

## Hochauflösende Messungen mit der Methode der Induzierten Polarisation zur Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse zwischen zwei Bohrungen im mittleren Feistritztal (Steiermark)

*High-Resolution Measurements using the Method of Induced Polarisation for Investigating the Hydrogeological Situation between two Wells in the Central Feistritztal (Styria)*

E. NIESNER<sup>1)</sup>

### Inhalt

	Seite
Einleitung .....	194
1. Grundlagen der Anwendung von IP-Messungen in der Hydrologie .....	194
2. Feldmessungen .....	195
3. Interpretation des IP-Widerstandsprofiles.....	198
4. Interpretation der Polarisierbarkeit entlang des Profiles .....	198
5. Metallfaktor und Lithologie .....	201
Zusammenfassung .....	203
Literatur.....	204
Summary .....	204
Danksagung.....	205

<sup>1)</sup> UA, Dipl.-Ing. Dr. E. NIESNER, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben.

## Einleitung

In den Grundwasserhorizonten des mittleren Feistritztales treten lokal impermeable Zonen auf, sodaß einzelne regionale Bereiche hydraulisch nicht miteinander kommunizieren können. Dies konnte bei der Auswertung von Überlaufversuchen an den in diesem Gebiet abgeteufte Brunnenbohrungen festgestellt werden. Eine detailliertere Untersuchung des mittleren Feistritztales mittels geoelektrischer Tiefensondierungen (Ch. SCHMID, 1982) ergab, daß diese impermeable Zone etwa entlang des Feistritztales verläuft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen darauf schließen, daß die nichtpermeable Zone eine lithologische Grenze darstellt.

Die Aufgabenstellung war nun, diese lithologische Grenze genauer zu untersuchen. Als Ergänzung zu den bereits vorliegenden Ergebnissen der geoelektrischen Messungen wurde dazu das Verfahren der Induzierten Polarisation (IP) eingesetzt. Die Lage eines detaillierten IP-Profiles wurde so gewählt, daß dieses Profil die vermutete lithologische Grenze schneidet und auch zwei Bohrungen eingebunden werden konnten. An diesen Bohrungen konnten die Ergebnisse der Messungen überprüft und eine genaue lithologische Zuordnung der einzelnen Horizonte durchgeführt werden. Aus den Ergebnissen der IP-Messungen lassen sich aber auch die Permeabilitäten verschiedener Bereiche im Untergrund qualitativ abschätzen. Die wichtigsten physikalischen Ursachen für diesen Zusammenhang zwischen Polarisierbarkeit und der Permeabilität sind im folgenden Kapitel beschrieben.

## 1. Grundlagen der Anwendung von IP-Messungen in der Hydrologie

Die IP-Messung liefert neben dem elektrischen Widerstand als zusätzlichen Parameter die Polarisierbarkeit des Untergrundes. Dadurch sind mit IP-Messungen weitergehendere Aussagen als mit geoelektrischen Messungen, bei denen mit einem Gleichstrom gearbeitet wird, möglich.

Ursache für die in Sedimenten auftretenden Polarisationserscheinungen ist der Membranpolarisationseffekt. Dieser Effekt tritt dann bevorzugt auf, wenn in den Poren bzw. Kapillaren der Sedimente Tone eingelagert sind. Durch das elektrisch nicht ausgeglichene Kristallgitter der Tone bilden sich um die Tonpartikel Kationenwolken, die in engeren Poren eine Energiebarriere für die am Stromtransport beteiligten Anionen darstellen. Diese Kationenwolken sind somit eine Ursache für eine Ladungstrennung von Anionen und Kationen und damit Ursache für die Ausbildung eines Polarisierungseffektes. Die Größe dieses Polarisierungseffektes ist auch von der vorliegenden Tonart abhängig und wird durch die „Cation Exchange Capacity“ (CEC) beschrieben. Somit ergeben bereits geringe Vertonungen, die in direktem Zusammenhang mit einer Permeabilitätsverringerung eines Horizontes stehen, Erhöhungen der Polarisierbarkeit in diesen Horizonten (J. DUDAS et al., 1991). Über den dadurch hervorgerufenen meßbaren IP-Effekt können nun auch sehr geringe Vertonungen, die den elektrischen Widerstand einer Formation noch nicht entscheidend beeinflussen, aber für die Permeabilität eines Horizontes von größter Wichtigkeit sind, nachgewiesen werden. Bereits das Auftreten einer geringen

Vertonung kann die hydraulische Permeabilität eines Horizontes entscheidend vermindern. Reine Sande und reine Tone haben sehr geringe Polarisierbarkeiten. Damit ist das IP-Verfahren für die hier vorliegende Fragestellung, bei der es um die Lokalisierung von Zonen mit guter und schlechter Permeabilität geht, gut geeignet.

## 2. Feldmessungen

Es wurde nun für die IP-Messungen ein Meßprofil gewählt, das die über die geoelektrischen Messungen bereits in ihrer Lage fixierte lithologische Grenze schneidet. Weiters sollte das Profil auch zwei Brunnenbohrungen verbinden, zwischen denen bei Überlaufversuchen keine hydraulische Kommunikation festgestellt werden konnte. Aus den vorliegenden Bohrungen wurden dafür die in

