

# Gewässergeophysik

Im VEB Hydrogeologie wurde ein innovatives Verfahren zur Bewertung der Durchlässigkeit der Böden von Gewässern erarbeitet. Die Kenntnisse aus der Feldgeoelektrik favorisierten die Widerstandselektrik als mögliches Verfahren, um überschlägige Aussagen über die hydrologischen Eigenschaften des Gewässerbodens zu erhalten. Die Milieuparameter Temperatur und elektrische Leitfähigkeit liefern Abbilder für das Vorhandensein physikalischer, chemischer und biologischer Vorgänge, es werden Wassersenken und Quellzutritte sichtbar und letztere nach ihrer Herkunft qualifizierbar.

Hinweis: Der folgende Einzelbeitrag ist ein Auszug aus Löffler & Meinert "Ausgewählte Forschungs- und Erkundungsergebnisse auf dem Gebiet der Hydrogeologie in der DDR" in dem 2011 veröffentlichten Teil II der „Geschichte der Geowissenschaften in der DDR“ von M. Guntau, O. Hartmann, W. Pälchen, M. Störr (Schriftenreihe für Geowissenschaften Heft 18/2010).

## Gewässergeophysik (G. BRANDT)

### 1 Wirtschaftlicher Hintergrund und Veranlassung

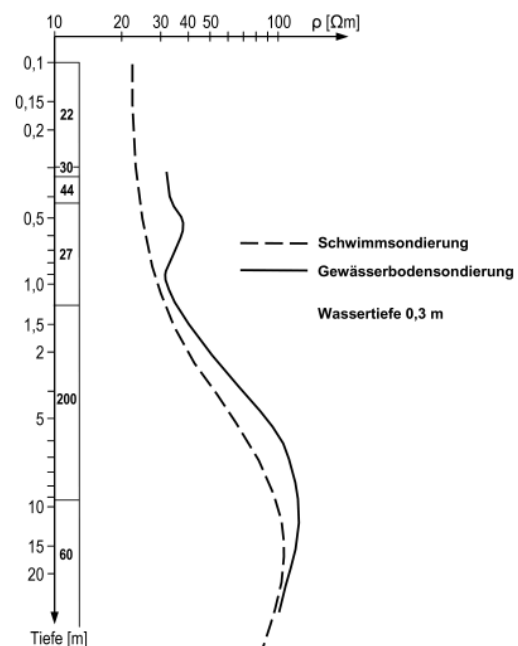
Es war bereits in den siebziger Jahren absehbar, dass der steigende Wasserbedarf vor allem in den industriellen Ballungsgebieten der DDR aus den Grundwasserressourcen auf Dauer nicht abzusichern sein würde. Die Notwendigkeit, Filtratwasser aus Oberflächengewässern zu gewinnen, zeichnete sich ab. An der Thematik arbeiteten gemeinsam die TU Dresden und VEB HGN. Die Filtrationseigenschaften der Gewässerböden - bestehende und sich bei einer Zwangsfiltration entwickelnde - zu kennen, wurde als wichtige Voraussetzung für die Förderung von Filtrat in einer Studie von BEYER (1973) herausgestellt. In der Folge trugen EMSHOFF und HEEGER, die Themenbearbeiter Gewässerkolmation im VEB HGN, die Erwartung, ein innovatives Verfahren zur Bewertung der Durchlässigkeit der Böden von Gewässern zu erarbeiten, an die betriebseigene Gruppe Geophysik heran.

Die Geophysik hatte sich als ein zusätzliches in ein klassisches komplettes und funktionell abgerundetes System von Geologen, Bohrleuten, Brunnenbauern und einem Labor für chemische Wasser- und Bohrgutanalytik eingepflanztes Element ihren Platz im bestehenden Organismus erarbeiten müssen. Der übliche Dienstleister war nicht gefragt. Dieser Zwang bedeutete, Daten und Wissen der bestehenden Ganzheit für die Geophysik aufzubereiten und eine Synthese zu bewirken. Die daraus folgende Grundlagenarbeiten und Entwicklungen prädestinierten die Gruppe für die Übertragung der Aufgabe und waren zugleich Voraussetzung für die praktische Umsetzung:

BRANDT (1968) - Geohydrologische Gesteinsparameter und ihre Beziehung zu Messgrößen der Geophysik; BRANDT, HEILMANN (1970) Aufbau einer hydrointegrierten Geoelektrik; BRANDT (1976) Mathematisches Gesetz des Körnungsaufbaus fluvialer Sedimente für die  $k_f$ -Wertbestimmung, Aufbau eines Porositätenlabors; BORKMANN, BRANDT (1975) Quantitative Beziehungen zwischen chemischen Inhaltstoffen und der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers; BRANDT (1975) Quantitative hydrochemische Bewertung der Schichtwässer aus Geoelektrik; BRANDT, HEILMANN (1977), DDR- Patent für die Entwicklung einer leichten feldfähigen Leitfähigkeitssonde Hy 40/(Hy40 T).

