

Schlüsselwörter

Mineralwasser
 Prospektion
 Bodengase
 Seismik
 Burgenland

Bodengasuntersuchungen – eine Methode zur Prospektion höher mineralisierter Tiefenwässer

REINHARD GRATZER¹, CHRISTIAN SCHMID²

7 Abbildungen, 1 Tabelle

Inhalt

Zusammenfassung	155
Abstract	155
1. Einleitung und Problemstellung	156
2. Geophysikalische Aufschlußverfahren	156
3. Bodengasuntersuchungen	156
3.1 Bodenkundliche Voraussetzung und Probenahmetechnik	156
3.2 Durchführung und Auswertung der Messungen	158
3.2.1 Helium	158
3.2.2 Kohlendioxid	158
4. Fallbeispiel Kobersdorf	159
5. Schlußfolgerungen	162
Literatur	162

Zusammenfassung

Am Beispiel der Waldquelle Kobersorf (Burgenland) wird eine integrierte Prospektion auf höher mineralisierte Tiefenwässer dargestellt. Neben der geologischen Erkundung werden seismische Verfahren (Reflexions- und Refraktionsseismik) sowie Bodengasmessungen (CO₂, ⁴He) eingesetzt. Bei den Bodengasuntersuchungen wird besonders auf die Durchführung der Messungen und die bodenkundlichen Voraussetzungen für die Probenahme sowie auf die Entnahmetechniken eingegangen. Refraktionsseismische Aufnahmen haben entgegen der ursprünglichen Vorstellung eines gleichmäßig nach Süden und Osten einfallenden Beckenuntergrundes ergeben, daß im Bereich der Waldquelle der kristalline Untergrund gegen Süden entlang einer Störung um ca. 80 m abgesenkt wurde. Ein NW-SE verlaufendes seismisches Profil zeigt eine Art Synklinalstruktur, welche in einer stark in sich zerlegten Kristallinaufragung endet. Im Bereich dieser Bruchstrukturen wurden bei drei Meßkampagnen 145 Bodengasproben gezogen und analysiert. Die Auswertung ergab bei Untergrundwerten von <50 ppb Δ ⁴He und <2,5 bzw. <1,5 Vol.% CO₂ eindeutige Anomalien von >100 bzw. >200 ppb Δ ⁴He und >5 bzw. >2 Vol.% CO₂, je nach Meßkampagne, denen ein SSW-NNE und ein NW-SE verlaufendes Störungsmuster zugeordnet werden konnte. Eine im Bereich der maximalen Bodengasanomalien abgeteufte Erkundungsbohrung erschrotoete mineralisiertes Tiefenwasser in einer Teufe von 180 Meter.

Soil gas investigations – An exploration tool to mineralized groundwater

Abstract

Following the example of the Waldquelle Kobersdorf (Burgenland), an integrative exploration of mineralized groundwater will be presented. In addition to geological reconnaissance seismic methods (reflection- and refraction seismic), soil gas investigations (CO₂, ⁴He) were carried out. Special care will be given to the implementation of soil gas measurements, soil conditions and the practice of soil gas sampling.

Contrary to former notions of a basement slightly dipping toward the south and east, reflection seismic records show that in the area of the „Waldquelle“ the crystalline basement was lowered 80 m the south along a fault. A seismic section running from the northwest to the southeast shows a type of syncline structure, which ends in a strongly fractured upwards projection of the crystalline basement. On three sampling campaigns covering this area, 145 soil gas samples were taken and analyzed. The utilization of the data shows at background values of <50 ppb Δ ⁴He and <2,5 respectively <1,5 vol.% CO₂, clearly defined anomalies of >100 ppb respectively >200 ppb Δ ⁴He and >5 vol.% respectively >2 vol.% CO₂, depending on different sampling campaigns (summer and autumn). These anomalies can be assigned to a SSW-NNE and a NW-SE trending fault system. An exploration well, in the centre of the most pronounced soil gas anomaly localized mineralized groundwater at a depth of 180 m below the surface.

Anschrift der Verfasser

¹ Montanuniversität Leoben, Institut für Geowissenschaften: Abteilung Prospektion und Angewandte Sedimentologie, Peter-Tunner-Straße 5, A-8700 Leoben

² Joanneum Research, Roseggerstraße 15, A-8700 Leoben

1. Einleitung und Problemstellung

Das Erschließen neuer bzw. zusätzlicher Mineralwasservorkommen hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, da einerseits bedingt durch die zunehmende Umweltbelastung der Bedarf an Mineral- und Tafelwasser steigt, und andererseits viele Gemeinden durch den Auf- bzw. Ausbau eines Kur- und Badebetriebes eine Strukturverbesserung herbeiführen wollen.

Die Mineralwasservorkommen sind neben dem höheren Mineralisierungsgrad meist durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Gasführung, hauptsächlich Kohlendioxid und einige Spurengase, gekennzeichnet. In der Regel sind sie an tektonische Bruchstrukturen gebunden, die mittels herkömmlicher geowissenschaftlicher Untersuchungsmethoden, wie Kartierung und Geophysik erkundet werden, entlang derer sie in die überlagernden Horizonte aufsteigen. Die Kartierung und die geophysikalischen Messungen liefern jedoch zumeist nur Angaben über den Verlauf und die Tiefenlage von Bruchstrukturen, sowie deren sedimentärer Überlagerung. Hinweise über eine möglicherweise vorliegende Gasführung können nicht abgeleitet werden.

Es hat sich daher neuerdings eine Kombination von Kartierung, Geophysik und Bodengasmessungen (CO₂ als Indiz für höher mineralisierte Tiefenwässer und Helium aufgrund seiner Mobilität als Indiz für Bruchstrukturen) als eine zielführende Methode bestätigt.

2. Geophysikalische Aufschlußverfahren

Die Anwendung geophysikalischer Aufschlußverfahren ist heute eine wesentliche Voraussetzung für ein gezieltes Untersuchungsprogramm auf höher mineralisierte bzw. temperierte Tiefenwässer. Die Anwendung der geophysikalischen Verfahren zur Auffindung wasserführender Formationen beruht darauf, daß diese sich in mindestens einem physikalischen Parameter wie etwa der Gesteinsdichte, der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen oder im spezifischen elektrischen Widerstand von den Deckschichten und vom Grundwasserstauer unterscheiden. Bei der „Trinkwasserprospektion“ hat die Geoelektrik, im besonderen das Widerstandsverfahren und die Refraktionsseismik, einen hohen Stellenwert (MILSOM, 1996).

So können unter anderem durch geoelektrische Tiefensonierungen quartäre Grundwasserleiter, die aus Sanden und Kiesen bestehen, von den tonig-schluffigen Sedimenten des Tertiärs bis in Tiefen zwischen 50 und 60 m mit einer zufriedenstellenden Auflösung unterschieden werden. Innerhalb der tertiären Sedimente kann die Geoelektrik ebenfalls Sande von Tonen und Schluffen unterscheiden. Das Verhältnis von Überlagerungsmächtigkeit zu Schichtmächtigkeit (geplantes Prospektionsziel) sollte bei diesem geophysikalischen Meßverfahren nie unter 5:1 absinken (SCHNEIDER, 1988).

Die Refraktionsseismik ist besonders für das Auskartieren der Felsoberkante und bedingt für das Aufsuchen von Störungen im Festgestein geeignet. Die wirtschaftliche Untersuchungstiefe dieser Methode liegt bei etwa 100 m. Innerhalb der tertiären Sedimente bringt die Refraktionsseismik meist kein zufriedenstellendes Ergebnis, da die Geschwindigkeitskontraste zwischen den Sanden und Tonen sehr gering sind.

