

Geophysikalische Methoden zur Erkennung von Heil- und Mineralwasservorkommen

F. Börner (Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.)

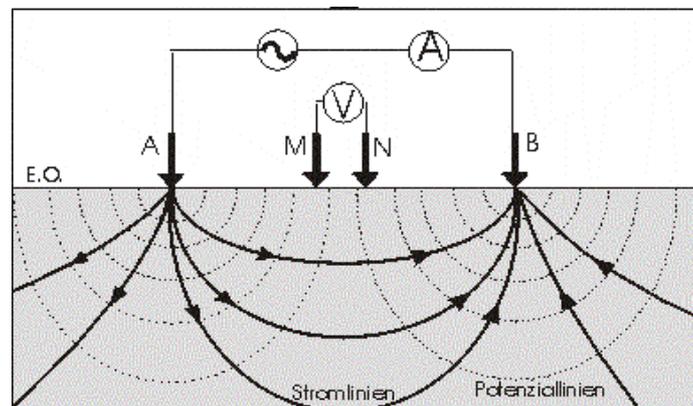
J. Schön (Joanneum Research Leoben)

1 Einleitung

Geophysikalische Untersuchungen sind in allen Phasen der Erkundung, Überwachung und des Schutzes von Heil- und Mineralwasservorkommen geeignet, Informationen über den Untergrund und die unterirdischen Ressourcen zu liefern. Ihre große Bedeutung liegt darin, dass mit vergleichsweise geringem Aufwand flächendeckende Informationen über den geologischen Untergrund gewonnen werden können. Für Untersuchungen in Bohrungen und Brunnen sind die Verfahren der geophysikalischen Bohrlochmessung unentbehrlich. Die optimale Ausnutzung des Informationspotenzials geophysikalischer Untersuchungen ist im Rahmen einer integrierten Erkundung gegeben, da die Interpretation geophysikalischer Messdaten eine Modellvorstellung über die zu detektierenden Strukturen voraussetzt. Ziel solcher Aktivitäten ist insbesondere, das Risiko von Fehlbohrungen zu mindern sowie Aussagen zu Qualität und Quantität von Heil- und Mineralwasservorkommen zu gewinnen.

2 Lokalisierung Heil- und Mineralwasserführender geologischer Strukturen

Die prinzipielle Funktionsweise geophysikalischer Oberflächenverfahren ist am Beispiel der Geoelektrik in Abb. 1 dargestellt. Im Ergebnis der Untersuchungen entsteht auf der Grundlage von Unterschieden in den gesteinsphysikalischen Parametern (Dichte, elektrische Leitfähigkeit, Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen usw.) ein Abbild des Untergrundes, das unter Einbeziehung weiterer Informationen (z.B. Bohrdaten, Wasserbeschaffenheit) beispielsweise in ein geologisches Strukturmodell oder eine Verteilung nutzbarer Parameter (z.B. Porosität, Wassersättigung, Salinität des Wassers)



transformiert wird.

Abb. 1: Prinzip der geoelektrischen Widerstandsmessung mit einer Vierpunktanordnung.

Geophysikalische Untersuchungen für praktische hydrogeologische Aufgabenstellungen und damit auch für die Erkennung von Heil- und Mineralwasservorkommen werden zur Lösung von zwei grundsätzlichen Fragestellungen eingesetzt:

- ⊕ Erfassung der geometrischen Form hydrogeologisch relevanter Strukturen und
- ⊕ Abschätzung hydrogeologischer und hydraulischer Eigenschaften der Körper und Grundwässer.

Grundlage für Methodik, Technik und Konfiguration geophysikalischer Verfahren für die Suche und Erkundung von Heil- und Mineralwasserressourcen sind somit die erwarteten geologischen Merkmale der in Frage kommenden Gebiete und Strukturen sowie die physikalischen Eigenschaften dieser speziellen Grundwässer. Dabei handelt es sich vorwiegend um

- ⊗erhöhte (oder auch verringerte) Temperaturen,
- ⊗in der Regel hohe Gehalte an gelösten Salzen,
- ⊗erhöhte Gehalte gelöster Gase (z.B. CO₂) oder
- ⊗erhöhte Radioaktivität.