### 2 Das Konzept

Die Kenntnisse aus der Feldgeoelektrik favorisierten die Widerstandselektrik als mögliches Verfahren, um überschlägige Aussagen über die hydrologischen Eigenschaften des Gewässerbodens zu erhalten. Ähnlich wie im Bohrloch sollte über den Gewässerboden eine elektrische Sonde gleiten. An hierdurch als



Gewässergeophysik Bild 1  
Vergleich des elektrischen Auflösungsvermögens einer Schichtenfolge zwischen Schwimmsondierung und Gewässerbodensondierung

Abb. 1: Vergleich Schwimm-/Gewässerbodensondierung

höffig einzuschätzenden Stellen war die direkte Messung der der Infiltration – auf Anregung von Böhm (OFM Cottbus) – mittels einer Infiltrationsglocke nach MONEV (1971) angedacht. Beides wurde im Jahre 1979 Bestandteil einer Neuervereinbarung.

Die Infiltrationsglocke sollte aus einem großkalibrigen Basiszylinder mit kleinkalibrigem Ausgang (Messrohr) nach oben (drei Zehnerpotenzen Querschnittsunterschied) bestehen. Aus den Laufzeitdifferenzen zwischen zwei Kontakten im Messrohr ließen sich die Infiltrationsgeschwindigkeiten errechnen. Das Prinzip der Infiltrationsglocke war (in Bulgarien) mit einem radioaktiven Tracer praktisch erprobt worden. Für die Arbeiten in der DDR war ein anderer Tracer zu finden.

Bezüglich der Elektrizionsonde gab es das prinzipielle Vorbild aus der Bohrlochgeophysik.

### **3 Erste Entwicklungsstufe**

Der Aufbau der Versickerungseinrichtung war zunächst reine Handwerksarbeit und verlief zügig. Die bald fertige Mechanik beinhaltete eine 6100fache Übersetzung. Die Markierung des Wassers wurde zum Problem. Salztracer schied wegen der gravitativen Wirkung aus. Für den Einsatz des Farbtacers Uranin waren brauchbare Sensoren nicht erhältlich. Luftblasen sollten das Markierungsmittel bilden. Das erforderte, das Messrohr in seinem oberen Teil streng horizontal zu lagern. Die Laborversuche verliefen erfolgreich.

Die Widerstandssonde war in der angedachten Konzeption „horizontale Bohrlochgeophysik“ bald verworfen.

Mehrere Meter Wirtiefe und eine vertikale Schichtgliederung waren jetzt die Forderung. Für die ersten Untersuchungen im hydrogeologischen Gebiet „Schlaubetal“ wurden zwei technische Entwicklungen, der Umbau des von ANDERS (1965) konstruierten Komplexen Erdungsmesser durch HEILMANN zum KEM 3 und die Herstellung einer ersten provisorischen „Gewässerbodensonde“ mit AB/2 von 0,1m bis 20m, getätigt.

Der KEM 3 erfüllte seinen Zweck. Die „Gewässersonde“ war umständlich und nur in sehr geringen Wassertiefen überhaupt zu handhaben. Die Auswertbarkeit der Messdaten war unbefriedigend. Mit dem Erwerb von 25-adrigem Seismikkabel wurde der Bau einer Multikanalsonde mit AB/2 = 0,06m bis 10m (später 30m) nach dem Schlumbergerprinzip realisiert. Das geophysikalisch-theoretische Problem asymmetrischer Vollraum wurde als Parallelschaltung von Untergrund und Wasser behandelt und ein „feldfähiger“ Algorithmus entwickelt. Zur Ausrüstung der Unterwassergeoelektrik gehörten damit : Messgerät KEM 3, Kontaktabrufschalter, Kabelsonde GGS 10/30, kombinierte Sonde HR 3T und ein Teufenlot. Die Richtigkeit des entwickelten Algorithmus wurde in einem ablassbaren Teich mit stufenweise verändertem Wasserstand überprüft und bestätigt.