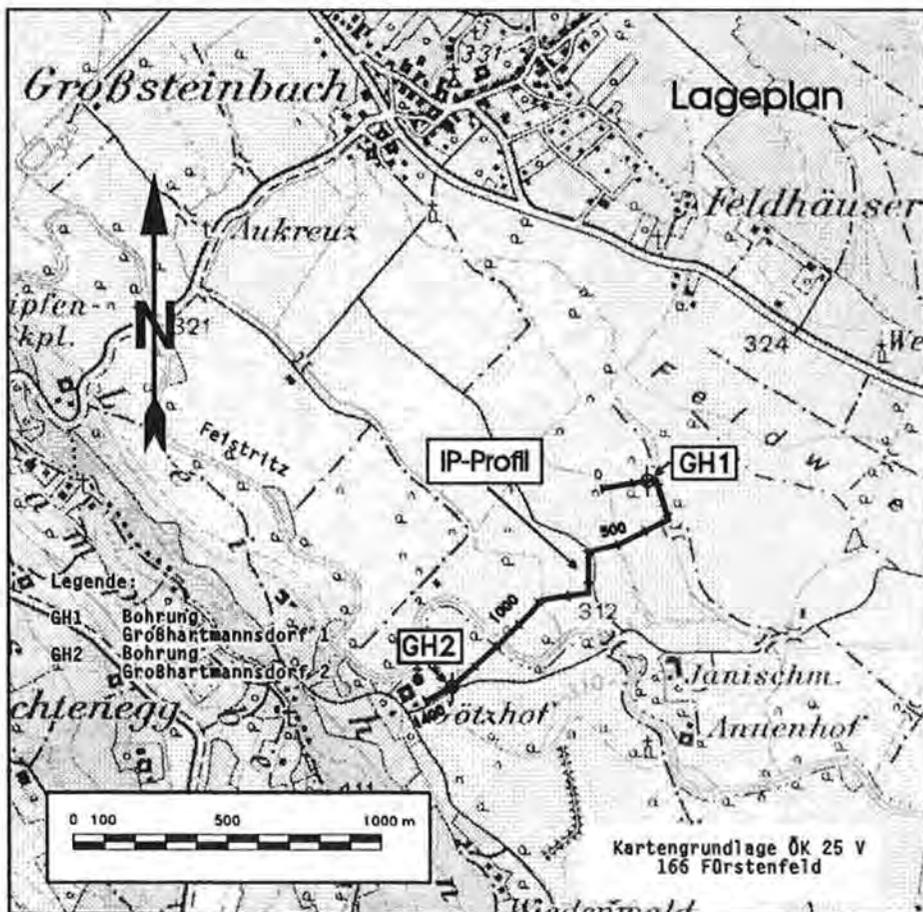


Fig.1: Lageplan des IP-Profiles und der Bohrungen Großhartmannsdorf 1 und 2 im mittleren Feistritztal.

nicht allzu großem Abstand voneinander liegenden Bohrungen Großhartmannsdorf 1 und 2 (GH1 und GH2) ausgewählt. Da diese IP-Messungen im Hochsommer ausgeführt wurden, mußte das Profil mit Rücksicht auf die bestellten Felder in Form mehrerer Teilprofile gemessen werden. Diese Profile wurden allerdings überlappend gemessen und anschließend zu einem Gesamtprofil zusammengesetzt. Der Verlauf der IP-Profile ist im Lageplan in der Fig. 1 eingezeichnet.

Die Elektrodenkonfiguration und die Meßpunktabstände wurden so gewählt, daß eine bessere laterale Auflösung als mit den Tiefensondierungen erzielt werden konnte. Es wurde mit einer Dipol-Dipol Anordnung mit einem Elektrodenabstand von 10 m und einem Meßpunktabstand von 20 m gearbeitet. Die Eindringtiefe der Meßanordnung wurde durch die Änderung des Abstandes zwischen Strom- und Meßdipol variiert. Es wurde mit sechs verschiedenen Eindringtiefen gearbeitet. Bei der bei IP-Messungen sehr häufig verwendeten Dipol-Dipol Anordnung ist es üblich, den Abstand zwischen dem Strom- und dem Meßdipol im Vielfachen des Elektrodenabstandes ( $n$ ) anzugeben. Im vorliegenden Fall wurde mit einem Faktor  $n$  von 1–6 gemessen. Mit diesem Profil konnte somit der oberflächennahe Bereich bis in eine Tiefe von etwa 25 m mit einer hohen lateralen und vertikalen Auflösung genauer untersucht werden. Diese Messungen wurden im Rahmen des Projektes „Geophysik der Erdkruste“/Teilprojekt StA 60/84 (E. NIESNER & F. WEBER, 1985) im Sommer 1984 durchgeführt.

Die IP-Messungen wurden im Frequenzbereich ausgeführt und für die Berechnung des IP-Effektes die Frequenzen 0,25 und 4 Hz verwendet. Als Meßgeräte kamen ein IPV-3 Empfänger und ein IPT-1 Transmitter der kanadischen Firma Phoenix zum Einsatz. Weiters wurde ein Stromaggregat mit einer Leistung von 3,5 KW eingesetzt.

