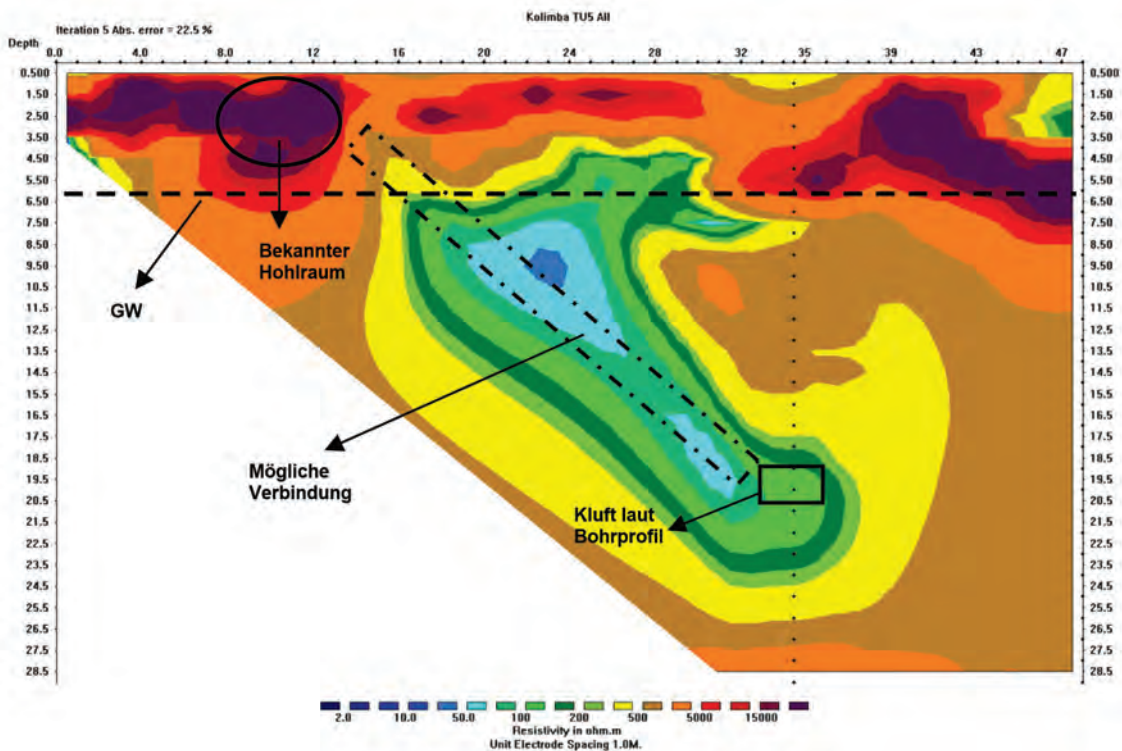


Abbildung 2: Ergebnis einer geoelektrischen Aufnahme ebenfalls aus dem Karst von Mexiko, allerdings wurden diesmal Elektroden an der Oberfläche und in einem Bohrloch (punktierte senkrechte Linie) gesetzt; somit konnte die Auflösung der Geometrie des Höhlensystems stark verbessert werden