Die Kopplung von Heil- und Mineralwasservorkommen an geologische Strukturelemente wie Störungen und Störungssysteme, Beckenstrukturen oder spezifische Gesteinstypen bestimmt in Abhängigkeit von deren Ausdehnung (z.B. Länge, Mächtigkeit und Einfallen von Störungen) und deren vom Umfeld abweichenden physikalischen Eigenschaften (z.B. Dichte, magnetische und elektrische Eigenschaften) die Auswahl von Verfahren oder Verfahrenskombinationen der Geophysik. Eine Optimierung bezüglich der Kosten und des zu erwartenden Informationsgewinns ist in vielen Fällen ein weiterer Aspekt.

In nachfolgender Tab. 1 sind exemplarisch einige geophysikalische Verfahren zusammengestellt, die für Übersichtsuntersuchungen, Detailuntersuchungen und Spezialvermessungen zur Anwendung kommen können.

Tab. 1: Überblick zu geophysikalischen Verfahren.

Verfahren	Ziel der Messungen
Übersichtsuntersuchungen (1 bis 100 km²)	
Magnetik	Identifikation hydrothermal umgewandelter und demagnetisierter Gesteine und an tektonische Systeme gebundene magmatische Gesteinskörper
Gravimetrie	Erkundung der regionalen Geologie, Identifizierung großräumiger hydrogeologischer Strukturen
Elektromagnetik	Identifizierung großräumiger hydrogeologischer Strukturen, hydraulische Eigenschaften im regionalen Maßstab
Seismik	Erkundung der regionalen Geologie, tiefe Strukturen mit hoher Genauigkeit
Gammaspektrometrie	Identifizierung lateraler Gesteinsgrenzen
Detailuntersuchungen (0,01 bis 1 km²)	
Magnetik	Lokalisierung kleinräumiger Strukturen
Radiometrie	Suche radioaktiver Wässer und Verfolgung von Quelllinien
Geothermik	Detektion wasserzirkulationsbedingter Anomlien im Temperaturfeld, Identifikation von Strukturen anhand von Wärmeleitfähigkeitsunterschieden
Geoelektrik/ Elektromagnetik	Lokalisierung kleinräumiger hydrogeologischer Strukturen und Abschätzung von Parametern, Mächtigkeit von Deckschichten
Seismik	Ermittlung der Geometrie hydrogeologischer Strukturen; Lokalisierung wasserführender Störungslinien, Relief von Rinnen und Becken
Spezialmessungen (<0,01 km²)	
Geoelektrik	Fließrichtung und -geschwindigkeit, Klüftigkeit,

	Salinität
Impedanzspektrometrie	geohydraulische Parameter, Klüftigkeit, Salinität
Radar	Wassergehalt, Strukturen im dm-Bereich

Für die Lokalisierung wasserführender Störungen werden oft die kostengünstigen Verfahren der Geoelektrik und Elektromagnetik eingesetzt. Diese Verfahren nutzen die im Vergleich zur Umgebung im Bereich von Störungen oft erhöhte elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes infolge erhöhter Wassergehalte oder/ und tiefer reichender Verwitterungszonen. Die Wirkungstiefe der Potenzialverfahren ist eng mit der Ausdehnung der Störungen verbunden. Die flächendeckende Detektion von Störungen ist zumeist mit einem verhältnismäßigen Mitteleinsatz möglich.

Im Bereich von Störungen ablaufende Prozesse wie Konvektionen und geochemische Stoffwandlungen oder auftretende elektroneleitende Minerale können elektrische Felder induzieren, die an der Erdoberfläche messbar sind (sogenannte Eigenpotenziale). Abb. 2 zeigt exemplarisch die Lokalisierung einer Störung im Bereich der Fränkischen Linie mit dem Verfahren der Eigenpotenzialmessung (aus Lehrunterlagen der FU Berlin von H. Brasse).