Die Ergebnisse von Dipol-Dipol IP-Messungen werden üblicherweise in der Form von Pseudosektionen dargestellt (z. B. P. G. HALLOF, 1957). Diese Pseudosektionen zeigen in einem Tiefenschnitt ein qualitatives Bild der lateralen und vertikalen Veränderungen des elektrischen Widerstandes und der Polarisierbarkeit, wobei die Daten jedoch in einem „Pseudo“-Tiefenmaßstab aufgetragen werden. Die wahre Tiefe der Schichtgrenzen kann aus diesen Pseudosektionen noch nicht abgelesen werden. Weiters treten in diesen Pseudosektionen meist Elektrodeneffekte auf, sodaß eine direkte Umsetzung der Werte in geologische Schichten schwer möglich ist. Die Pseudosektionen eignen sich daher nur gut zur Lokalisierung von anomalen Zonen und nicht zur Festlegung der Lage der geologischen Schichtgrenzen im Untergrund. Um nun zu tatsächlichen Tiefenwerten zu kommen, wurden die Pseudosektionen weiter bearbeitet. Nach L. S. EDWARDS (1977) läßt sich für jede Elektrodenkonfiguration eine effektive Eindringtiefe berechnen. Die Meßpunkte wurden nun in eine modifizierte Pseudosektion eingetragen, wobei als Tiefe die jeweiligen effektiven Eindringtiefen verwendet wurden. Damit ergibt sich eine Darstellung, in der die tatsächliche Tiefe der geologischen Schichtgrenzen und damit auch deren Einfallen wiedergegeben wird. Die auf diesem Profil auftretenden lokalen Inhomogenitäten sind in der Ausdehnung wesentlich größer als die Elektrodenabstände, sodaß in diesem Profil auch keine ausgeprägten Elektrodeneffekte auftreten und somit eine Filterung der Daten in diesem Fall nicht notwendig ist. Das Ergebnis der IP-Messungen, dargestellt in einer modifizierten Pseudosektion, zeigt die Fig. 2. Das Profil hat eine Gesamtlänge von 1400 m und ist in 10facher Überhöhung dargestellt. Ebenfalls in dem Profil eingetragen ist die Lage der beiden Bohrungen Großhartmannsdorf GH1 und GH2.

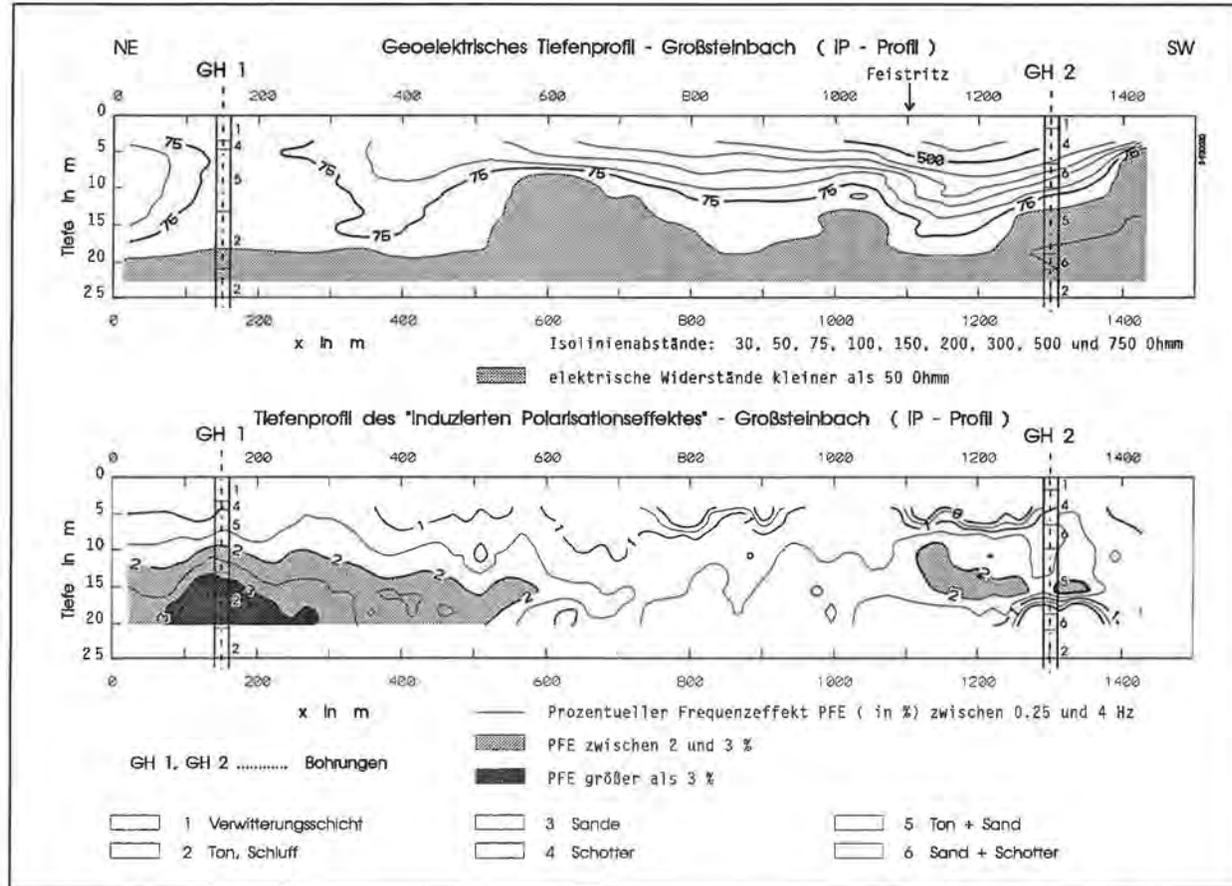


Fig.2: Modifizierte Pseudosektionen des elektrischen Widerstandes und des Induzierten Polarisierungseffektes des IP-Profiles. (Dipol-Dipol Anordnung mit 10 m Elektrodenabstand, 20 m Meßpunktabstand und  $n = 1-6$ .)

### 3. Interpretation des IP-Widerstandsprofiles

In der Fig. 2 ist die modifizierte Pseudosektion des Widerstandsprofils dargestellt. Als Widerstandswerte wurden die scheinbaren Widerstände, die noch etwas von den wahren Formationswiderständen abweichen können, aufgetragen, weil für die Berechnung ein integrales Volumenelement herangezogen wird. Für die hier durchgeführte Interpretation sind aber diese scheinbaren Widerstände durchaus ausreichend, da die lateralen Widerstandsänderungen entlang des Profils im Vergleich zur Gesamtauslagenlänge gering sind und damit die scheinbaren Widerstände nahezu die tatsächlichen Widerstände wiedergeben.

