

Hohlraumerkundung mittels geophysikalischer Methoden: Geoseismik und Georadar

Dieter KOSTIAL

Hohlräume können geologisch z.B. durch Karst oder Gipskarst entstehen oder anthropogene Ursachen haben, wie z.B. alte Bergbaustollen. Beide Arten sind gekennzeichnet durch einen Raum im Untergrund, der entweder mit Luft, Wasser oder tonigem Material verfüllt ist. Zusätzlich kann ein Hohlraum durch die von ihm hervorgerufenen Gebirgsspannungen im Laufe der Zeit aufgelockertes Material bzw. bei Bruch Dolinen-artige Strukturen verursachen, die wiederum verfüllt sein können. Genau diese strukturellen Eigenschaften und ebenso Bereiche mit geringer Festigkeit im Untergrund können durch die bodengeophysikalischen Verfahren Seismik und Georadar bestimmt werden.

Seismik

In der Seismik gibt es unterschiedliche Methoden, um eine Hohlraumortung durchzuführen. Dazu gehören Refraktionstomografie, Reflexionsseismik, Oberflächenwellenseismik und Bohrlochtomografie. Bei den ersten drei Methoden werden Schwingungsaufnehmer (Geophone) in regelmäßigen Abständen entlang eines Profils oberhalb des Hohlraums in den Boden platziert und danach seismische Wellen erzeugt. Als seismische Quellen kommen je nach Anforderung und Gelände ein Fallgewicht (Vakimpak), Hammerschlag oder Kleinstsprengungen zum Einsatz. Bei der Tomografie werden in einem Bohrloch Geophone eingebracht und in einem weiteren auf der gegenüberliegenden Seite des Hohlraums liegenden Bohrloch seismische Wellen erzeugt. Bei allen seismischen Methoden (außer der Reflexionsseismik) können Hohlräume durch Geschwindigkeitsverminderungen im Bereich des Hohlraums (siehe Abb. 1 und Abb. 2) bzw. bei den tomografischen Methoden durch eine fehlende Überdeckung der Strahlenwege, detektiert werden. Die Reflexionsseismik hingegen gibt im Optimalfall einen Hohlraum im Wellenfeld als Diffraktionshyperbel wieder. Es können aber auch Eintiefungen im Verlauf der Reflexionshorizonte auf Hohlräume hinweisen.