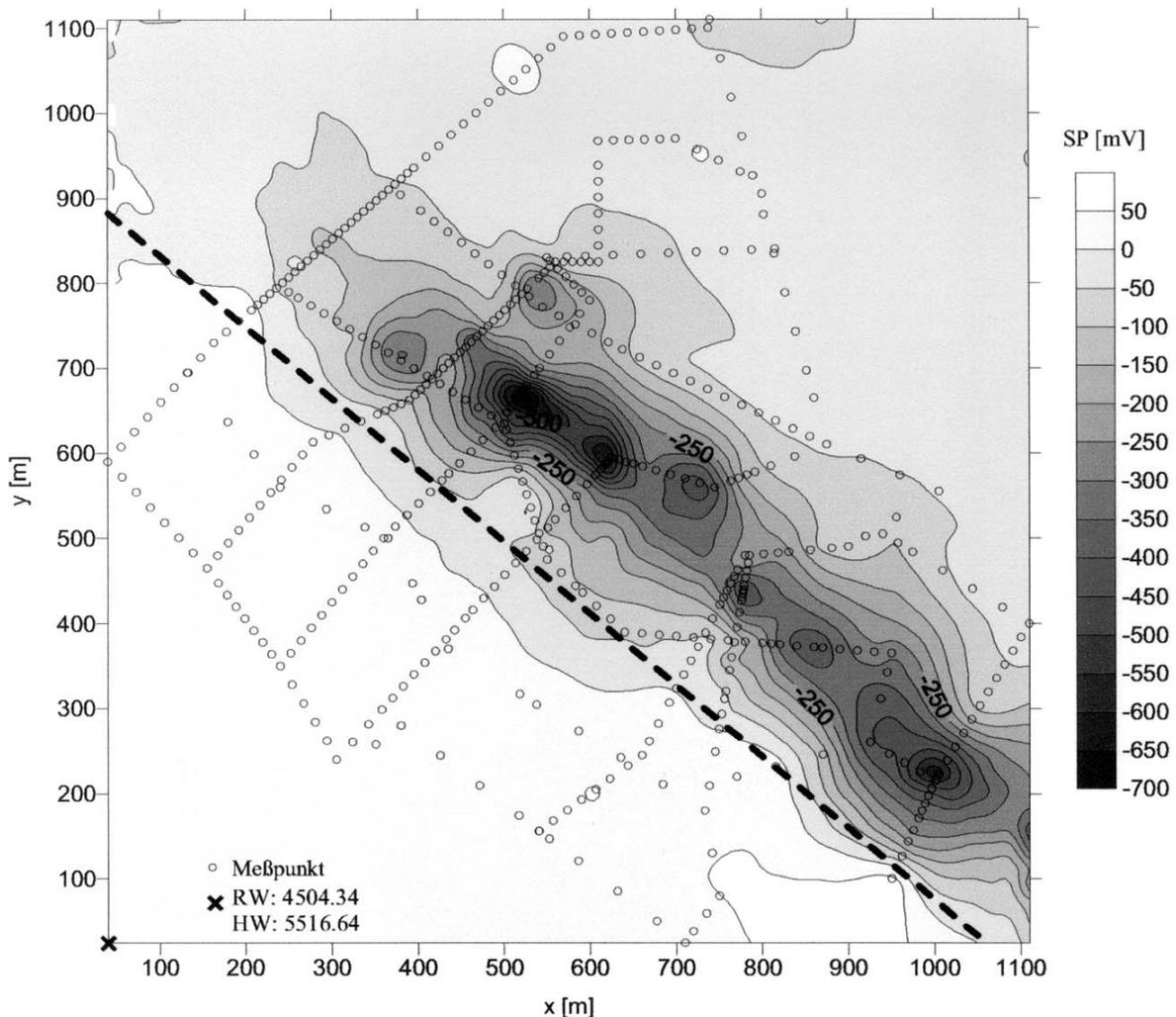
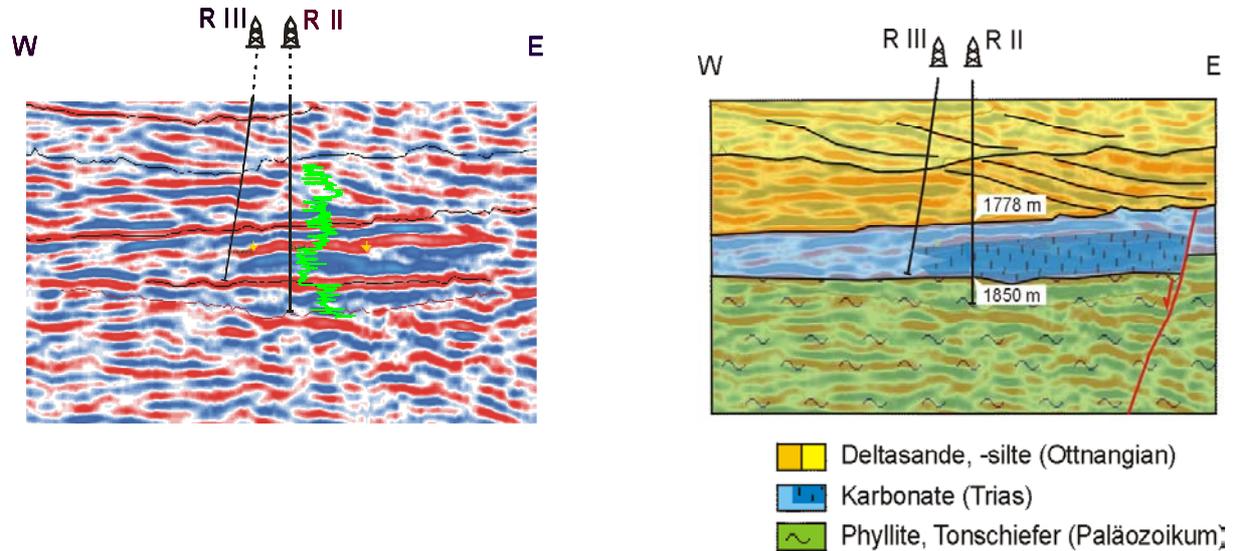