Durch das Verbringen der Messkontakte auf den Gewässerboden beginnt das Wirken des Äquivalenzprinzips ebenfalls erst dort (s. Abb. 1). Mit den außerdem festgelegten kleinen AB/2-Abständen liegt die feinste Schichtauflösung noch im Dezimeterbereich. Die zum Messumfang gehörende elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur liefern Aussagen zur Differenzierung des Milieus und möglicher Ursachen.

### **4 Weitere technisch-technologische Entwicklungen**

Der erste Messeinsatz mit der kompletten Ausrüstung im Sommer 1980 im Müggelsee erbrachte ein voll zufriedenstellendes Ergebnis mit der Unterwassergeoelektrik. Jedoch zeigte die Infiltrationsmessung keine Bewegung an. Die Gründe hierfür, kein Sickervorgang oder ein Systemmangel, wurden nicht geklärt. Ein späterer Versuch im Kiesbett des Wasserwerkes Mockritz war dagegen erfolgreich. Weitere Testarbeiten mit dem hydraulischen System erfolgten nicht.

Die Entwicklungen der nächsten Jahre betreffen allein die geophysikalische Seite des ursprünglichen Vorhabens. Den ersten weiteren Schub gab es mit der Forderung nach großen elektrischen Wirtiefen, die den Anschluss an landseitige Bohrungen bzw. elektrische Sondierungen sicher gewährleisten sollten. Im Rahmen der Gewässerbodenuntersuchungen im Radeburger Großteich (1982) wurde eine Schwimmsonde mit elektrischen Wirtiefen AB/2 bis 150m und vom Messboot aus abrufbaren Kontakten konstruiert. Der Einsatz der Gammamessung im Radeburger Großteich erbrachte keine wesentlichen zusätzlichen Erkenntnisse zur Geoelektrik. Auf die Zukunft gerichtet war die Entwicklung des Digitalen Erdungsmessers DEM durch HEILMANN (1982). Kombiniert mit dem Automatischen Meßstellenumschalter (HEILMANN 1977, STIEBRITZ 1988) sollten so im Takt einiger Sekunden selbsttätig Messwerte abrufbar und der auf dem Kompensationsprinzip arbeitende KEM 3 ablösbar werden. Die derzeit fehlende netzunabhängige Speicherkapazität verhinderte diesen Schritt. Das von KELLER (1989) entwickelten Programm GUSON rationalisierte die Bearbeitung der Messdaten beträchtlich.

### **5 Gesichter der Untersuchungsergebnisse**

Das Messprogramm mit den geoelektrischen Grund- und Schwimmsonden (GGS u. GSS) kombiniert mit der flächenhaften und räumlichen Registrierung des spezifischen elektrischen Widerstandes und der Temperatur des Wasserkörpers lieferten vielgestaltige Informationen.

Ein bemerkenswertes Bild in der reinen Strukturerkundung ergaben die Messungen im Trebuser See. Die Sandschüttungen dieses Gletscherspaltensees reichen bis ca. 30m unter den heutigen Meeresspiegel. Gesamtbilder über die Untergrundbeschaffenheit von Fluss und Auen (Verbindungen und Abgrenzungen) lieferten die Untersuchungen im Gebiet der Mulde vom Zusammenfluss bis Wurzen (1985/86) und im Gebiet der Saale bei Naumburg. Die Untersuchungen in Mulde und Muldenaue östlich Bitterfeld (1991) erbrachten neben dem strukturellen Aufbau des Gebietes den Nachweis der hydraulischen Sogwirkung des Delitzscher Tagebaues. Der seit 1990 um ca. 35 % abgesenkte Salzgehalt des Muldewassers spiegelt sich im erhöhten Schichtwiderstand im Südvorland der Mulde wider.

Die Ergebnisse im Tagebaurestloch Senftenberger See lieferten neben den Ergebnissen zur Schichtstruktur bemerkenswerte Milieuaussagen als mögliche Wechselwirkungen der unterschiedlichen Fluideinflüsse - Halde, Flusswasser, Grundwasser. Auch in anderen quasi ruhenden Gewässern (z.B. Görlitz 1989) schuf die Milieuparameter Temperatur und elektrische Leitfähigkeit die Abbilder für das Vorhandensein physikalischer, chemischer und biologischer Vorgänge. Wassersenken und Quelltzutriffe wurde sichtbar und letztere nach ihrer Herkunft qualifizierbar (Deutschenbora und Eligastbach).