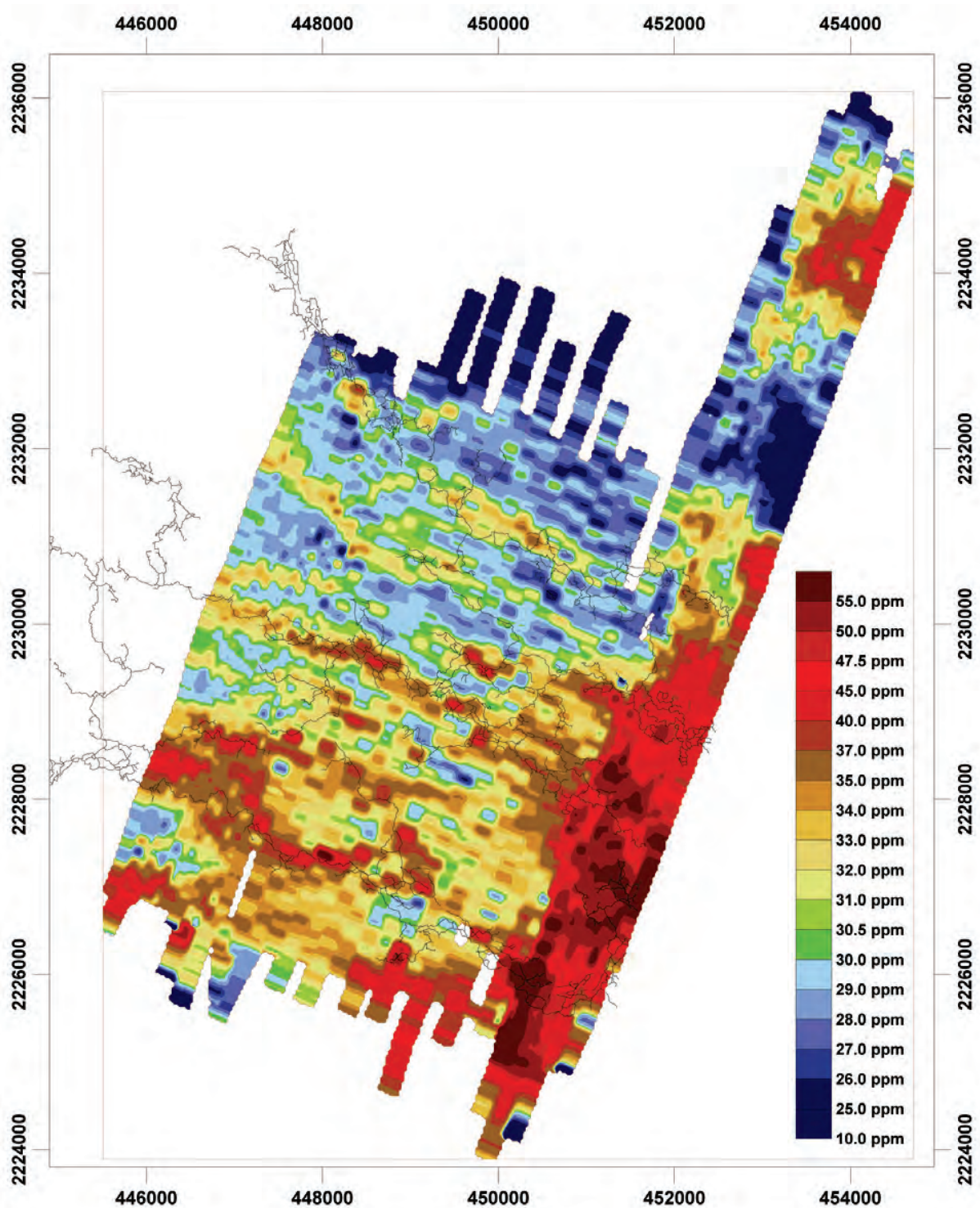


Abbildung 3: Ergebnisse der flächigen elektromagnetischen Kartierung des Untergrundes mittels Aerogeophysik; dargestellt sind direkte Messwerte; hohe Messwerte deuten auf erhöhte Wasserführung hin; die Verbindung der Zonen mit erhöhter Leitfähigkeit korreliert gut mit den bekannten Höhlensystemen (in schwarz eingetragen); mit dieser Aufnahme konnten in Zusammenarbeit mit den Höhlentauchern vom Xibalba Dive Centre neue Höhlensysteme entdeckt werden; indirekt trugen diese Messungen auch zur Entdeckung des größten bekannten Unterwasserhöhlensystems der Erde bei.