Die Prospektion auf höher mineralisierte Tiefenwässer innerhalb der tertiären Sedimente bzw. des prätertiären Untergrundes wird in den letzten Jahren vermehrt mittels hochauflösender Reflexionsseismik durchgeführt.

Dieses ursprünglich ausschließlich für die Erdöl- und Erdgasexploration in den tertiären Sedimenten eingesetzte Meßverfahren konnte mittlerweile so verfeinert werden, daß dieses Verfahren heute auch in Tiefenbereichen ab 50 m für die Grundwasserprospektion routinemäßig eingesetzt werden kann. Für die Refraktionsseismik reicht der Geschwindigkeitskontrast zwischen tertiären Sanden und Tonen meist nicht aus um eine Schichtgrenze exakt abbilden zu können. Für die Reflexionsseismik ist der maßgebliche gesteinsphysikalische Parameter der Reflexionskoeffizient. Dieser Reflexionskoeffizient hängt sowohl von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen als auch von der Gesteinsdichte ab. Die Gesteinsdichte wird neben der Matrixdichte auch durch die Porosität beeinflusst.

Der Erfolg und die Kosten eines geophysikalischen Untersuchungsprogrammes hängen entscheidend von Planung und Kenntnis der für die Datenakquisition notwendigen Feldparameter ab. Ein Untersuchungsprogramm auf höher mineralisierte Tiefenwässer mit den indirekt arbeitenden geophysikalischen Verfahren basiert daher immer auf detaillierten geologischen Basisdaten. Die Auswahl oder auch Kombination der einzelnen Meßmethoden hängt von folgenden Kriterien ab:

- geologische Rahmenbedingungen und Untersuchungstiefe
- gesteinsphysikalische Parameter
- gefordertes vertikales und horizontales Auflösungsvermögen
- Verbauungsgrad und daraus resultierende zivilisationsbedingte Störeinflüsse.

In die mit Hilfe der verschiedenen geophysikalischen Verfahren gewonnenen Ergebnisse müssen bei der Interpretation sämtliche geologische Informationen eingearbeitet werden. Wesentlich für den erfolgreichen Einsatz der Geophysik zur Optimierung einer Aufschlußbohrung auf höher mineralisierte Tiefenwässer ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Geologie, Hydrologie und Geophysik.

3. Bodengasuntersuchungen

Schon seit längerer Zeit werden im Rahmen von Prospektionsaufgaben und für die Lokalisierung verdeckter Bruchstrukturen bodengasgeochemische Untersuchungen eingesetzt. Im Vergleich zu den geophysikalischen Meßverfahren, lassen sich durch die bodengasgeochemische Analytik Zonen erhöhter Permeabilität unabhängig vom Nebengestein direkt nachweisen. Derartige Permeabilitätszonen können im Festgesteinsuntergrund als Brüche, Störungen, offene Klüfte bzw. Klüftzonen und Spalten vorliegen.

3.1 Bodenkundliche Voraussetzungen und Probenahmetechnik

Grundvoraussetzung für die Entnahme von Bodenluft ist eine entsprechende Durchlässigkeit des Untergrundes, die in rolligen bzw. schwach bindigen Böden gegeben ist. Tonige bzw. schluffige Böden behindern vor allem bei zusätzlicher Durchfeuchtung die Probenahme beträchtlich und machen sie insbesondere bei einer schwach ausgebildeten ungesättigten Bodenzone zum Großteil unmöglich. Zusätzliche Einflußfaktoren auf die Ausbildung von Anomalien stellen fehlende bzw. äußerst durchlässige oder sehr stark abdichtende Deckschichten dar. Erstere verhindern aufgrund eines intensiven Gasaustausches mit der Atmosphäre die Ausbildung von dedekrierbaren Anomalien. In stark undurchlässigen Deckschichten bzw. bei schluffig tonigen Sedimenten in Kombinati-

on mit einer ausgiebigen Durchfeuchtung bildet sich eine temporäre Oberflächenversiegelung aus, die den atmosphärischen Gasaustausch verhindert. Dadurch werden die Schwellenwerte für die Abgrenzung von Anomalien angehoben und es ergeben sich breite kaum interpretierbare Konzentrationsbereiche. Dieser Faktor ist besonders bei einer längeren Meßkampagne unter geänderten Witterungsbedingungen oder beim Vergleich jahreszeitlich unterschiedlicher Profilaufnahmen zu berücksichtigen.

Ein sehr grobkörniger Boden bzw. eingelagerte Blöcke und Steine stellen besonders für das Sondenmaterial eine starke mechanische Belastung dar und behindern eine kontinuierliche Beprobung beträchtlich.

Für die Durchführung der Beprobung von Bodengasen werden in der Literatur verschiedene Verfahren angeführt (KLUSMAN, 1993; TEDESCO, 1995). Je nach Problemstellung und sich daraus ableitender Gasspezies können für die Beprobung folgende Verfahren herangezogen werden:

- Entnahme von Bodenluft: Bei dieser Methode wird die im Porenraum der Lockergesteine oberhalb des Grundwasserspiegels frei migrierende Bodenluft beprobt und analysiert.
- Headspace Technik: Bei diesem Verfahren wird das Sedimentmaterial entnommen und in luftdichte Gefäße eingebracht. Das in den freien Dampfraum entweichende Gas wird nach einer entsprechenden Equilibrierungszeit untersucht.
- Beprobung „Freier Gase“: Bei dieser Methode wird ebenfalls Material entnommen und aufbereitet. Das Gas befindet sich in den Mikroporen des Sediments in gelöster oder freier Form und ist nur locker gebunden. Die Freisetzung erfolgt in einer Entgasungsapparatur unter reduziertem Druck ohne Säurezugabe.