## 6 Infiltration durch den Gewässerboden

Der spezifische elektrische Widerstand der Schichten gibt im Lockersediment Hinweise über dessen Durchlässigkeit. HODAM zeigte vom Trebuser See (1985), dass  $k_f$ -Werte der Mudde (VE Meliorationskombinat) und deren spezifische elektrische Widerstände miteinander korrelieren. Die Forderung nach Infiltrationswerten aus der Gewässergeophysik im Gebiet Neisseaue bei Görlitz (1988) machte hydrophysikalisch-geophysikalische Überlegungen nötig. Über die gleichsinnige hydraulische Wirkung von  $k_f$ -Wert und spezifischem Schichtwiderstand  $\rho_{sch}$  lassen sich *ähnliche Beziehungen* zwischen dem hydraulischen Eintrittswiderstand  $W_{hy}$  und einer elektrischen Größe  $W_{el}$  formulieren.

$$W_{hy} = M_1/k_{f1} + \dots + M_i/k_{fi} \quad \text{und} \quad W_{el} = M_1/\rho_{sch,1} + \dots + M_i/\rho_{sch,i} \quad \text{und daraus} \quad W_{hy} = f(W_{el})$$

Die Überlegungen stimmten. Dort, wo Maxima von  $1/W_{el}$  - Werten erhöhte hydraulische Leitfähigkeiten erwarten ließen, betätigten am Boden gemessene thermische Maxima, dass an diesen Stellen das z.Z. wärmere Flusswasser in den Untergrund eintrat.

Die Ergebnisse von Görlitz waren Grundlage und Anlass, um im Jahre 1993 vom LfU Baden-Württemberg mit der Untersuchung des Rhein-Niederungs-Kanals betraut zu werden. Die (objektbezogene) Quantifizierung der Abhängigkeiten  $W_{hy}$  zu  $W_{el}$  war Programmpunkt. Das bedingte eine messpunktgenaue Entnahme von Proben und deren Untersuchung im Hydrauliklabor von HGN (MEIER, MILLING). Das erhaltene Ergebnis zog die zusätzliche Forderung nach  $k_f$ -Werten aus der Gewässergeoelektrik nach sich, was jetzt lediglich noch eine Rechenarbeit -  $k_f = M/W_{hy}$  - BRANDT (1996) war.

Um die gewonnene empirische Beziehung übertragbar und erweiterungsfähig zu machen, bedurfte es der Normierung der Schichtwiderstände  $\rho_{sch}$  durch den Wasserwiderstand  $\rho_w$ . Die nach den Daten von 1993 gewonnene Beziehung hat die „normierte Form“

$$\lg W_{hy} = a + b W_{el} \rho_w \quad (\text{mit } a = 1,9 \text{ und } b = 11 \text{ für das bearbeitete Objekt})$$

Die Größen a und b der Formel sind durch Daten aus anderen Gebieten präzisierbar und präzisierfähig. Mit der Beziehung  $k_f = M/W_{hy}$  (M = Mächtigkeit der Infiltrationsschicht) erscheint die primäre Forderung (1978) nach geohydrologischen Schichtwerten erfüllt – für fluviatile Materialien. Sie ist unbrauchbar bei bestehender Kolmation, oder wenn biochemische Prozesse in der Infiltrationsschicht ablaufen, z. B. Trebuser See ( $\rho_w > \rho_{sch}$ ). Die direkte Messung der Infiltration wurde bisher nicht realisiert. Die Aufzeichnung des reale Anströmweges von Elbefiltrat zum Brunnen (Wasserwerk Hosterwitz 1991) machten Temperaturmessungen mittels ca. 30 in GWBR und Elbe verteilten Sonden Hy40 T möglich.

## 7 Entwicklungen für das neue Jahrtausend (D. BRINSCHWITZ, CH. RICHTER)

Nach 1990 gelang es mit Hilfe besserer Geoelektrikapparaturen und besserer Streamer (Sondenkabel) sowohl Meßgeschwindigkeit als auch Datenqualität nachhaltig zu verbessern. So wurden mehr als 1000 ha Seen im Seenprogramm Mecklenburg Vorpommern bis 2007 gewässergeoelektrisch als Grundlage für Seesanierungskonzepte vermessen.

Die Ausrichtung lag in der Gewinnung von Informationen für Sanierungsplanungen, insbesondere:

- der Verbreitung und der Mächtigkeit von organischen Sedimenten,
- von Strukturen, wie sandigen Einlagerungen, in diesen Sedimenten,
- möglicher Interaktionen zwischen dem Gewässer und dem Grundwasser sowie
- der natürlichen, geologischen Umgebung des Gewässers.