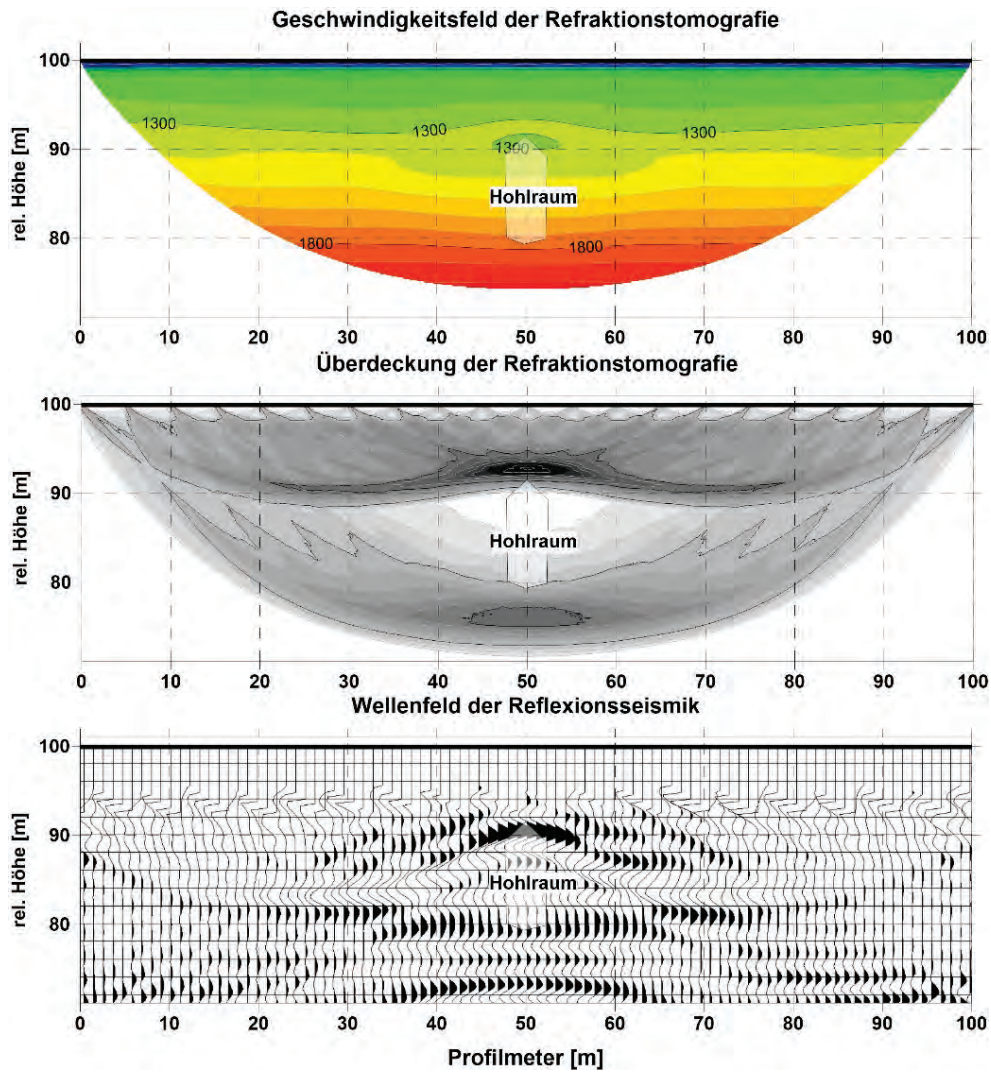


Abbildung 1: Charakteristika einer refraktionstomografischen und reflexions-seismischen Detektion eines Hohlraums anhand eines synthetischen Modells (oben – Minima im Geschwindigkeitsfeld, Mitte – fehlende Strahlenüberdeckung (weiss) im Bereich des Hohlraums), unten – hyperbelartige Reflexionen).

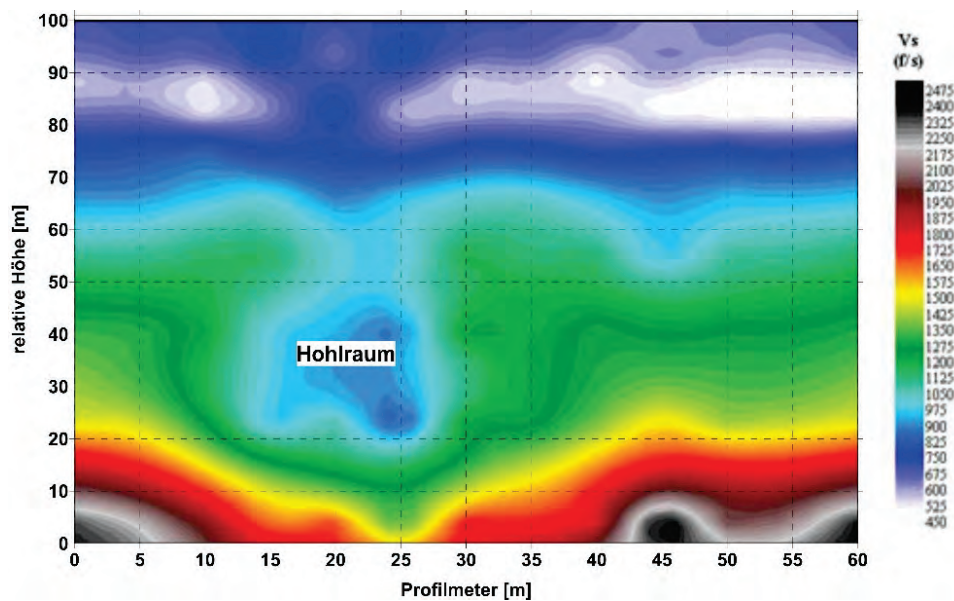


Abbildung 2: Beispiel eines Geschwindigkeitsfeldes einer Oberflächenwellenauswertung (Quelle: Hager GeoScience Inc.)

Zusätzlich ist es möglich, Hohlräume in den seismischen Amplituden zu entdecken, da durch einen Hohlraum große Energiestreuungen im seismischen Wellenfeld verursacht werden. Dies wurde unter anderem in Tunnelstrecken entlang der neuen Eisenbahntrasse Nürnberg – Ingolstadt genutzt, um einen Karst-Indikationsfaktor unterhalb der Sohle zu bestimmen (Abb. 3).