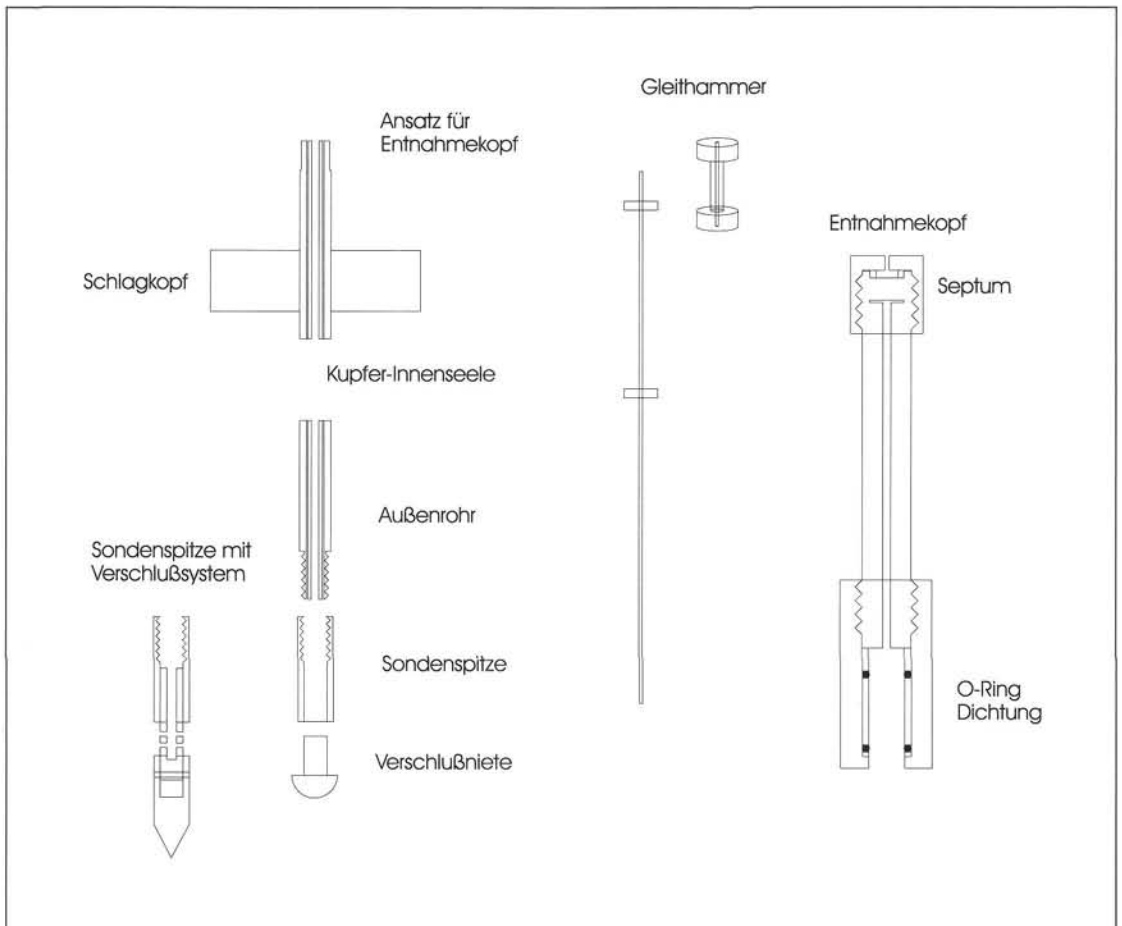
- Beprobung „sorbierter Gase“: In der Regel sind die sorbierten Gase an den Feinanteil einer Probe gebunden. Zur Freisetzung wird die Probe mittels Siebung aufbereitet und im Anschluß mit Säure behandelt.

Im vorliegenden Beispiel werden die Gase CO₂ und He in der Bodenluft untersucht und zur Prospektion auf höher mineralisierte Wässer eingesetzt. Aufgrund der Mobilität des Edelgases Helium wird für die Beprobung das Verfahren Entnahme von Bodenluft gewählt, auf welches in der Folge näher eingegangen wird.

Als Entnahmevorrichtungen für die Bodenluft werden in der Literatur verschiedene Bodengassonden angeführt (REIMER, 1976; REIMER & BOWLES, 1979; LOVEL, et al. b, 1979; BALL, et al., 1983; MÜLLER & SCHIFFER, 1994b).

In Anlehnung an diese Beschreibungen wurde eine eigene Sonde entwickelt, die so konzipiert ist, daß möglichst viele Teile mehrfach verwendet werden können (Abb. 1). Das Kernstück bildet ein 1700 mm langes Stahlrohr mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Wandstärke von 3 mm. Im Innenraum dieses Rohres befindet sich ein eingelötetes Kupferrohr mit polierter Oberfläche, welches einerseits dazu dient, das Innenvolumen der Sonde möglichst gering zu halten und andererseits Adsorptionserscheinungen an der Rohrwand zu vermeiden. An der Sondenbasis befindet sich ein gehärtetes Spitzenstück, welches je nach Bodenbeschaffenheit ausgewechselt werden kann. Für den Einsatz in grobklastischen Böden wird ein Spitzenstück mit einem beweglichen Verschlusssystem verwendet, welches nach geringfügigem Zurückziehen der Sonde die Eintrittsöffnungen für das Bodengas frei gibt. Bei tonig, schluffigen Böden wird bedingt durch die geringe Permeabilität eine Sondenspitze verwendet, deren Eintrittsöffnung während des Einbaues mit einer Eisenniete

Abb. 1
Aufbau der konzipierten Bodengassonde (aus MÜLLER & SCHIFFER, 1994b, geändert). Im Detail dargestellt sind der mittels Septum und O-Ring gedichtete Entnahmekopf sowie die beiden Sondenspitzen für grob- bzw. feinklastische Bodenarten.



verschlossen ist (Abb. 1). Beim Rückzug der Sonde verbleibt diese im Erdreich und gibt dadurch die Öffnung frei. Die in Abhängigkeit von der Rückzugshöhe entstehende Eindringfläche ermöglicht somit auch bei gering permeablen Sedimenten eine Beprobung der Bodenluft. Der Sondenkopf ist etwas verjüngt ausgeführt und mit einer Edelstahlhülse umgeben, sodaß ein Entnahmestutzen, der mittels O-Ring und Septumdichtung das System abschließt, aufgesteckt werden kann. Bei der Probenahme wird die Septumdichtung mit einer Kanüle durchstoßen und die Bodenluft in eine gasdichte Einwegspritze abgesaugt.

Der Einbau der Sonde erfolgt mit einem beweglichen Schlaghammer, der durch die Sonde selbst geführt wird. Durch den Schlag auf das mittels Klemmschrauben befestigte Schlagstück wird die Sonde in den Boden eingetrieben.

3.2 Durchführung und Auswertung der Messungen

3.2.1 Helium

An den mit einer gasdichten Einwegspritze entnommenen Bodenluftproben erfolgt die Messung der Heliumkonzentration in den meisten Fällen vor Ort in einem Feldlabor mittels eines nach MÜLLER & SCHIFFER (1994a) adaptierten Helium Leak-Testers (Balzers, HLT 160). Zentrales Element des Meßgerätes ist ein Quadrupol-Massenspektrometer, welches fest auf die Masse 4 kalibriert ist, dem ein externes variables Leckventil vorgeschaltet ist. Eine Steuer- und Regeleinrichtung sowie eine Vakuumpumpe ergänzen den Aufbau (Abb. 2). Die Datenaufzeichnung und Meßwertauswertung erfolgt auf einem PC mit entsprechender Software, welche die Einzelwerte graphisch darstellt, summiert und statistisch aus-

wertet. Um die gerätebedingten Schwankungen auszugleichen bzw. zu minimieren, wird eine Meßfolge verwendet, bei der jeweils zwischen den beiden Luftmessungen die eigentliche Analyse der Bodenluft erfolgt. Bei der Auswertung wird der Heliumgehalt der Probe auf den Mittelwert der beiden Luftmessungen bezogen und der Absolutgehalt an ^4He berechnet. Als Referenzwert für die Heliumgehalte im Bodengas wird die Konzentration der normalen Außenluft 5240 ppb ^4He (GLUECKAUF, 1946) verwendet. Die in den weiteren Ausführungen angegebenen Heliumkonzentrationen beziehen sich auf die sogenannten Delta Helium-Gehalte der Bodenluft ($\Delta\text{He} = \text{He}_{[\text{Probe}]} - \text{He}_{[\text{Luft}]}$).