Die Anforderungen der Seen in Mecklenburg mit ihrer Größe von mehreren hundert Hektar und teilweise erheblichen Tiefe von bis zu 30 Metern erforderten und begünstigten die Entwicklung und den Einsatz einer Reihe von Techniken, die die Erkundung verbesserten, effektivierten oder erst möglich machten.

Um 2002 begannen erste Versuche einer quasi kontinuierlichen Messwertaufnahme mit umfangreichen Tests und Auswertungen. 2003 wurde auf diese Art erfolgreich der erste See, der Beetzer See in der Nähe von Potsdam geophysikalisch vermessen. Dort kam erstmals auch ein hydrographisches Echolot zum Einsatz, um eine kontinuierliche Wassertiefenmessung zu ermöglichen.

Die Grenzen der Erkundungsmethodik liegen in der Geschwindigkeit der Datenaufnahme und einer gewissen „Unschärfe“ der berechneten Untergrundmodelle. Eine geeignete Ergänzung besteht in der Anwendung hydroakustischer Verfahren, die auch in den Gewässeruntergrund eindringen. Die parametrische Sedimentecholotung als ein solches Verfahren ist seit 2009 im Unternehmen im Einsatz. Die für Hydrogeologen relevanten Informationen, ob eine Schicht wasserdurchlässig ist oder nicht, kann allerdings nur die Geoelektrik bringen.

Zunehmend geraten seit Ende der 90er Jahre Fließgewässer vor dem Hintergrund der EU WRRL in den Fokus der Untersuchungen. So wurden die Sickerverluste im Bereich der Absenkungstrichter der Braunkohletagebaue mit Hilfe der Gewässergeophysik an Pleiße, Schwarzem Schöps und Kleiner Elster ermittelt. Die Bedeutung der Gewässergeophysik im Ausland dokumentieren die Arbeiten in Serbien an der Theiss (Identifizierung von Flussabschnitten zur Uferfiltration), in Thailand (Vermessung aufgelassener Shrimp-Farmen bezüglich Versalzung des Grundwassers) und in Litauen (Vermessung von Hafengebieten zur Identifikation der Schlammpotenziale sowie des Didzulis See für Seeökologie). Im Rahmen eines 2008 begonnenen F/E Projektes gefördert durch das BMBF wird anhand des Hoan Kiem Sees in Hanoi/Vietnam ein auf gewässergeophysikalischen Vermessungen beruhendes Sanierungskonzept entwickelt, bei dem forschungsseitig die Messdatengewinnung in ein „logging while cruising“ Verfahren (Datenaufzeichnung während Messfahrt des Bootes) überführt werden soll.

## Literatur

- BEYER, F.: Erkundungsmethodik Uferfiltratgewinnung.- unveröff., TU Dresden 1973
- BORKMANN, G. & BRANDT, G.: Über die Zusammenhänge zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und des Chemismus des Grundwassers ... - unveröff., Vortrag Kdt-Tagung, Erfurt 1975
- BRANDT, G. & HEILMANN, H.-D.: Vorrichtung zur Messung des spezifischen elektrischen Wasserwiderstandes von Flüssigkeiten.- WP der DDR G 01r/186 436 1977
- BRANDT, G., HEILMANN, H.D. & HODAM, ST.: Komplexes Verfahren zur hydrogeologischen Untersuchung von Gewässerböden.- unveröff., Ergebnisbericht zur Nve, VEB HGN 1980
- BRANDT, G.: Geophysikalische Möglichkeiten zur Bestimmung von Modellinputgrößen und Bestätigung der geophysikalischen Ergebnisse durch Direktmessungen.- unveröff., Ausarbeitung für LA für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1996
- BRANDT, G.: Geophysikalisches Verfahren zur hydrogeologischen Untersuchung des Untergrundes von Oberflächengewässern.- unveröff., Vortrag GGW-Tagung, Leipzig 1988
- EMSHOFF, B., HEEGER, D. & KRUG, O.: Arbeitsrichtlinie Erkundung Uferfiltratvorräte.- unveröff., VEB Hydrogeologie Nordhausen, Nordhausen 31.12.1974
- MONEV, E.: Untersuchung über Sohlensickerverluste im Einzugsgebiet von Stauseen.- unveröff., Vortrag auf Internationalem Symposium , Varna 1971