Abbildung 2: Detektion einer Störungszone mit Eigenpotenzialmessungen (aus H. Brasse, Lehrunterlagen der FU Berlin).

Ein sehr detailliertes Bild der Untergrundstruktur erhält man mit reflexionsseismischen Messungen. Dabei werden an der Erdoberfläche elastische Wellen ausgelöst. Diese durchlaufen die Gesteinsschichten und werden an Schichtgrenzen reflektiert. Die zur

Erdoberfläche zurückkommenden Wellen werden mit Geophonen aufgenommen und als sogenanntes Seismogramm dargestellt. Mit einem rechnergestützten Processing werden aus einer Vielzahl derartiger Einzelmessungen Profilschnitte (oder 3-D-Darstellungen) abgeleitet, wie sie die folgenden Abbildungen 3 und 4 zeigen.

Abbildung 3 zeigt links das Ergebnis der seismischen Messung und rechts das Ergebnis der geologischen Interpretation. Zielbereich ist der (blau gezeichnete) karbonatische und klüftige Horizont mit zwei Bohrungen. Die grüne Kurve in der linken Darstellung ist das Gammalog; es zeigt im Karbonat ein Minimum.



Seismik: Ergebnis nach Processing

Geologisches Modell

Abbildung 3: Ergebnis der seismischen Messung (links) mit eingetragenen Gammalog und Ergebnis der geologischen Interpretation (rechts).

In einem zweiten Beispiel (Abbildung 4) wurde ebenfalls aus seismischen Ergebnissen ein Untergrundmodell entwickelt. Es zeigt zahlreiche West-Ost orientierte, steil nach Süden einfallende Staffelbrüche (Abschiebungen), die von einer Blattverschiebung gekreuzt werden. Alle diese Störungszonen haben erhöhte Kluftporositäten und stellen damit bevorzugte Fließwege dar.