3.2.2 Kohlendioxid

Für die Ermittlung der CO_2 -Konzentration in der Bodenluft wurden Gasprüfröhrchen (Fa. Dräger) eingesetzt. Diese bieten den Vorteil, daß die Meßergebnisse unmittelbar im Gelände vorliegen und dadurch das Probenahmeschema der jeweiligen Situation angepaßt werden kann. Bei dieser Methode beruht das Meßprinzip auf der Farbänderung einer spezifischen Indikatorsubstanz, deren Intensität ein direktes Maß für die Konzentration der dedektierten Substanz darstellt. Verwendet werden Röhrchen mit einem Konzentrationsbereich von 0,5 – 10 Vol.% CO_2 mit einer geeigneten Hahnpumpe. Die Messung der CO_2 -Konzentration wird direkt vor Ort nach Korrektur des Totvolumens durchgeführt. Die Korrektur des Totvolumens erfolgt durch ein einmaliges Absaugen des Sondeninnenvolumens, sodaß danach unverdünnte Bodenluft die Sonde füllt. Dieser zu Beginn der Messung entnommene Anteil ist durch Außenluft kontaminiert und wird verworfen. Im Anschluß daran erfolgt die Messung der CO_2 -Konzentration und die Entnahme der Bodengasprobe für die Heliummessung.

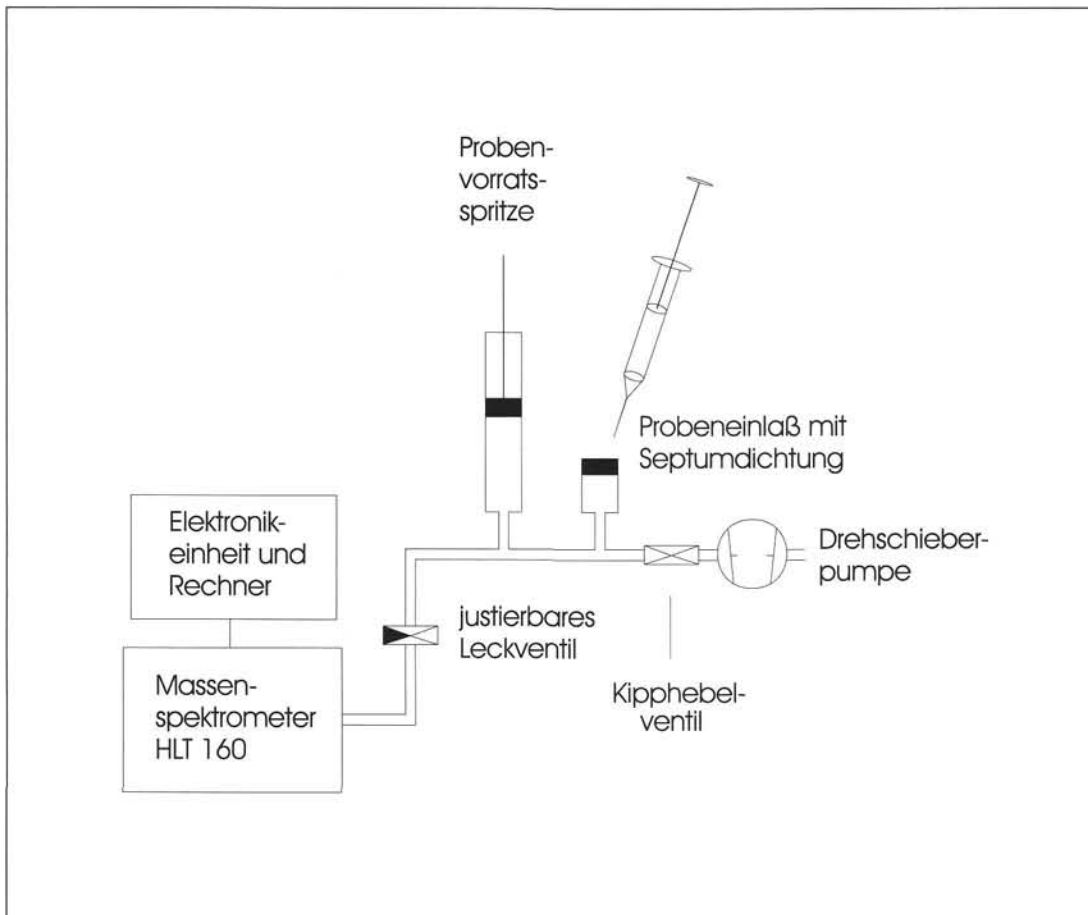


Abb. 2
Schematische Darstellung der Helium-Meßanordnung nach MÜLLER & SCHIFFER (1994a) geändert.

4. Fallbeispiel Kobersdorf

Das gegenständliche Untersuchungsgebiet befindet sich am nordwestlichen Ende des Oberpullendorfer Beckens, welches in der älteren Literatur auch als Landseer Bucht bezeichnet wird. Umrahmt wird es im Norden gegen das Eisenstädter Becken durch die Höhenrücken des Brennberg-Hochriegel-Brentenriegel und Siegrabener Sattel, im Westen vom Kristallin der Buckligen Welt und im Süden ist es durch den Günser Sporn und den Geschriebensteinzug gegen das Steirische Becken abgegrenzt (TOLLMANN, 1985). Das engere Arbeitsgebiet befindet sich im Raum Kobersdorf. Hier tritt unmittelbar westlich der Ortschaft das kristalline Grundgebirge zutage (Abb. 3). Überlagert wird dieses im Bereich der durchgeführten Untersuchungen von sarmatischen Sanden, Tegeln und detritären Kalken (SCHMID, 1972; 1977).

Der im Bereich der Gemeinde Kobersdorf liegende Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat-Säuerling, der einerseits durch Quellen, andererseits durch Tiefbohrungen erschlossen wurde, wird seit Jahren wirtschaftlich genutzt. Zu Beginn der 90er Jahre wurde im Auftrag der Waldquelle Kobersdorf von J. GOLDBRUNNER ein umfangreiches Untersuchungsprogramm zur Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Betriebsgeländes begonnen. Neben einzelnen Bohraufschlüssen wurde vorerst der kristalline Beckenuntergrund mittels Geophysik erkundet. Aufgrund der Vorerhebungen wurde mit Untersuchungstiefen zwischen 50 und 200 Meter gerechnet.

Das Untersuchungsziel war einerseits das Vorkommen von Sanden bzw. ihre Verteilung innerhalb der tertiären Sedimente, da diese infolge ihrer höheren Porosität als Grundwasserleiter entsprechende Bedeutung besitzen und die Tiefenwässer der „Waldquelle“ zum Teil daraus entnommen werden und andererseits entsprechende Bruchstrukturen. Aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften der hier geförderterten Tiefenwässer muß angenommen werden, daß diese zum Teil

an Störungssystemen aus dem tieferliegenden kristallinen Untergrund in die auflagernden permeablen Sedimente migrieren. Es kommt daher dem Auskartieren von Bruchstrukturen im kristallinen Beckenuntergrund mittels Geophysik für diese Problemstellung große Bedeutung zu.

Als Meßmethode wurde eine Kombination von Refraktions- und Reflexionsseismik eingesetzt. Mittels Refraktionsseismik sollte vor allem das Relief des kristallinen Untergrundes herausgearbeitet werden. Da bekannt ist, daß mit dieser Methode innerhalb der tertiären Sedimente nicht immer eine entsprechende Auflösung der einzelnen Schichtglieder erzielt werden kann, dienen die hier gewonnenen seismischen Geschwindigkeiten zur Unterscheidung von Quartär und Tertiär sowie Tertiär zu Kristallin. Mit diesen Geschwindigkeiten können darüber hinaus die „Zweiweglaufzeiten“ der reflexionsseismischen Horizonte auf wahre Tiefe umgerechnet werden.

Bereits die ersten Ergebnisse der Geophysik zeigten, daß die geologischen Verhältnisse nicht den ursprünglichen Vorstellungen entsprachen. Das Relief des kristallinen Grundgebirges fällt nicht gleichmäßig gegen das Becken hin ein. Dementsprechend schwanken die Sedimentmächtigkeiten wesentlich mehr als erwartet.