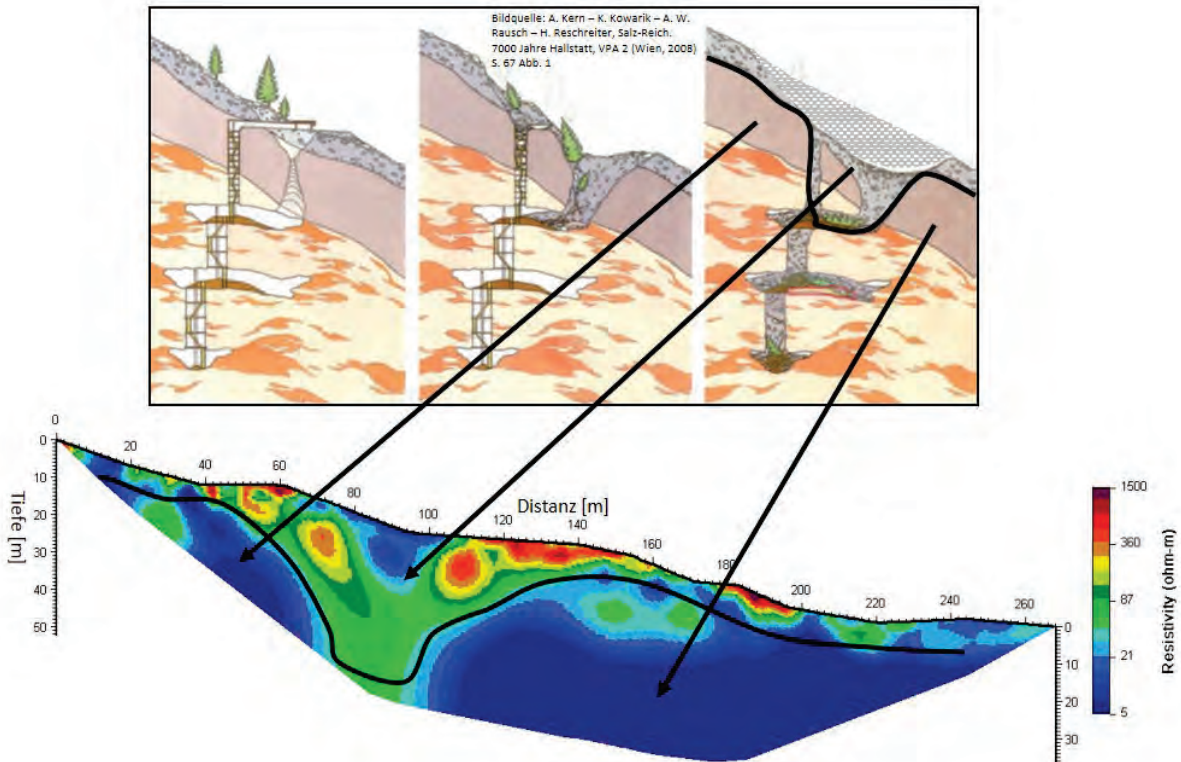


Abbildung 4: Ergebnisse eines geoelektrischen Multielektrodenprofils in Hallstatt; in diesem Bereich bestand früher ein alter Bergbau, der durch eine Hangrutschung zugeschüttet wurde; mit Geoelektrik konnte sowohl Ort als auch Struktur des ehemaligen Hohlraumes detailliert werden.

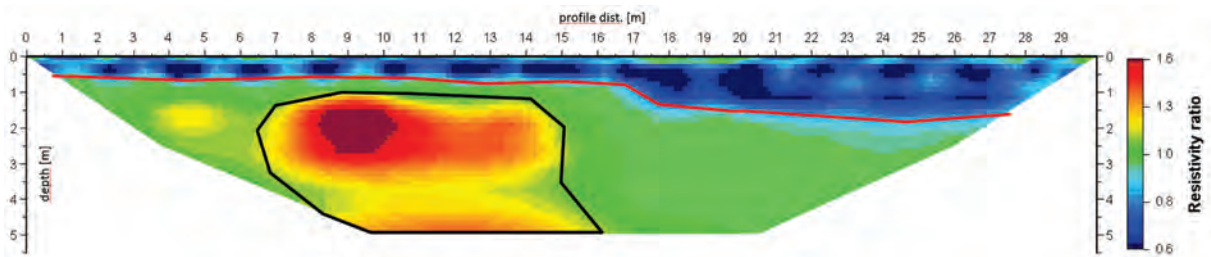


Abbildung 5: Ergebnisse eines geoelektrischen Monitorings an einem Damm im Bereich einer Leckstelle (Hohlraum); die Messungen erfolgten während des Hochwassers (Wasserstand nahe Dammkrone) und danach; dargestellt sind Widerstandsdifferenzen: hohe Werte (gelb-rote Zonen) zeigen eine Widerstandszunahme nach Rückzug des Hochwassers, da das Wasser aus dem Hohlraum oder dem Klufbereich abgeflossen ist. Im restlichen Dammuntergrund bleibt die Durchfeuchtung annähernd konstant; an der Oberfläche ist deutlich eine Widerstandserniedrigung durch einen einsetzenden Regen sichtbar (blaue Bereiche); somit konnte durch geoelektrisches Monitoring bzw. Wiederholungsmessungen ein Hohlraum bzw. ein Bereich mit erhöhter Durchlässigkeit klar abgegrenzt werden.