In diesem Profil ist erkennbar, daß oberflächennah eine höherohmige Sand- und Schottererschicht anzutreffen ist, deren Mächtigkeit in Richtung der Bohrung GH2 zunimmt. Die Widerstände dieser Schicht erreichen in der Nähe des Feistritzflusses die höchsten Werte von über  $750 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ . Auf Grund der Widerstandswerte in diesem Horizont kann angenommen werden, daß diese Schicht grundwasserführend ist und damit ein oberflächennahes Grundwasserstockwerk vorhanden ist. Im Liegenden dieser Schottererschicht nehmen die Widerstände rasch auf Werte unter  $50 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  ab. Diese Widerstände entsprechen tertiären Schluffen oder Tonen. In der modifizierten Pseudosektion wurden diese Bereiche mit Widerständen kleiner als  $50 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  durch eine Signatur hervorgehoben. Deutlich ist in diesem Profil erkennbar, daß die Tone und Schluffe zwischen 500 und 750 m nahe an die Oberfläche heranreichen. Dieses Strukturhoch der Tone stimmt lagemäßig mit der prognostizierten lithologischen Grenze zusammen. Diese laterale Inhomogenität stellt somit einen weiteren Anhaltspunkt für das Vorliegen einer lithologischen Grenze dar.

### 4. Interpretation der Polarisierbarkeit entlang des Profiles

Auch die Meßergebnisse der Polarisierbarkeiten entlang des Profiles, die ebenfalls in der Fig. 2 dargestellt sind, zeigen ein ähnliches Bild. Auffallend an diesen Werten ist, daß die höchsten Polarisierbarkeiten in diesem Profil im Bereich der Bohrung GH1 auftreten. Bei der Bohrung GH2 sind die auftretenden Polarisierbarkeiten deutlich niedriger. Sowohl die höherohmigen Sand- bzw. Schotterbereiche als auch die niederohmigen Bereiche von Schluffen und Tonen zeigen in Übereinstimmung mit der Theorie niedrige Polarisierbarkeiten. Auch bei diesem Profil ist eine Zweiteilung erkennbar. Ein Vergleich mit den vorliegenden Bohrprofilen zeigt ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit den Meßergebnissen. In der Bohrung GH1 wurde ein oberflächennaher geringmächtiger Aquifer zwischen 4 und 5 m Tiefe erbohrt. Ein Blick auf das Profil zeigt, daß die im Bereich dieses Schotterhorizontes auftretenden Polarisierbarkeiten unter 1% und die elektrischen Widerstände bei etwa  $70 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  liegen. Im Bereich dieser Bohrung GH1 läßt sich nun deutlich der Vorteil, der sich für die Interpretation durch die Messung des zusätzlichen Parameters der Polarisierbarkeit ergibt, erkennen. Die Ergebnisse der Bohrung zeigten, daß der nächste Aquifer erst in einer Tiefe von über 50 m auftritt. Die zwischen diesen beiden Aquiferen liegenden Schichten sind aus nichtpermeablen Ton- und Schluffschichten aufgebaut. Würde man nun für die Interpretation nur die elektrischen Widerstände der Schichten heranziehen, so ist erkennbar, daß sich die Zone mit

Widerständen um  $70 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  bis in eine Tiefe von nahezu 20 m erstreckt. Sowohl der geringmächtige Aquifer als auch die darunterliegende nichtpermeable Zone haben etwa gleich große elektrische Widerstände. Ohne Vorliegen von Bohrergebnissen wäre es durchaus möglich, diese bis in eine Tiefe von 20 m reichende Schicht fälschlicherweise als einen Aquifer zu interpretieren. Ein deutlich differenzierteres Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Polarisierbarkeiten. Bei den Polarisierbarkeiten ist eine deutliche Zunahme mit der Tiefe feststellbar. In einer Tiefe von 20 m haben die auftretenden Polarisierbarkeiten bereits Werte von über 3% gegenüber den im Aquifer auftretenden Werten von unter 1%. Unter Verwendung der zusätzlichen Information über die Polarisierbarkeiten des Untergrundes läßt sich daher dieser geringmächtige, oberflächennahe Aquifer sehr gut lokalisieren. Die deutlich höheren Polarisierbarkeiten in den darunterliegenden Schichten zeigen, daß diese Schichten trotz der noch etwas höheren Widerstände auf Grund einer Vertonung nicht permeabel sind und daher keinen Aquifer darstellen. Durch die zusätzliche Verwendung von Polarisierbarkeiten läßt sich daher dieser geringmächtige Aquifer gut feststellen.