Entgegen der ursprünglichen Annahme, daß der kristalline Beckenuntergrund sowohl gegen Süden als auch Osten eher gleichmäßig abtaucht, ergab die Auswertung der Refraktionsseismik (Profil KO9401), daß das Kristallin im Bereich des Betriebsgeländes der Waldquelle Kobersdorf eine teilweise beckeninterne Aufragung zeigt. Entlang des in Abbildung 4 dargestellten ca. 400 m langen Ausschnittes von Profil KO9401 taucht der kristalline Beckenuntergrund um ca. 70 Meter gegen NE hin ab. Aus den Ergebnissen der Refraktionsseismik lassen sich Hinweise auf mehrere kleine Staffelbrüche, vor allem im Bereich der Position 110 und 116 (Abb. 4) erkennen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde zusätzlich ein ca. 1,5 km langes hochauflösendes reflexionsseismisches Profil parallel

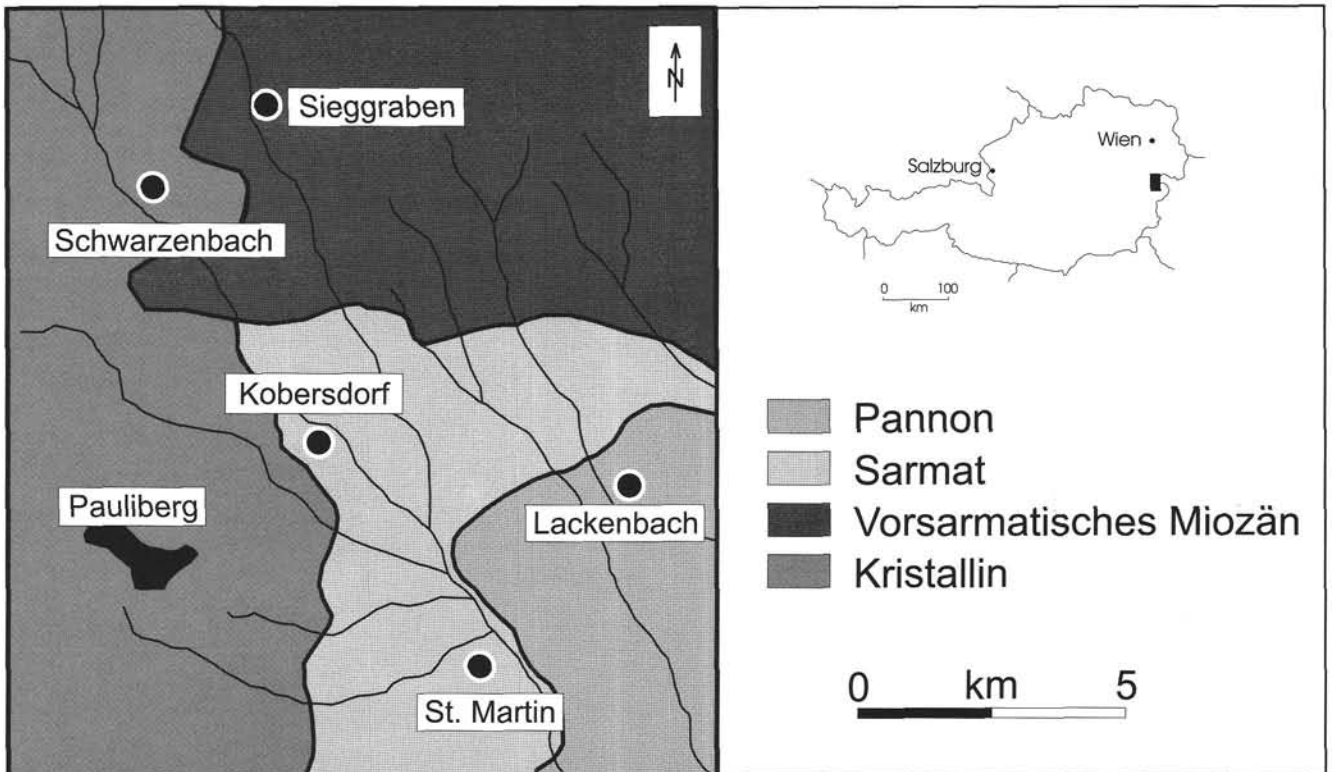


Abb. 3
Ausschnitt aus der geologischen Skizze der Landseer Bucht (Oberpullendorfer Becken), nach WINKLER – HERMADEN (1962, Abb. 1).

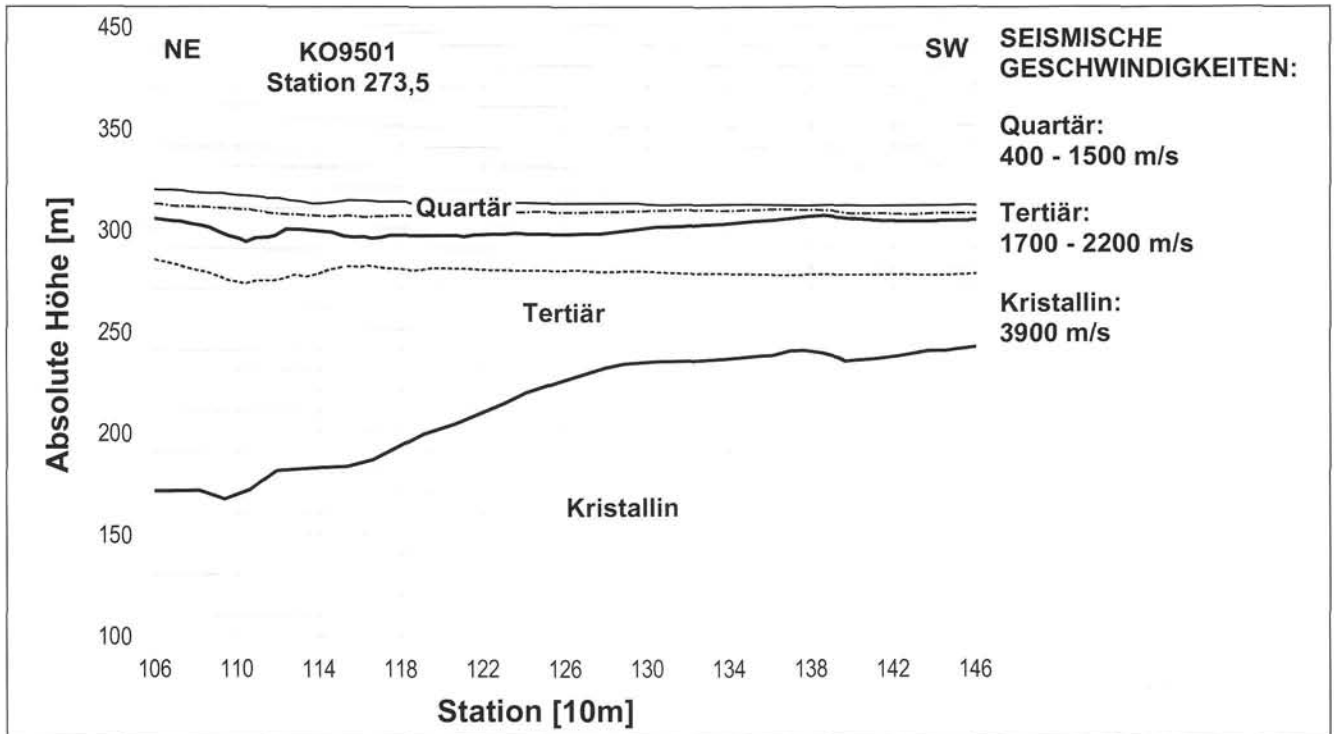


Abb. 4

Auswertung der Refraktionsseismik Profil KO9401, Geophonposition 106-146. Deutlich ist der treppenartige Anstieg des kristallinen Untergrundes (entlang von Brüchen?) im NE-Abschnitt des Profiles erkennbar. Die Unterteilungen im Quartär bzw. im Tertiär basieren auf seismischen Geschwindigkeitsunterschieden, können jedoch lithologisch nicht näher spezifiziert werden. Der Kreuzungspunkt mit Profil KO9501 bei Station 115,5.

