# Geoelektrische Untersuchungen von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer

## Geophysical investigation of saltwater intrusions into freshwater aquifers and surface water

HELLFRIED PETZOLD, UWE KABOTH & ANGELA SONNTAG

## 1 Einleitung

Im Rahmen gewässerökologischer Untersuchungen wurde im Bereich eines Altarmes der Spree eine Chlorid-Anomalie im Grundwasser festgestellt, deren Herkunft bezüglich eines möglichen Gefährdungspotentials zu klären war.

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Nähe der Ortschaft Freienbrink, südöstlich von Berlin. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, befinden sich im Umfeld des Altarmes zahlreiche Grundwassermessstellen (GWM). Die Filter dieser Grundwassermessstellen sind oberflächennah im unbedeckten Grundwasserleiter ausgebaut. Regelmäßige Beprobungen des Grundwassers ergaben signifikante Erhöhungen bei den Chlorid-Konzentrationen, insbesondere im Bereich der GWM P2 und P3. Hier erreichten die Spitzen bis zu 188 mg/l (vgl. Abb. 1), wohingegen sich die Normalwerte (Background) zwischen 6 und 33 mg/l bewegen.



*Abb. 1: Untersuchungsgebiet* 

Fig. 1: Investigation area Die ursprünglich gehegte Vermutung, dass es sich bei der Chlorid-Anomalie um einen anthropogenen Stoffeintrag handelt, konnte durch die historischen Recherchen nicht bestätigt werden. Deshalb wurden geologische, hydrogeochemisch-genetische und geoelektrische Untersuchungen durchgeführt.

## 2 Hydrogeochemisch-genetische Bewertung

Um mögliche Ursachen für die Chlorid-Anomalie herausfinden zu können, wurden die Grundwasseranalysen aus dem Jahre 2008 hydrogeochemisch-genetisch mit der Software GEBAH (RECHLIN et al. 2010) ausgewertet. Eine ausführliche Beschreibung zur Methodik und Auswertung mittels GEBAH erfolgt im Beitrag von D. BROSE in diesem Band.

Die Grundwasser-Analysenwerte der GWM wurden in GEBAH eingegeben, die hypothetischen Salze und die entsprechenden Salinarkoeffizienten berechnet und im Diagramm dargestellt (Abb. 2).

Im Ergebnis zeigte sich, dass es sich bei den Wässern mit den geringeren Chlorid-Gehalten um die erwarteten Neubildungswässer handelt, bei denen ein Genetisches Grundverhältnis (GGV) von gleich/größer 1 vorliegt. Dagegen weisen die Wässer mit den erhöhten Chlorid-Werten (GWM 2 und 3) ein GGV von 0,031 bzw. 0,024 auf, d. h. dass bei diesen Wässern eindeutig Speisungsanteile salinarer Tiefenwässer diagnostiziert werden konnten. Somit stammen diese höher



Abb. 2: Grundwassermessstellen Freienbrink, genetische Bewertung mit GEBAH (RECHLIN et al. 2010);

GGV = Genetisches Grundverhältnis, GWM = Grundwassermessstelle

Fig. 2: Groundwater observation well Freienbrink, genetic assessment with software GEBAH

mineralisierten Wässer aus dem mesozoischen Schichtenverband und sind wahrscheinlich über eine quartäre Rinne ins Süßwasserstockwerk gelangt. Die Existenz einer solchen quartären Rinnenstruktur in unmittelbarer Umgebung des Bearbeitungsgebietes konnte anhand der in den letzten Jahrzehnten durchgeführten quartärgeologischen Untersuchungen belegt werden (vgl. Kap. 3).

## **3** Geologische Situation

Das Untersuchungsgebiet Freienbrink befindet sich im Landkreis Oder-Spree ca. 5 km nordwestlich der Ortslage Spreenhagen in jenem Teil Brandenburgs, der aus glazialmorphologischer Sicht als Berlin-Fürstenwalder Spreetalniederung (SCHOLZ 1962) bezeichnet wird und ein Teilstück des Berliner Urstromtales darstellt. Um die konkrete geologische Situation im Untersuchungsgebiet zu klären, wurde im Jahr 2008 eine Forschungsbohrung (Hy Frb 1/2008; Abb. 1) abgeteuft.

Quartäre Lockergesteinsserien bedecken nicht nur das Untersuchungsgebiet, sondern auch dessen näheres und weiteres Umfeld. Die Erdoberfläche im näheren Umfeld wird im Wesentlichen durch weichselzeitliche Urstromtal- sowie holozäne Flussablagerungen und Vermoorungen gebildet. Lokal, wie bei Freienbrink, aber auch nördlich der Spree, treten geringmächtige Dünen und Flugsandfelder auf.