Auch bei der Bohrung GH2 ist der oberflächennahe Aquifer, der im Bereich dieser Bohrung deutlich mächtiger ist, an den höheren Widerständen von über  $100 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  und den niedrigeren Polarisierbarkeiten, in diesem Fall unter 1,5%, gut erkennbar. An diesen Aquifer schließt sich eine impermeable sandige Tonschicht mit Polarisierbarkeiten von über 2% an. In dieser Schicht sinken die elektrischen Widerstände, wie in der Fig. 2 zu erkennen ist, bereits auf Werte unter  $50 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ . Innerhalb dieser niederohmigen, sandig tonigen Schichten ist nun ein weiteres Minimum in den Polarisierbarkeiten erkennbar. Die Polarisierbarkeiten sinken in einer Tiefe von ca. 20 m auf Werte, die deutlich unter 1% liegen, ab. Ein Vergleich mit dem Bohrprofil in Fig. 2 zeigt, daß es sich hierbei um einen weiteren geringmächtigen Aquifer handelt. Durch die geringe Schichtmächtigkeit von nur etwa 2 m läßt sich diese Schicht mit den Widerstandsmessungen nicht mehr auflösen, da diese Schicht im Vergleich zu den vertikal benachbarten niederohmigen Schichten eine zu geringe Mächtigkeit hat. Auch hier zeigen die Ergebnisse, daß die Polarisierbarkeiten des Untergrundes für die Interpretation wichtige Zusatzinformationen geben und auch dieser Aquifer mit den geoelektrischen Messungen allein nicht feststellbar wäre. In der Polarisierbarkeit hat dieser Horizont jedoch einen genügend großen Kontrast, sodaß sich dieser Horizont bei der Betrachtung der Polarisierbarkeiten deutlich abzeichnet. Diese Interpretation ist jedoch noch nicht ganz eindeutig, da auch reine Tone niedrige Polarisierbarkeiten haben können. Ein Vergleich mit den Bohrprofilen und den zugehörigen Polarisierbarkeiten zeigt jedoch, daß die in diesem Gebiet auftretenden Tone und Schluffe generell Polarisierbarkeiten aufweisen, die größer als 1,5% sind. Unter Einbeziehung dieser Tatsache läßt sich nun doch eine eindeutige Zuordnung dieser Minimumzonen der Polarisierbarkeit zu den im Untergrund auftretenden Grundwasserhorizonten durchführen. Über die Messung der Polarisierbarkeiten lassen sich daher auch noch geringmächtige Grundwasserhorizonte besser als mit reinen Widerstandsmessungen nachweisen. Zusätzlich zu der lithologischen Aufnahme der Cuttings lagen in der Bohrung GH2 auch die Ergebnisse von Bohrlochmessungen (H. JANSCHKE, 1982) vor, die in der Fig. 3 zusammen mit den entsprechenden Ausschnitten aus den modifizierten Widerstands- und IP-Pseudosektionen dargestellt sind. Sowohl in dem SP- als auch in dem Widerstandslog ist dieser Horizont bei einer Tiefe von 20 m gut erkennbar und stimmt gut mit dem gemessenen Polarisationsminimum überein. In der Widerstandspseudosektion läßt sich dieser

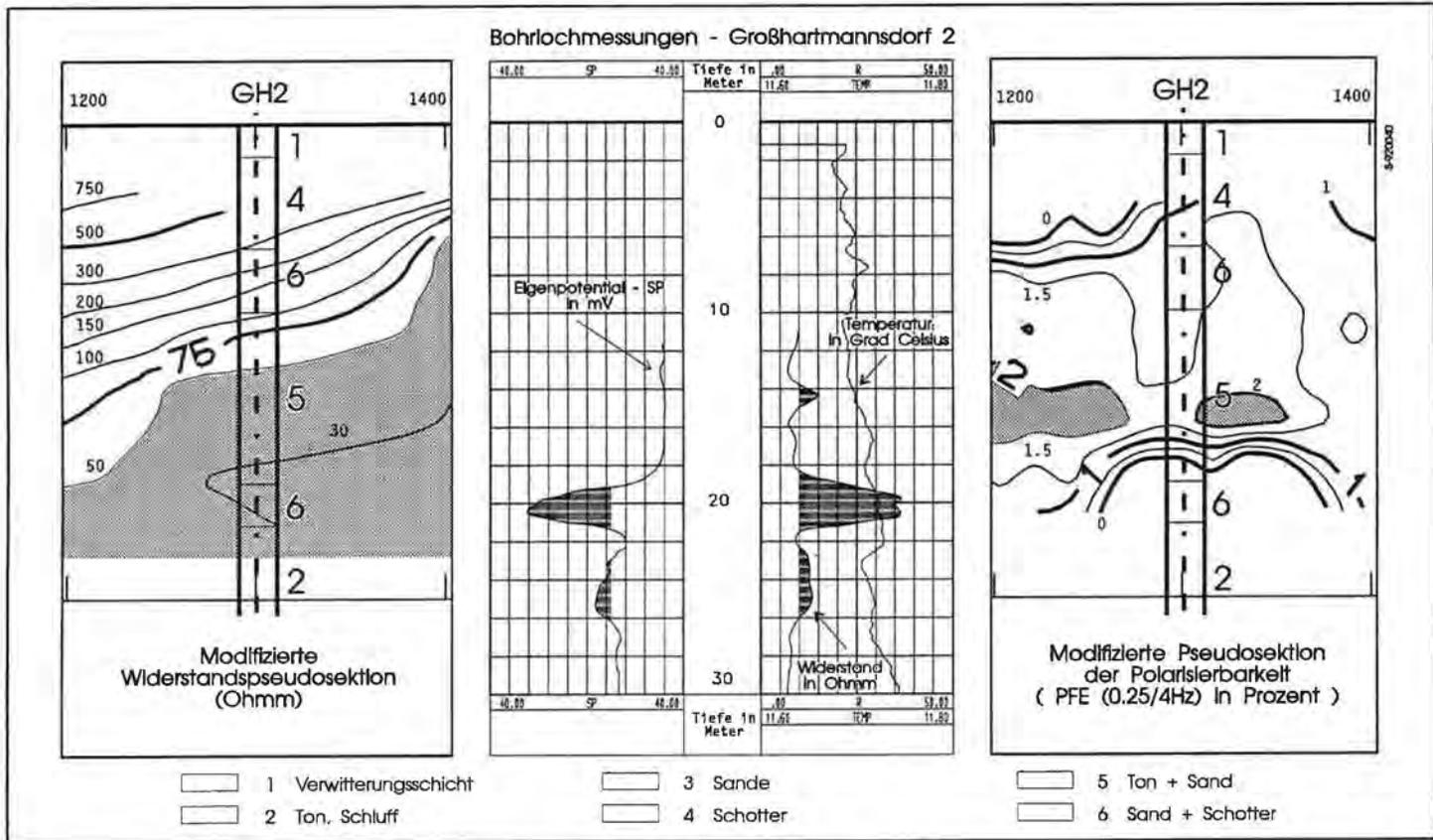


Fig.3: Vergleich der modifizierten Pseudosektionen von Widerstand und Polarisierbarkeit mit den Ergebnissen der Bohrlochmessungen (H. JANSCHKE, 1982) im Bereich der Bohrung Großhartmannsdorf 2.