zum Schwarzbach geplant (Abb. 6). Die Feldparameter der reflexionsseismischen Messungen wurden so festgelegt, daß eine hohe Auflösung in einem Tiefenbereich zwischen 50 und 300 m erwartet werden kann. Einerseits sollte durch diese Seismik die in der Refraktionsseismik angedeutete Hochlage des Kristallins im Bereich des Betriebsgeländes weiter auskartiert werden und andererseits war das Verifizieren von vermuteten Störungen im kristallinen Untergrund sowie eine Gliederung der darüber lagernden tertiären Sedimente ein wesentliches Prospektionsziel.

Das gesamte Profil KO9501 wird durch je eine Synklinallstruktur im SE bzw. NW geprägt. Der nordwestliche Teilbereich dieser seismischen Linie ist in Abb. 5 dargestellt. Beide Synklinallstrukturen mit maximalen Sedimentmächtigkeiten von ca. 280 m, werden durch eine relativ breite, in sich stark zerlegte beckeninterne Kristallinauftragung, die sich in der unmittelbaren Umgebung des Betriebsgeländes befindet, von einander getrennt. Der durch die Oberkante des Kristallins verursachte Reflexionshorizont ist klar erkennbar und wurde zur Verdeutlichung zusätzlich markiert. Im NW sieht man das Anlagern bzw. Auskeilen der tertiären Sedimente der hier endenden Synklinale. Ein weiteres für die Prospektion auf höher mineralisierte Tiefenwässer wesentliches Strukturelement ist im SE Teil der Abbildung 5 zu erkennen. Aufgrund der vorliegenden reflexionsseismischen Daten und der aus der Refraktionsseismik abgeleiteten Geschwindigkeits-Tiefenbeziehung läßt sich für die Oberkante der Kristallinauftragung im Bereich des Betriebsgeländes eine Minimaltiefe von etwa 120 m errechnen. Diese Ergebnisse der seismischen Messungen sind mittlerweile durch weitere Bohrungen verifiziert.

Um die mittels Geophysik festgestellten Bruchstrukturen auf eine eventuelle Gasführung zu bewerten, wurde Bodengasmessungen in das Untersuchungsprogramm eingebunden. Dabei geht man von der Annahme aus, daß die im Untergrund

vorhanden Gase entlang leichterer Wegigkeiten, wie sie geologische Rupturen und Bruchzonen darstellen, an die Oberfläche migrieren und diese in Form von Anomalien an der Erdoberfläche nachzeichnen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden bei drei Meßkampagnen 145 Gasproben entlang von Profilen gezogen und in Hinblick auf die CO₂- und He-Gehalte ausgewertet (Abb. 6, 7). Es hat sich gezeigt, daß bereits innerhalb einer einzelnen Meßserie sowohl bei CO₂ als auch bei He deutliche Anomalien festgestellt werden konnten, deren Maxima (Meßserie Sommer) bei 11 Vol.% CO₂ und 270 ppb ΔHe liegen und eine strenge positive Korrelation zeigen. Um den Einfluß der jahreszeitlichen Schwankungen auf die Gaskonzentration beurteilen zu können, sowie um die bisherigen Ergebnisse in einem großflächigeren Zusammenhang zu stellen wurden im Herbst ergänzende Untersuchungen durchgeführt.

Tabelle 1

Gegenüberstellung der zur Anomalieabgrenzung verwendeten Bereiche

Meßkampagne	Normaler Untergrund		Übergangswerte		Anomalie	
	CO ₂ [%]	Δ ⁴ He [ppb]	CO ₂ [%]	Δ ⁴ He [ppb]	CO ₂ [%]	Δ ⁴ He [ppb]
Sommer	<2,5	<50	2,5-5	50-200	>5	>200
Herbst	<1,5	<50	1,5-2	50-200	>2	>100

Die Ergebnisse aus den jeweiligen Meßreihen sind nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen, da die meteorologischen Bedingungen zwischen den einzelnen Meßserien stark voneinander abweichen (Sommer – Herbst). Für einen direkten Vergleich der Meßserien müssen die geänderten Rahmenbedingungen (Trockenheit – Durchfeuchtung), vor allem die erheblichen Konzentrationsunterschiede, besonders bei CO₂,