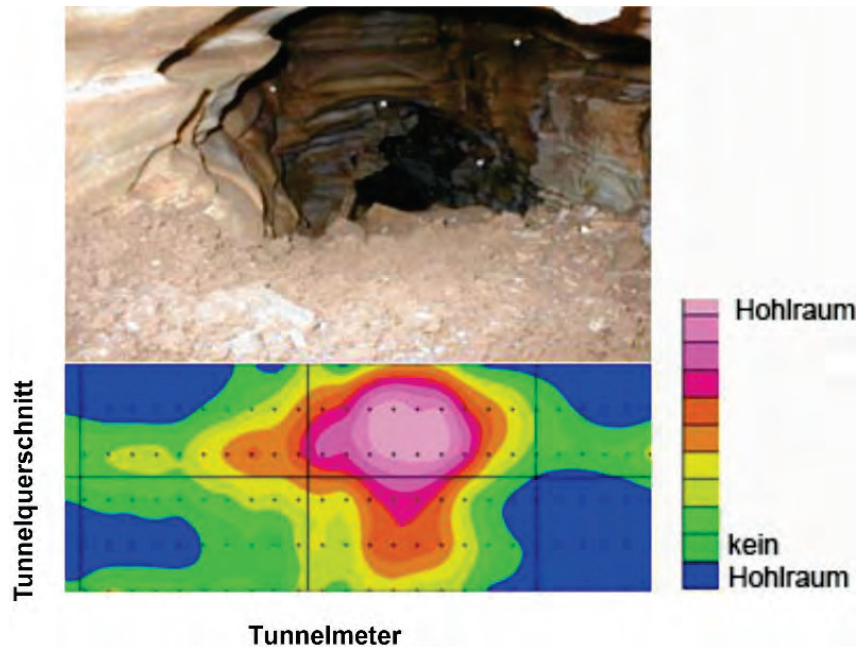


Abbildung 3: Ergebnis von flächenhaften seismischen Messungen an der Sohle in einem Tunnel; unten – Hohlraumverdachtsfaktor, oben – Foto des ausgegrabenen Hohlraums

Ebenso ist es möglich, mit seismischen Methoden Dolinen-artige Erdfälle, also schon eingestürzte Hohlräume zu lokalisieren. Obwohl diese Hohlräume verfüllt sind repräsentieren sie dennoch Schwachstellen im Untergrund, an denen zukünftige Erdfälle stattfinden können. Sie bilden sich in der Refraktionstomografie als Zonen mit niedriger Geschwindigkeit ab und weisen ein meist schüsselförmiges Reflexionsbild (Abb. 4) auf.

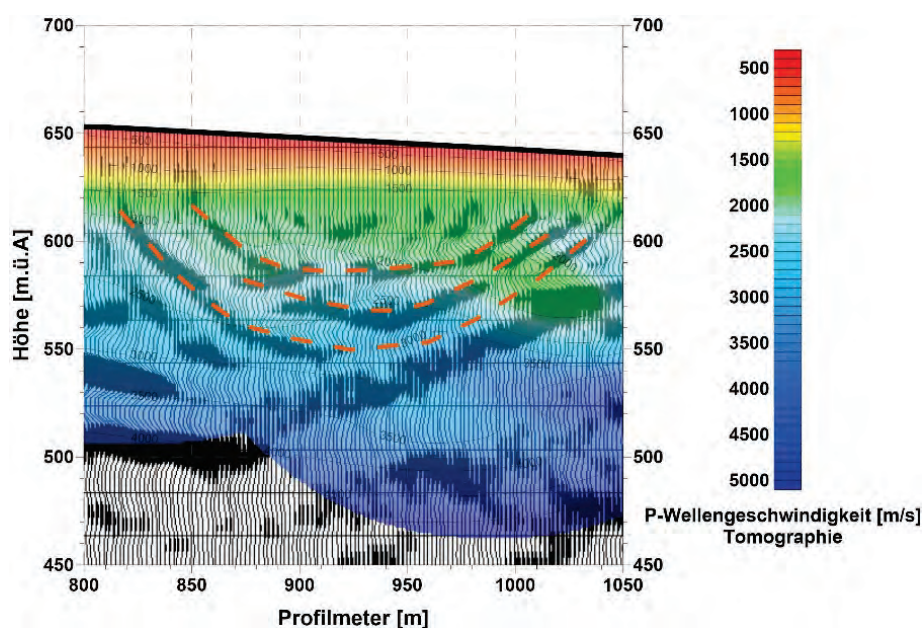


Abbildung 4: Beispiel einer tomografischen und reflexionsseismischen Detektion einer verfüllten Dolinen artigen Erdfallstruktur in Reith, Tirol