Das Liegende der quartären Sedimentfolgen wird überwiegend von tertiären Schichten gebildet (vgl. Abb. 3 und 4). Das Tertiär, gegliedert in Paläozän, Eozän, Oligozän, Miozän und Pliozän (vgl. Abb. 4), überdeckt mit seinen Lockersedimenten in nahezu geschlossener Verbreitung die mesozoischen Ablagerungen im Bereich der Norddeutschen Senke und bildet zusammen mit den überlagernden quartären Schichten das känozoische (Locker-) Deckgebirgsstockwerk.

Tiefreichende quartäre Erosionen im näheren Umfeld des Bearbeitungsgebietes haben zur vollständigen Ausräumung der Sedimente des Miozäns (sichere Sedimentbelege für pliozäne Ablagerungen fehlen) geführt, so dass elsterzeitliche Ablagerungen denen des Oligozäns direkt auflagern. Die größtenteils mächtige unteroligozäne Rupel-Folge, bestehend aus Tonen, Tonmergeln, Schluffen und Schluffmergeln, bildet die natürliche Barriere zwischen liegendem Salzwasser- und hangendem Süßwasserstockwerk. In Gebieten quartärer Tiefrinnen wurden diese mächtigkeitsreduziert bzw. vollständig erodiert (Abb. 4) und die quartären Rinnensedimente haben sich z. T. bis in mesozoische Ablagerungen eingeschnitten und somit eine Wegsamkeit für den Aufstieg salinarer Tiefenwässer in das Süßwasserstockwerk geschaffen. Die quartären Tiefrinnen stellen eines der interessantesten glaziären Phänomene dar. Sie treten vor allem im mittleren Brandenburg mit Basiswerten deutlich unter -100 m NN bis -200 m NN in Erscheinung. In unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet konnten sowohl östlich als auch westlich derartige Rinnenstrukturen nachgewiesen werden (JORTZIG 2000, SONNTAG 2004).

Die bereits in der Zerfallsphase des Eises der 1. elsterzeitlichen Inlandeisbedeckung einsetzende Rinnenverfüllung führte zu lithologisch heterogenen und wenig horizontbeständigen Abfolgen; Bänder- und massige Beckenschluffe, häufig vermischt mit verlagertem miozänen Sedimentmaterial, verzahnen sich horizontal wie vertikal mit verschiedenkörnigen Sanden oder Kiesen sowie verstürzten oder verflossenen Geschiebemergeln (Abb. 3, 4). Durch den 2. Elster-Eisvorstoß erfolgte eine starke Überprägung der



 Abb. 3: Geologisches Normalprofil des Untersuchungsgebietes
Fig. 3: Geological cross section of investigation area



Abb. 4: Schematische Schnittdarstellung der Geologie des weiteren Untersuchungsgebietes (modifiziert nach Lippstreu & Jortzig 1997) einschließlich der abgeleiteten Aufstiegsrichtung Chlorid-haltiger Wässer aus dem Mesozoikum.

Fig. 4: Schematic cross section of the extern investigation areas

Rinnenflanken, verbunden mit intensiver Deformation sowohl der unteren, noch wenig verfestigten Rinnenfüllungen als auch der an den Rinnenrändern und in den Rinnenzwischengebieten anstehenden tertiären Sedimente.

Mit dem Eisrückbau im Elster-Spätglazial und dem damit verbundenen Nachrücken der Flüsse nach Norden und Nordwesten kam es zur Ablagerung fluviatiler Sande und Kiese. Während die unteren Profilabschnitte noch stark schmelzwasserbeeinflusst sind (Hy Frb 1/2008: Mittelsande von 35 bis 33 m unter Gelände), zeigen die hangenden Abschnitte bereits sehr deutlich den zunehmenden Einfluss der von Süden vorrückenden Flüsse (am Standort: von 33 bis 31 m unter Gelände).

Durch das Ausschmelzen von Toteis im Elster-Spätglazial und dem allmählichen Wiederanstieg des Grundwasserspiegels bildete sich im Gebiet von Berlin und seiner Umgebung eine weitflächige, archipelartige Seenlandschaft heraus, die zum Sedimentationsraum für holsteinwarmzeitliche limnische und limnisch-fluviatile Ablagerungen wurde. Diese sind nahezu im gesamten Gebiet von Berlin und dessen Umland verbreitet, konnten am direkten Standort allerdings nicht nachgewiesen werden.