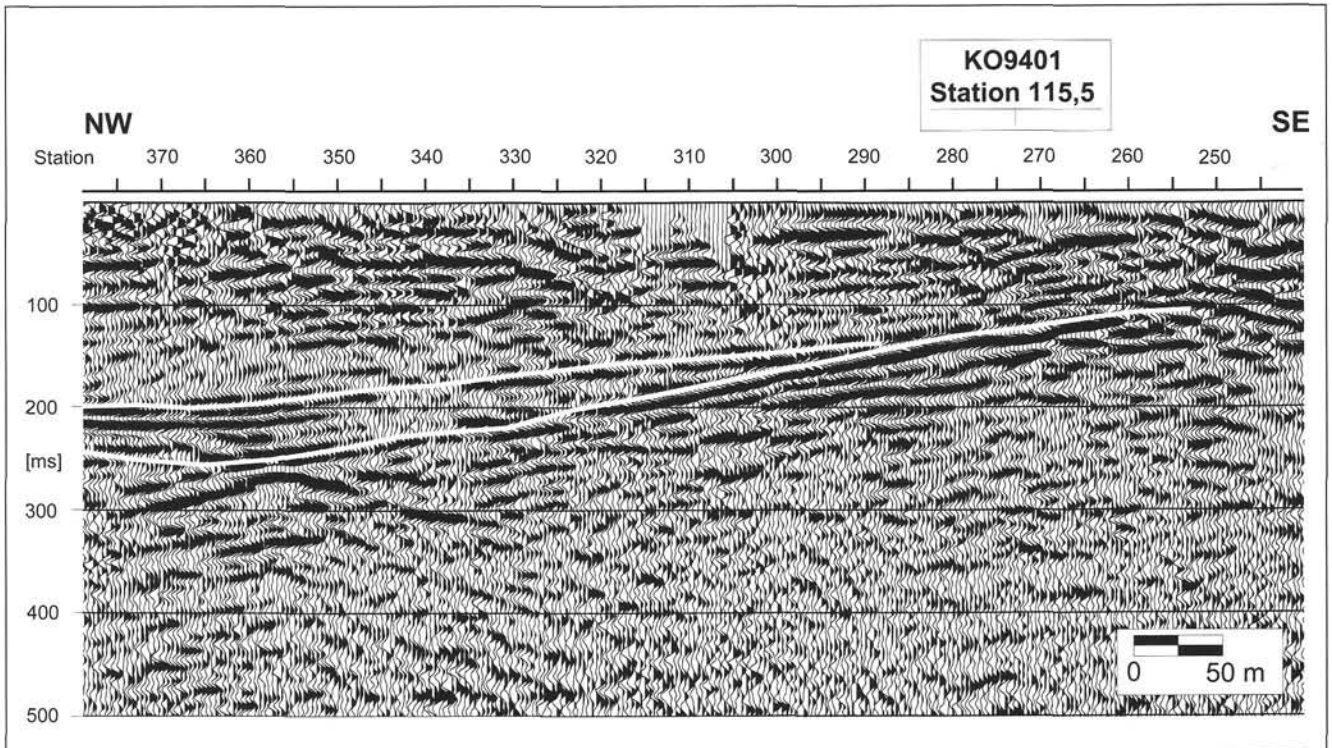
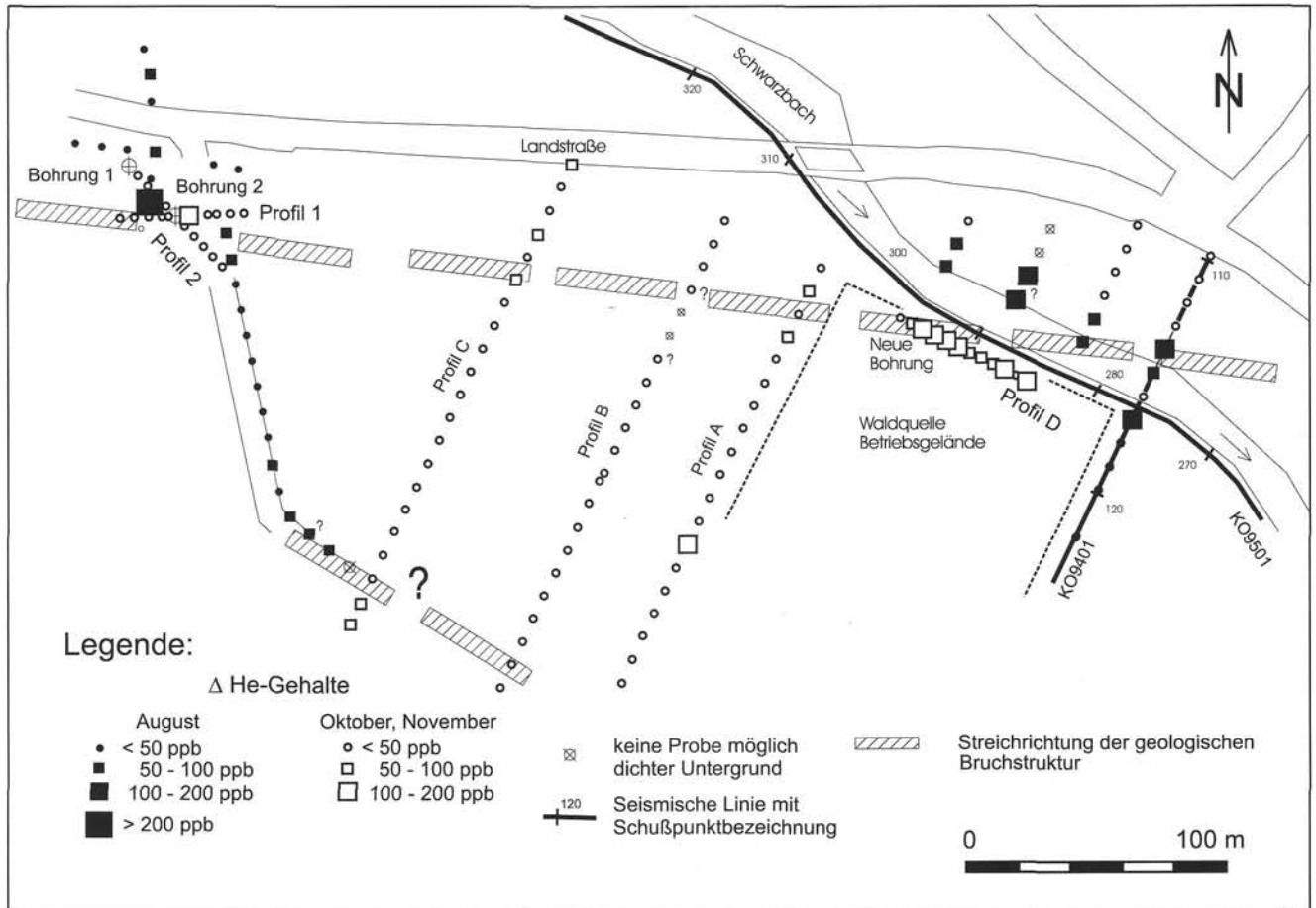


Abb. 5
Ausschnitt der „time section“ des reflexionsseismischen Profiles KO9501 (Station 230-385). Die Hochlage des kristallinen Grundgebirges mit den „Onlap-Strukturen“ der tertiären Sedimente sind im südöstlichen Profilschnitt deutlich erkennbar. Der Kreuzungspunkt mit der Refraktionsseismik liegt bei Station 273,5.

Abb. 6
Darstellung der Δ He-Gehalte mit interpretiertem Verlauf der Bruchstrukturen. In Ergänzung zu den einzelnen Punkten der Bodengasentnahme sind die beiden seismischen Linien KO9401 und KO9501 eingetragen.