Georadar

Ein weiteres Verfahren zur Detektion von Hohlräumen ist das Georadar (Ground Penetrating Radar), das hochfrequente, elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 20 bis 1600 MHz benutzt, die mittels einer Radarantenne erzeugt werden, in den Boden eindringen und an Grenzflächen mit wechselnden elektromagnetischen Eigenschaften (Dielektrizitätskonstante ϵ) reflektiert werden. Meist geschieht dies mit einer konstanten Sender-/Empfänger-Konfiguration, mit der die reflektierten Signale in einer kontinuierlichen Reflexionsmessung aufgezeichnet werden (Radargramm). Maßgeblich für das Reflexionsvermögen ist dabei der dielektrische Kontrast der aufeinander folgenden Materialien. Dieser ist beim Übergang zu luftgefüllten Hohlräumen am größten. Hohlräume mit unregelmäßigen Grenzen erzeugen Diffraktionshyperbeln im Radargramm und können so geortet werden (Abb. 5). Ist der Hohlraum größer, ist die Grenze dazu als durchgängiges Reflexionselement zu erkennen.

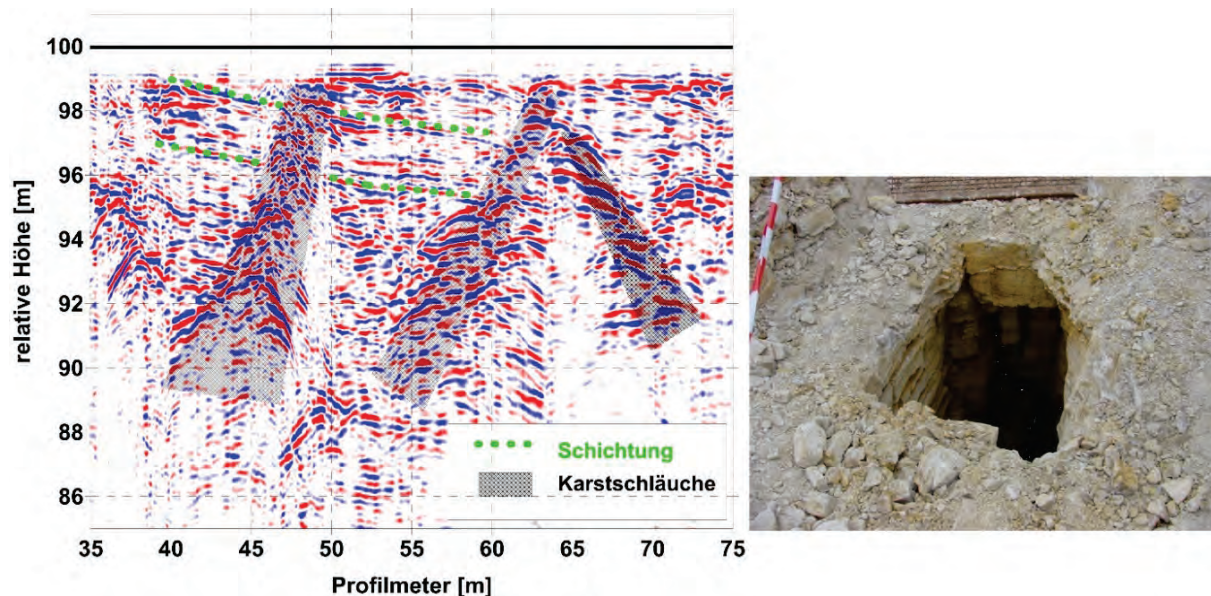


Abbildung 5: Radargramm eines verkarsteten Gebirges mit einer 100 MHz Radarantenne; links: Radargramm und Interpretation, rechts: Foto eines Karstschlauchs

Ein Vorteil dieser Methode ist, dass durch den schnellen und effektiven Messfortschritt auch flächige Messungen mit engen Linienabständen äußerst kostengünstig durchgeführt werden können. Dadurch kann ein horizontales Abbild der Reflektivität des Untergrundes erzeugt werden. Während hohe Amplitudenwerte relativ zur Umgebung auf erhöhte Reflektivität durch Strukturen und Objekte wie zum Beispiel Mauern oder Hohlräume hindeuten, repräsentieren niedrige Amplitudenwerte stark dämpfende, tonige oder lehmige Schichten (Abb. 6).