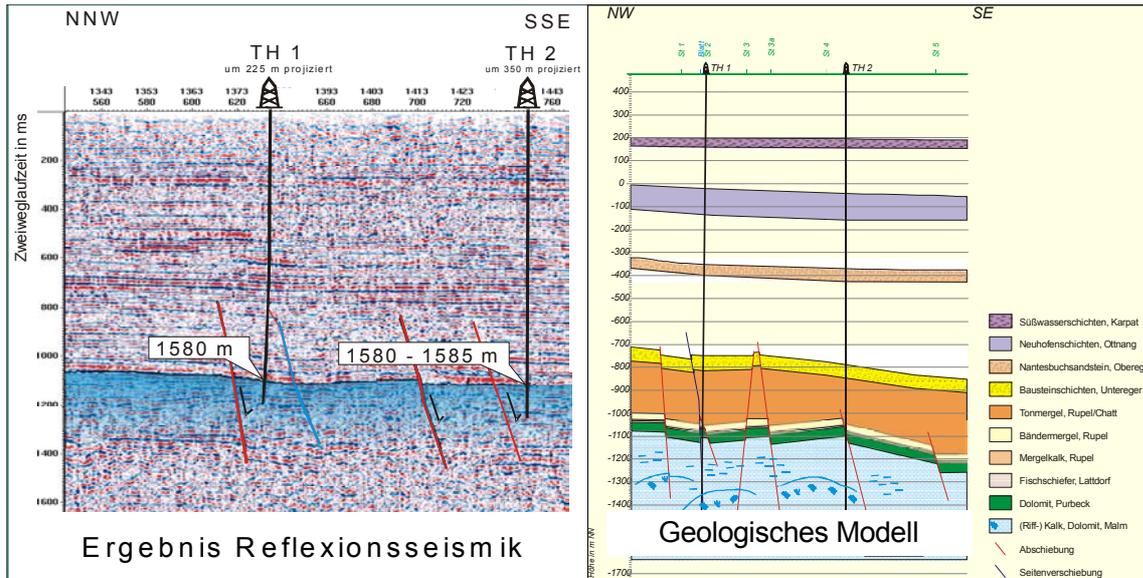


Abb. 4: Störungsnachweis in größeren Tiefen mit Reflexionsseismik (Beispiel mit freundlicher Genehmigung der Geothermie Unterschleissheim AG)

3 Erkennung von Heil- und Mineralwasser in Bohrungen

Bohrungen zur Erschließung von Heil- und Mineralwasserressourcen ermöglichen den direkten Nachweis der gesuchten Wässer am Ort des Eintritts in die Bohrung und während der Bewegung in der Bohrung. Für diesen Nachweis steht ein umfangreicher Komplex bohrlochgeophysikalischer Verfahren zur Verfügung. Anordnung und Funktionsprinzip einer Bohrlochmessanlage zeigt Abb. 5.

Bohrlochmessungen werden für folgende konkrete Zielstellungen bei der Heil- und Mineralwassersuche durchgeführt:

- Erkennung von Heil- und Mineralwasserzutritten in das mit Mischwasser gefüllte Bohrloch,
- Quantifizierung von Wasserbewegungen im Bohrloch,
- Abschätzung hydraulischer Eigenschaften und Störungserkennung,
- Überprüfung des technischen Zustandes von ausgebauten Mineralwasserbohrungen und Brunnen.

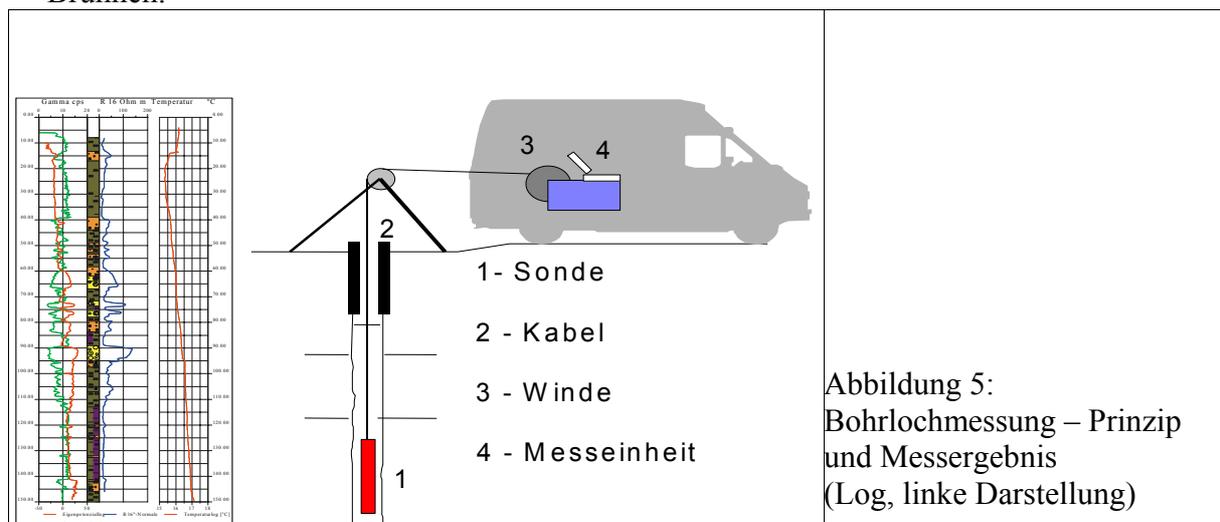


Abbildung 5: Bohrlochmessung – Prinzip und Messergebnis (Log, linke Darstellung)