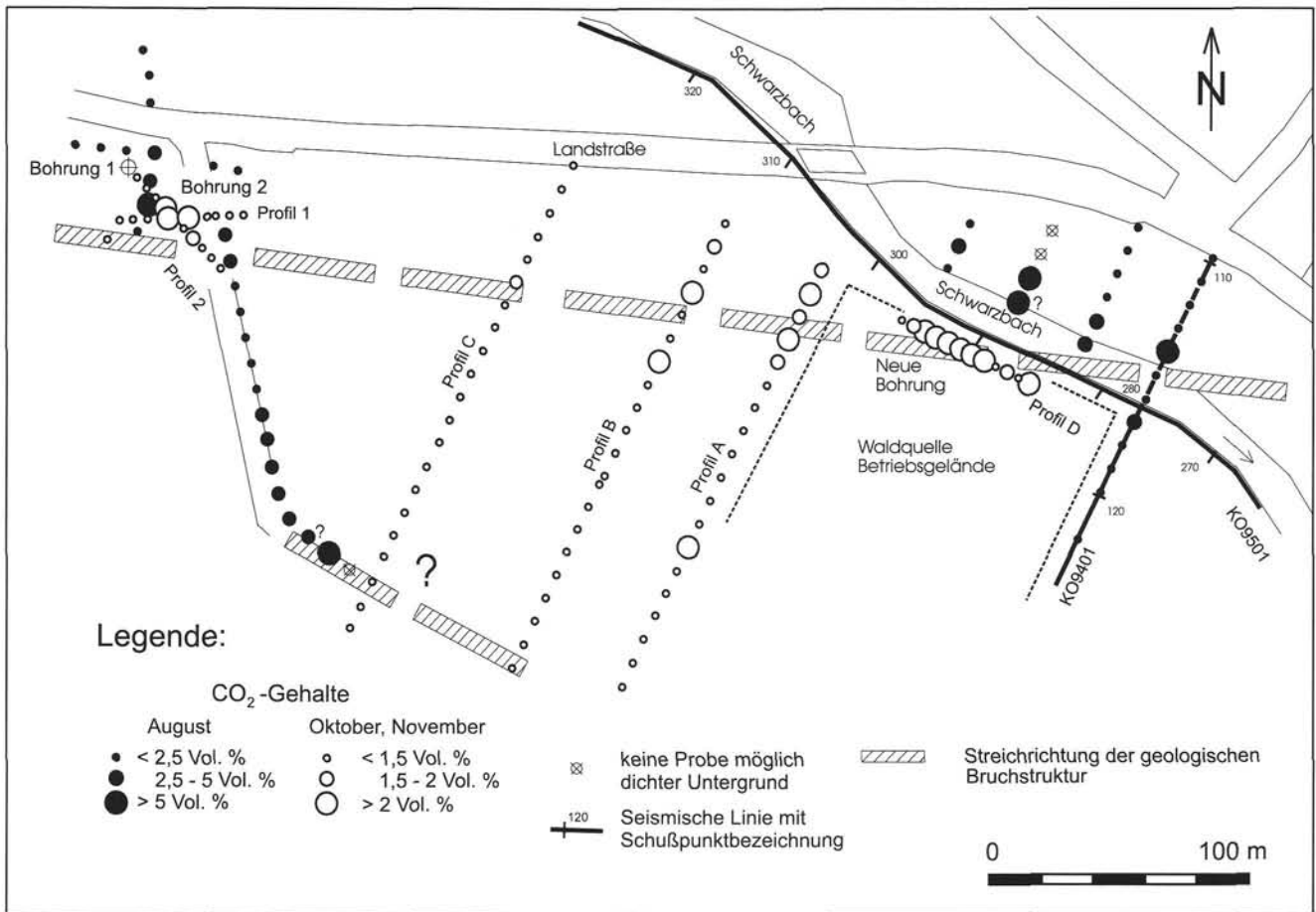


Abb. 7

Darstellung der CO₂-Konzentration mit interpretiertem Verlauf der Bruchstrukturen und den seismischen Linien KO9401 und KO9501.

die auf eine geringere bzw. fehlende pflanzliche Aktivität (bereits umgebrochener Acker) zurückgeführt werden können, berücksichtigt werden. Unter Einbeziehung der geänderten Rahmenbedingungen und einer getrennten Betrachtung der einzelnen Meßzyklen können jedoch die jeweils festgestellten Anomalien sinnvoll in das Gesamtbild eingefügt werden.

Eine Gesamtdarstellung aller erhaltenen Daten ergibt auf Basis der getesteten Profile (NE-SW) eine annähernd E-W verlaufende Störungszone, deren laterale Ausdehnung aufgrund der Anomaliebreite mehrere Zehnermeter beträgt.

5. Schlußfolgerungen

Durch den kombinierten Einsatz verschiedener Untersuchungsmethoden, wie Geologie, Geophysik und Untersuchung der Bodenluft ist es möglich, auch in Regionen, deren struktureller Bauplan durch jüngere Sedimente verdeckt ist, Aussagen über den Verlauf von Störungsmustern zu gewinnen und diese in Hinblick auf verschiedene Fragestellungen auszuwerten. Für den Einsatz von Bodenluftuntersuchungen sind jedoch die bodenkundlichen Voraussetzungen durch Testmessungen im Voraus abzuklären. Weiters sind bei einem gestaffelten Untersuchungsprogramm die unterschiedlichen meteorologischen Einflüsse zu erfassen, wechselnde Bodenfeuchte bedingt einen unterschiedlichen Gasaustausch und ist bei der Interpretation der Meßdaten zu berücksichtigen. Besonders im Rahmen der Prospektion auf mineralisierte Tiefenwässer kann die zusätzliche Ermittlung der CO₂- und ⁴He-Konzentration in der Bodenluft einen wesentlichen Beitrag

liefern, da im Gegensatz zu den bisher üblichen Methoden mit diesen Untersuchungen die natürlichen Gasaustritte direkt kartiert werden können. Eine auf die Ergebnisse der Seismik und Bodengasuntersuchungen hin abgeteufte Aufschlußbohrung erschötete in einer Tiefe von 180 Meter Mineralwasser mit natürlicher Gasführung.

Literatur

- BALL, T. K., NICHOLSON R. A. & PEACHEY D., 1983: Effects of meteorological variables on certain soil gases used to detect buried ore deposits. – Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.), **92**: 183-190; London.
- GLUECKAUF, E., 1946: A micro-analysis of the helium and neon content of air. – Proc. Roy. Soc. **A 185**: 98-119, 3 Abb., 5 Tab.; London.
- KLUSMAN, R. W., 1993: Soil gas and related methods for natural resource exploration. – 483 S., Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore (Wiley & Sons).
- LOVELL, J. S., HALE M. & WEBB J. S., 1979: Soil air disequilibria as a guide to concealed mineralisation at Keel, Eire. – In: Prospecting in Areas of Glaciated Terrain, 1979, G. R. DAVIS, ed., Institution Mining and Metallurgy, London, pp. 45-50.
- MILSON J., 1996: Field Geophysics 187 S., Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore (Wiley & Sons).
- MÜLLER R. & SCHIFFER R., 1994a: Weiterentwicklung, Erprobung und Anwendung einer Helium-Radon-Methode zur Standortuntersuchung von Deponien. Statusbericht 1993. – Projektleitung Verbundvorhaben „Deponieuntergrund“ BGR (Hrsg): Berichte der Forschungsteilnehmer des Verbundvorhaben „Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“; 516-530; Hannover.

- MÜLLER R. & SCHIFFER R., 1994b: Weiterentwicklung, Erprobung und Anwendung einer Helium-Radon-Methode zur Standortuntersuchung von Deponien. – Bundesministerium f. Forschung und Technologie, Schlußbericht zum Verbundforschungsvorhaben „Deponieuntergrund“: 78 S., 53 Abb., 13 Tab., 33 S. Anh.; Clausthal-Zellerfeld (unveröff.).
- REIMER, G. M., 1976: Design and Assembly of a Portable Helium Detector for Evaluation as a Uranium Exploration Instrument. US Geological Survey, Open-file Report, 76-398, US Govt. Printing Office, Washington, DC, 18 S.
- REIMER, G. M. and BOWLES C. G., 1979: Soil-gas Helium Concentrations in the Vicinity of a Uranium Deposit, Red Desert, Wyoming. US Geological Survey, Open-file Report, 79-975, US Govt. Printing Office, Washington, DC, 9 S.
- SCHMID, A., 1972: Fossilien aus zwei neuen Mineralwasserbohrungen im Burgenland (Sauerbrunn und Kobersdorf). – Ann. nathist. Mus. Wien, **76**, 475-479, Wien 1972.
- SCHMID, A., 1977: Die hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse des neuen Mineralwasservorkommens von Kobersdorf/Bgld. – Wiss. Arb. Burgenland, **58**, 73-89, Eisenstadt 1977.
- SCHNEIDER H., 1988: Grundwassererschließung. 3. Aufl. – 899 S., Essen (Vulkan-Verlag).
- TEDESCO, ST. A., 1995: Surface Geochemistry in Petroleum Exploration. – 206 S., London (Chapman & Hall).
- TOLLMANN, A., 1985: Geologie von Österreich, Bd. 2. – 710 S., Wien (Deuticke).
- WINKLER – HERMADEN A., 1962: Die jungtertiäre [etc.] Auffüllung des Pullendorfer Beckens [etc.] – Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. I, **171**, 143-192, 5 Abb., Taf. 1-5, Farbt. 1-3, Wien 1962.

Manuskript eingegangen am: 10. 09. 1998 ●

Revidierte Fassung eingegangen am: 06. 08. 1999 ●

Manuskript akzeptiert am: 18. 08. 1999 ●