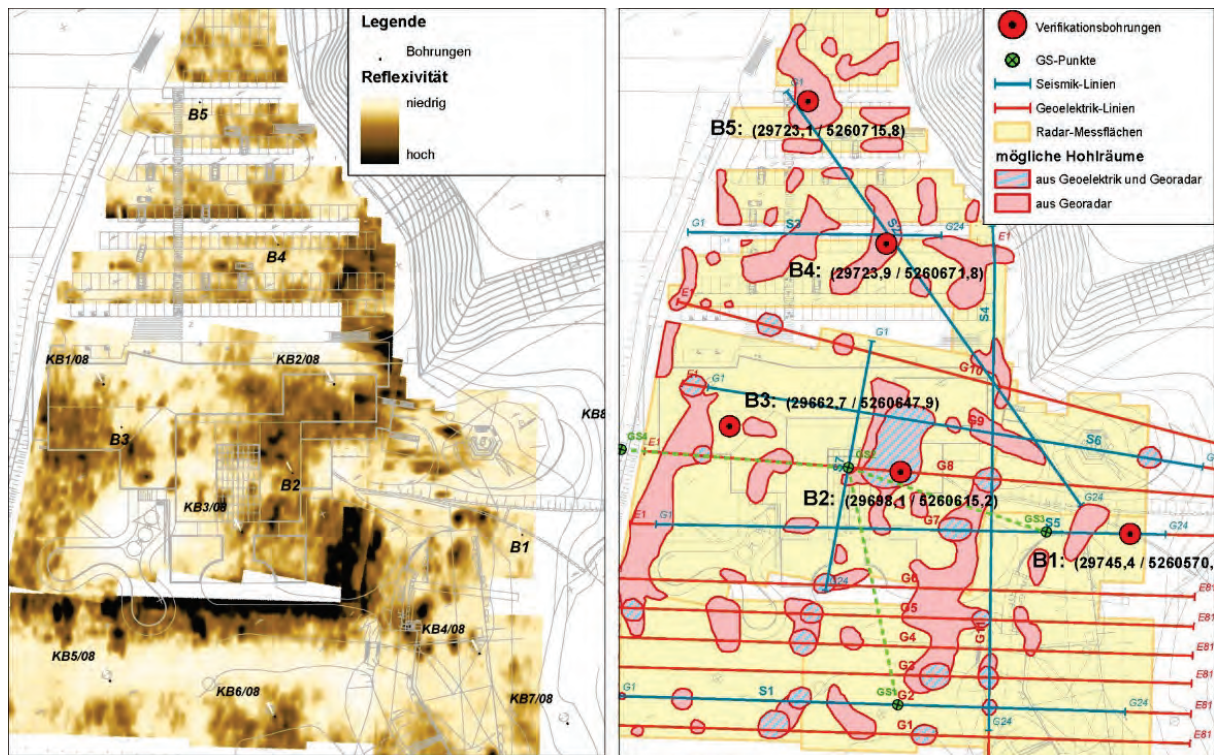


Abbildung 6: Darstellung einer flächenhaften Radaraufnahme in Reith (Tirol); links – Reflexivität, rechts – Interpretation

Beide Verfahren unterliegen geometrischen und methodischen Einschränkungen. An erster Stelle ist das Verhältnis der seismischen bzw. elektromagnetischen Wellenlänge zur Größe des Hohlräume entscheidend, was mindestens ein Viertel betragen soll. Eine weitere Einschränkung ist die Tiefe des Hohlräume, da beide Wellenarten mit zunehmender Tiefe stark gedämpft werden. Um dem entgegen zu wirken, müssen in der Seismik größerer Auslagelängen und im Georadar niedrigere Frequenzen gewählt werden, was aber wiederum auf Kosten der Auflösung geht. Das Verfahren des Georadars ist ferner nicht anwendbar, wenn toniges Deckmaterial vorhanden ist. Trotz dieser Umstände ist bei Kenntnis der Bodenbeschaffenheit und der ungefähren Lage der Hohlräume, wie z.B. bei alten Stollensystemen, bei geeigneter Wahl der Messmethode und Messparameter eine erfolgreiche Detektion mit den vorgestellten Methoden als sehr wahrscheinlich zu erachten.