Eine Auswahl an Bohrlochmessverfahren mit den zugehörigen Messparametern ist in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Bohrlochmessverfahren

Verfahren	geophysikalischer Parameter	Einsatzziel
Kaliberlog	Bohrlochdurchmesser als Funktion der Tiefe	Kaliberausbrüche, Klufbereiche
Widerstandslog	Spezifischer elektrischer Widerstand	Lithologische Gliederung, Klufzonen, Porosität, Wasserführung
Gammalog	Intensität der natürlicher Gammastrahlung	Lithologische Gliederung, Erkennen von Tonlagen
Dichtelog	Formationsdichte	Porosität
Neutronlog	Neutronporosität	Porosität, Tongehalt
Soniclog	Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen	Porosität, Klüftigkeit, mechanischer Zustand
Temperaturlog	Temperaturverlauf	Wassertemperatur, Zuflußindikationen
Wasserleitfähigkeitslog	Wasserleitfähigkeit	Wasserchemismus
Flowmeter	Durchflußmenge	Zuflußprofil
Bohrlochfernsehen und Scannerverfahren	physikalische Eigenschaften der Bohrlochwand	Abbild der Bohrlochwand, Klufbereiche

Ist eine Bohrung niedergebracht, so besteht eine der ersten Aufgaben darin, die permeablen, wasserführenden Bereiche exakt zu lokalisieren. Abbildung 6 zeigt das Beispiel einer Klufdetektion mit verschiedenen Bohrlochmessverfahren: Bereits das Kaliberlog gibt erste Hinweise auf Klufzonen; die angenäherte quantitative Charakterisierung mit einer „Klufporosität“ kann beispielsweise aus dem Dichtelog oder aus Widerstandslogs vorgenommen werden.

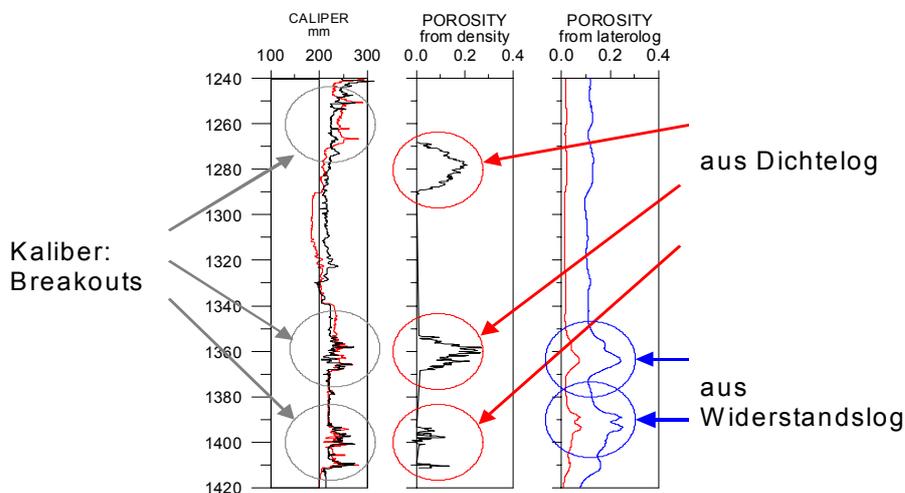


Abb. 6: Bohrlochgeophysikalischer Nachweis von Klufbereichen in einer Bohrung mit Kaliber-, Dichte- und Widerstandslogs

Beim Nachweis von Zuflussbereichen gibt häufig schon ein Temperaturlog erste Indikationen. Eine detailliertere Untersuchung und Quantifizierung ist mit dem sogenannten Flowmeter möglich. Das dabei gemessene Signal ist ein Maß für die vertikale Strömungsgeschwindigkeit im Bohrloch und ändert sich folglich bei Zufluß- und Verlusthorizonten.