Horizont kaum feststellen und zeigt sich nur durch einen leichten Widerstandsanstieg, der durch einen Knick in der 30 Ohm · m Isolinie erkennbar ist.

Mit diesen Ergebnissen an den Bohrungen läßt sich auch eine Interpretation des zwischen den Bohrungen liegenden Bereiches durchführen. Der in beiden Bohrungen angetroffene oberflächennahe Grundwasserleiter zeigt eine durchgehende Verbindung zwischen den beiden Bohrungen. Die Werte für die Polarisierbarkeit dieses Horizontes sind durchwegs unter 1% und erreichen nur stellenweise Werte von 1,5%. Die Permeabilität dieses Horizontes unterliegt demnach Schwankungen, aber nach den Ergebnissen der IP-Messungen müßte trotzdem eine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Bohrungen über diesen Horizont existieren.

Anders sehen die Verhältnisse bei dem in der Bohrung GH2 in einer Tiefe von etwa 20 m angetroffenen zweiten Horizont aus. Dieser Horizont wird bereits in einigen 100 m Entfernung von der Bohrung undurchlässig. Dies läßt sich aus den gemessenen Werten für die Polarisierbarkeiten, die in diesem Horizont sehr rasch ansteigen und bei der Bohrung GH1 Werte von über 3% erreichen, schließen. Dieser Horizont zeigt somit in dem betrachteten Tiefenbereich keine hydraulische Verbindung mit der Bohrung GH1. Die Permeabilitäten der Grundwasserhorizonte in diesem Bereich ändern sich offensichtlich relativ rasch.

## 5. Metallfaktor und Lithologie

Wie die bisher dargelegten Ergebnisse gezeigt haben, können die permeablen Zonen einerseits durch höhere Widerstände und andererseits durch niedrige Polarisierbarkeiten charakterisiert werden. Für die weitere Interpretation soll nun durch die Kombination des Widerstandes und der Polarisierbarkeit ein einziger Parameter berechnet werden, mit dem eine Unterteilung des Untergrundes nach der Permeabilität durchgeführt werden kann. Deshalb soll hier ein von der Erzprospektion stammendes Verfahren, nämlich die Berechnung des Metallfaktors aus dem Widerstand und der Polarisierbarkeit, in etwas abgewandelter Form verwendet werden. In der Erzprospektion wird der Metallfaktor, der definiert ist als der Quotient aus Polarisierbarkeit und elektrischem Widerstand zur Lokalisation potentiell erzhöffiger Zonen verwendet. Zonen mit hoher Polarisierbarkeit und niedrigem Widerstand ergeben Maxima des Metallfaktors. Da Erze meist hohe Polarisierbarkeiten und niedrige Widerstände haben, stellen diese Maxima die für eine Erzführung interessanten Zonen dar. Im Gegensatz dazu sollen hier die permeablen Zonen, die durch einen hohen Widerstand und eine geringe Polarisierbarkeit charakterisiert sind, bestimmt werden. Wichtig für die hydrologische Auswertung sind daher die Minima des Metallfaktors, die die permeablen Zonen darstellen. Daher wurde für das hier gemessene Profil der Metallfaktor berechnet. Die modifizierte Pseudosektion des Metallfaktors ist in der Fig. 4 dargestellt.

Ein Vergleich des Metallfaktors mit dem lithologischen Profil an den Bohrungen bzw. mit den Bohrlochmessungen zeigt eine gute Korrelation des Metallfaktors mit der Lithologie. Damit ist es möglich eine Zuordnung der lithologischen Schichten über den Metallfaktor durchzuführen und damit die Lage der Horizonte auch auf den Bereich zwischen den Bohrungen zu extrapolieren. Die hier unterschiedenen Horizonte entsprechen Zonen mit unterschiedlich großer Permeabilität. Die für die Zuordnung ermittelten Bereichsgrenzen des Metallfaktors sind in der Fig. 4