Abbildung 7 zeigt hierzu ein Beispiel. Das Gammalog weist von 620 m bis 690 m nahezu tonfreie Gesteine aus: Innerhalb dieses Bereiches, der nach der geologischen Vorkenntnis als Kalkstein bzw. Dolomit anzusprechen ist, tritt der Abschnitt 620 ... 646 m durch niedrige Widerstände und niedrige Geschwindigkeiten hervor – beide Indikationen weisen auf einen Klufbereich hin. Eine Flowmetermessung bei Pumpbetrieb bestätigt an der markanten Messwertänderung, dass über den gesamten Abschnitt ein starker Zufluß erfolgt.

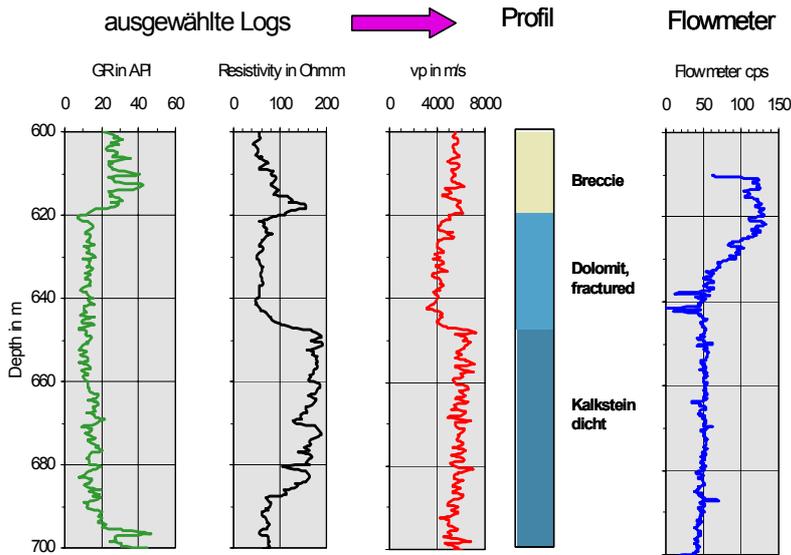


Abb. 7:
Lokalisierung eines
Zuflussbereiches mit
geophysikalischen
Bohrlochmess-
verfahren

Angaben zur Vertikalverteilung der Wasserbeschaffenheit und damit zu Zuflüssen werden mit dem Temperatur-Wasserleitfähigkeits-Log gewonnen. Weitere Messparameter, z.B. pH-Wert, Sauerstoffkonzentration und diverse Kat- und Anionen, lassen sich mit sogenannten Multiparametersonden gewinnen, die zumeist für den manuellen Einsatz bis ca. 100 m Tiefe konzipiert sind. Präzise Logs der Wasserbeschaffenheit lassen sich zumeist nur mit einer Bohrlochmessanlage gemäß Abbildung 3 ermitteln. Exemplarisch sind in Abbildung 8 die Logs für Temperatur, pH-Wert und Wasserleitfähigkeit in der Forschungsbohrung des DGFZ e.V. im Teufenabschnitt 65 bis 90 m unter GOK gezeigt.

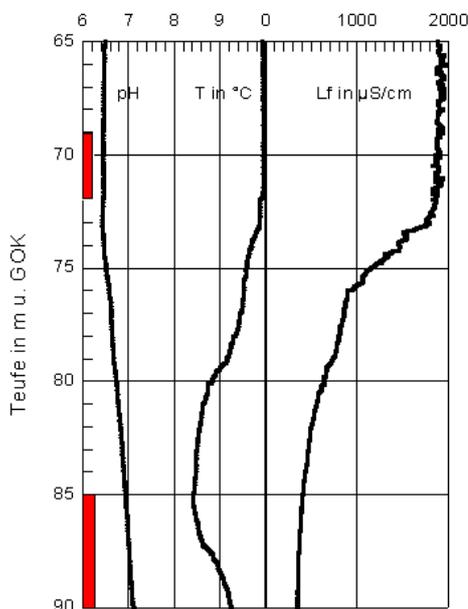


Abb. 8:
Logs zur Wasserbeschaffenheit in der
Forschungsbohrung des DGFZ (Zustand der
Bohrung am 07.01.2000)