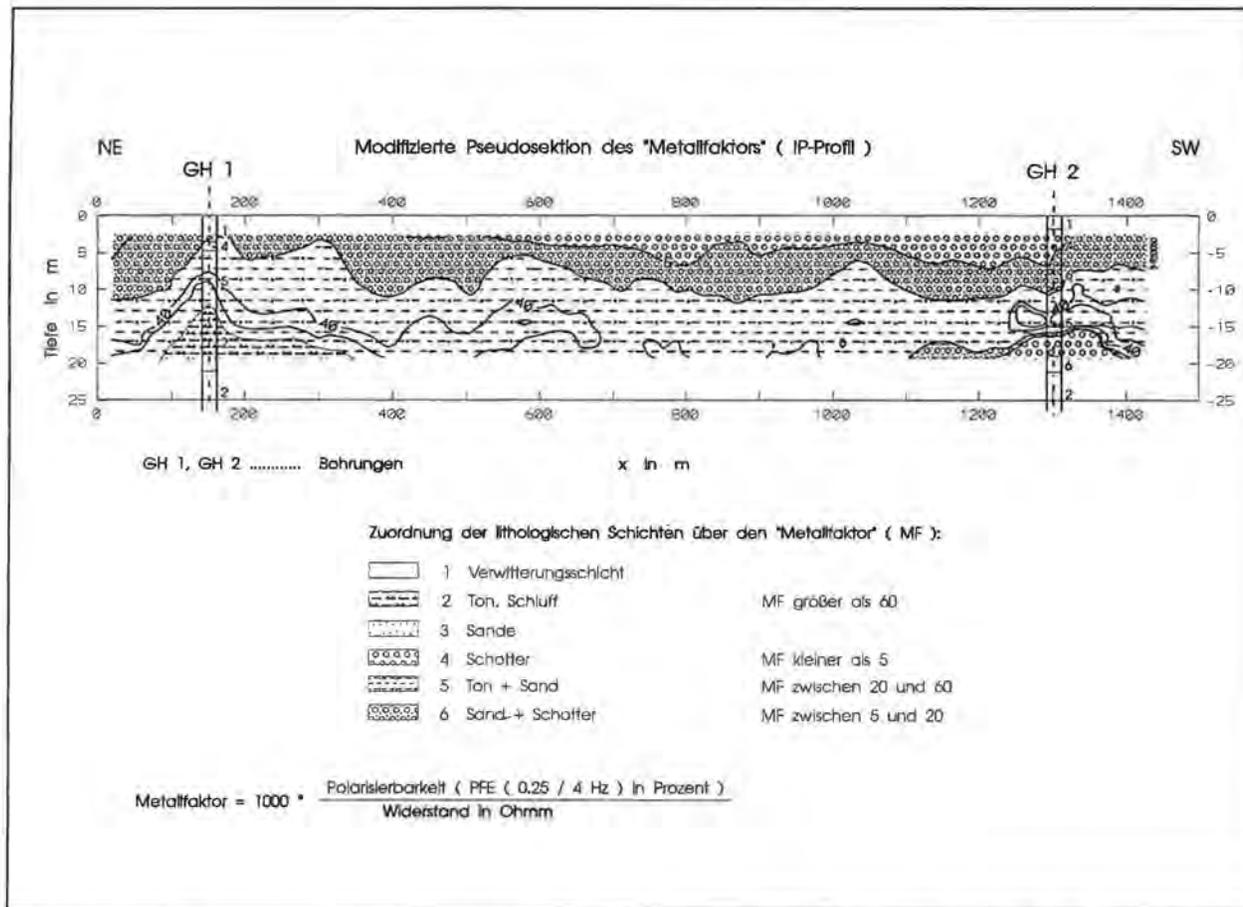


Fig. 4: Modifizierte Pseudosektion des Metallfaktors und Zuordnung der lithologischen Schichten über den Metallfaktor des IP-Profiles.

angeführt. Da für die Berechnung des Metallfaktors meist keine einheitlichen Formeln benutzt werden, ist, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Messungen zu gewährleisten, die hier verwendete Definition ebenfalls in der Fig. 4 eingetragen. Es wurde für diese Berechnungen ein konstanter Faktor von 1000 verwendet.

In diesem Profil ergaben sich folgende Zuordnungen zwischen dem Metallfaktor und der Lithologie:

Für Schotter sind die Metallfaktoren kleiner als 5. Zwischen 5 und 20 liegen dann Formationen aus Sand und Schotter. Durch die Beimengung von Ton steigen die Werte für den Metallfaktor weiter und liegen für ein Sand-Ton Gemisch zwischen 20 und 60. Werden die Werte für den Metallfaktor größer als 60, so entspricht dies auf diesem Profil Tonen und Schluffen.

Die mit diesen Werten ermittelte Lithologie aus dem Metallfaktor ist ebenfalls in der Fig. 4 eingetragen. Als Beweis für eine korrekte Zuordnung kann die gute Übereinstimmung dieser Schichten mit der lithologischen Aufnahme bei beiden Bohrungen angesehen werden. Andernfalls könnte nur jeweils bei einer Bohrung eine gute Korrelation erzielt werden.

Aus dem in der Fig. 4 dargestellten Ergebnis dieser lithologischen Zuordnung der einzelnen Horizonte über den Metallfaktor ist zu erkennen, daß der oberflächennahe Horizont eine durchgehende Verbindung zwischen den beiden Bohrungen darstellt, wobei allerdings die Permeabilitäten in Richtung der Bohrung GH1 immer mehr abnehmen. Auch die Mächtigkeit dieses Horizontes nimmt in diese Richtung, wie aus der Fig. 4 ersichtlich ist, ab. Die geringsten Mächtigkeiten dieses Horizontes treten zwischen der Bohrung GH1 und 320 m bzw. bei 580 m und bei 1040 m auf. Der bei der Bohrung GH2 in einer Tiefe von etwa 20 m liegende Aquifer hat nur eine sehr lokale Ausdehnung und kann nicht bis zur Bohrung GH1 verfolgt werden. Über diesen Horizont findet also keine hydraulische Kommunikation zwischen den beiden Bohrungen statt. Damit wird auch das Ergebnis der Pumpversuche für den hier betrachteten Tiefenbereich bestätigt. Bereits in den oberflächennahen Schichten konnten also charakteristische Unterschiede zwischen den beiden Bohrungen festgestellt werden. Daß dieses Ergebnis auch auf tiefere Horizonte ausgedehnt werden kann, zeigen die bereits eingangs erwähnten Pumpversuche an diesen Horizonten.

## Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchungen war es, möglichst genaue Informationen über den Bereich zwischen den beiden Bohrungen Großhartmannsdorf 1 und 2 (GH1, GH2) zu erhalten, da neben anderen Bohrungen in diesem Gebiet auch bei diesen Bohrungen bei Pumpversuchen keine hydraulische Kommunikation der Grundwasserleiter festgestellt werden konnte und damit das Vorliegen einer impermeablen Zone bzw. einer lithologischen Grenze zwischen diesen beiden Bohrungen angenommen werden mußte. Diese impermeable Zone bzw. die Permeabilitätsverhältnisse der Grundwasserleiter in diesem Bereich sollten genauer untersucht werden, wobei hierzu das Verfahren der Induzierten Polarisation eingesetzt wurde. Mit diesem Verfahren läßt sich zusätzlich zum elektrischen Widerstand des Untergrundes auch dessen Polarisierbarkeit bestimmen. Die Polarisierbarkeit gibt nun, wie verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, einen Aufschluß über die Permeabilität der

Horizonte. Weiters lassen sich über die Messung der Polarisierbarkeit auch geringmächtigere Horizonte als mit den Widerstandsmessungen auflösen, wenn ein entsprechender Kontrast in den Polarisierbarkeiten vorliegt. Es wurde mit einer Dipol-Dipol Anordnung ( $n = 1-6$ ) ein 1400 m langes Profil gemessen. Der Elektrodenabstand betrug 10 m und der Meßpunktabstand 20 m. Damit konnten die oberflächennahen Schichten bis in eine Tiefe von etwa 25 m mit einer sehr hohen lateralen Auflösung untersucht werden. Zusätzlich lagen auch bei der Bohrung GH2 Bohrlochmessungen vor, die ebenfalls in die Interpretation eingebunden wurden. Als Ergebnis zeigte sich, daß der Metallfaktor gut mit der Lithologie und die Minima des Metallfaktors mit den permeablen Zonen korrelieren. Die Permeabilitäten der einzelnen Horizonte ändern sich auf dem Profil sehr rasch und mit den Messungen konnte bestätigt werden, daß bei den untersuchten Horizonten keine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Bohrungen vorliegt. Etwa in der Mitte des Profiles bei 600 m reichen die tertiären Tone und Schluffe sehr nahe an die Oberfläche, sodaß auch der oberflächennahe Aquifer in diesem Bereich eine verminderte Durchlässigkeit besitzt. Mit Hilfe der IP-Messungen ist es daher sehr gut möglich, die lithologischen Informationen der Bohrungen auf ein größeres Gebiet zu extrapolieren und auch die Permeabilität der Schichten läßt sich qualitativ bestimmen. Damit können wichtige zusätzliche hydrologische Informationen über den Untergrund erhalten werden.

## Literatur

- DUDÁS, J., E. NIESNER & L. VERÓ (1991): Resistivity and IP-parameters used for hydrogeologic purposes and differentiation between nonmetallic minerals. – Geophysical Transaction, v. 36, no. 1-2, 81-92, Budapest, Hungary.
- EDWARDS, L. S. (1977): A modified pseudosection for resistivity and IP. – Geophysics, 42, 1020-1036, Tulsa, USA.
- JANSCHIEK, H. (1981): Bericht über die geophysikalischen Bohrlochmessungen in den Bohrungen Kroisbach und Großhartmannsdorf 2/Stmk. – Unveröff. Bericht, Leoben.
- HALLOF, P. G. (1957): On the interpretation of resistivity and induced polarisation measurements. – Cambridge, MIT, Ph.D. thesis.
- NIESNER, E. & F. WEBER (1985): Anwendung der Induzierten Polarisation auf nichtmetallische Materialien. – Unveröff. Projektendbericht, Geophysik der Erdkruste, Teilprojekt StA 60/84.
- SCHMID, Ch. (1982): Lithologische Untersuchungen des artesischen Grundwasserkörpers im Mittleren Feistritztal (Oststeiermark). – Unveröff. Bericht, Leoben.

## Summary

Previous pumping tests in different wells in the central Feistritztal showed, that there is no hydraulic communication between some of these wells. The results indicated, that there must be an impermeable zone or a lithological border between these wells. With these measurements the intermediate structure between two of these wells was investigated using the method of Induced Polarisation. The two not hydraulically communicating wells of Großhartmannsdorf GH1 and GH2 were chosen for the measuring program. An IP-profil with a length of 1400 m was measured with a dipol-dipol electrode configuration with 20 m between adjacent measuring points and an electrode separation of 10 m for getting information about the subsurface between the two wells.

The factor  $n$  of this dipol-dipol profil was varied between 1 and 6. The result of the measurements with this electrode configuration is a profile with a high lateral resolution and a depth penetration of about 25 m. With the IP-measurements the resistivity and the polarizability of the subsurface could be measured. By measuring the polarizability thinner horizons can be resolved than with resistivity measurements alone, if there is a polarizability contrast between these horizons. Investigations of different authors have shown, that the polarizability of the subsurface correlates with the permeability of the formations. Therefore, the polarizability allows the qualitative distinction between different hydraulical permeabilities. As additional information, the results of well-logging in the well GH2 were available for interpretation. The results of these measurements show that the metal factor correlates with the lithology and the minimum zones represent the permeable formations. These measurements also indicated that the permeability of the horizons varies rather fast and that there is – for the investigated horizons – no hydraulical connection between these two wells. The first aquifer below the surface is also interrupted in the middle of the profile due to a structural high of the tertiary silts and clays at 600 m. At this location the permeability of this aquifer is rather low. As conclusion could be said, that the IP-measurements provide a good possibility to extrapolate the lithological information from the wells to a larger area and the polarizability gives also a qualitative information about the permeability of the formations. Therefore these measurements give important additional hydrological informations about the subsurface.

## Danksagung

Die IP-Meßapparatur für die Feldmessungen wurde von Hrn. Prof. Dr. W. SEIBERL zur Verfügung gestellt. Die Finanzierung der Messungen erfolgte über das Projekt Geophysik der Erdkruste/Teilprojekt StA 60/84 vom FFWF, Hr. OBR. Dr. H. ZETTINIG hat mir freundlicherweise die Erlaubnis zur Verwendung der Ergebnisse der Bohrlochmessungen gegeben. Besonders möchte ich mich auch an dieser Stelle bei Hrn. Prof. DDr. F. WEBER für seine Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.