In der ausgehenden Holstein-Warmzeit und dem beginnenden Saale-Frühglazial kam es aufgrund der zunehmenden Klimaverschlechterung erneut zu verstärkter fluviatiler Sedimentation. Das Saale-Frühglazial war durch mehrfache Kälte- und Wärmeschwankungen gekennzeichnet, verbunden jeweils mit Veränderungen im Sedimentationsgeschen. Insgesamt erfolgte in diesem Zeitraum eine mehrphasige, weitflächige periglaziär-fluviatile bis periglaziär-limnische Verschüttung und Auffüllung des Reliefs bis auf ca. +20 m NN, im unmittelbaren Untersuchungsgebiet auf +13 m NN (Hy Frb 1/2008).

Die saalezeitliche Inlandvereisung wurde mit einer ausgeprägten Vorschüttphase eingeleitet, was sich weit verbreitet in der Ablagerung z. T. mächtiger Schmelzwassersande dokumentiert. Die überwiegend fein- bis mittelkörnigen, seltener grobkörnigen und kiesigen Sande lassen sich bei Auflagerung auf fluviatile Sande an Hand von Bohrproben nur schwer von diesen abtrennen, so auch im Untersuchungsgebiet. Die im Hangenden lagernden saalezeitlichen Grundmoränenbildungen weisen häufig ostbaltische Kleingeschiebeassoziationen auf (Abb. 3, 4). Durch neuere Untersuchungen konnte belegt werden, dass sowohl die Grundmoränen des Älteren wie auch des Jüngeren Saale-Eisvorstoßes ostbaltisch geprägte Geschiebefrachten führen können. Da überdies beide saalezeitlichen Eisvorstöße ein nur wenig voneinander abweichendes Transgressionsniveau hatten, wird eine Zuordnung zum ersten oder zweiten Eisvorstoß wesentlich erschwert, zumal im Bearbeitungsgebiet und dessen näherem Umfeld nur ein saalezeitliches Grundmoränenpaket auftritt (Abb. 3). Daher wurde die von 19,8 bis 21,5 m unter Gelände erbohrte Grundmoräne nur als allgemein saalezeitlich eingestuft und auf eine weitere Differenzierung verzichtet. Das Ausschmelzen des saalezeitlichen Eises führte zur weitflächigen Sedimentation von Schmelzwassersanden. Am Standort der Bohrung Hy Frb 1/2008 erreichen diese auf Grund des Erosionsschnittes innerhalb des Urstromtales nur noch Mächtigkeiten von 4,8 m (15–19,8 m unter Gelände).

Der glaziäre Abschnitt der Weichsel-Kaltzeit wird, ähnlich wie in der Saale-Vereisung, mit einer akzentuierten Vorschüttphase eingeleitet, wobei bis zu 30 m mächtige glazifluviatile Sande abgelagert wurden. Diese Vorschüttsande bestehen aus zumeist geschichteten verschiedenkörnigen Sanden mit kiesigen Bändern und Lagen. In ihren hangenden Bereichen zeigen sie häufig Deformationsstrukturen, die beim Überfahren durch das Brandenburg-stadiale Eis verursacht wurden. Weichselzeitliche Schmelzwassersande und Grundmoränen bilden den das Berliner Urstromtal flankierenden Hochflächenbereich. Innerhalb des Urstromtales wurden diese Ablagerungen weitestgehend durch die weichselzeitlichen Schmelzwässer erodiert und treten nur untergeordnet als Durchragungen auf, so u. a. in einem südlich der Spree gelegenen Hochflächengebiet (bei Gosen - Neu Zittau), das aus weichselzeitlichen Sanden der Vorschüttphase und weichselzeitlicher Grundmoräne aufgebaut ist.

Das Berliner Urstromtal stellt nicht nur eine markante morphologische Erscheinung, sondern zugleich auch die bedeutendste Bildung der weichselzeitlichen Eiszerfallsphase dar. Die Entwicklung des Berliner Urstromtales erfolgte zweiphasig. Es diente sowohl den Schmelzwässern des Brandenburger als auch des Pommerschen Stadiums der Weichsel-Kaltzeit als Abflussbahn in Richtung Nordwesten zur Elbe und damit letztlich in die Nordsee.

Die Sedimentfüllung des Berliner Urstromtales besteht überwiegend aus fein- bis grobkörnigen Sanden, wobei die Talsandbasis häufig kiesig ausgebildet ist. Die Auflagerungsfläche der Talsande ist unregelmäßig; nicht selten treten tiefe Auskolkungen auf, aber auch erosionsterassenartige Auflagerungen auf älteren Bildungen sind festzustellen. Die Mächtigkeit der Talsande schwankt in weiten Grenzen, liegt im Durchschnitt aber bei 15 bis 20 m. Am Standort der 2008 niedergebrachten Bohrung wird eine Talsandmächtigkeit von 14 m dokumentiert, bestehend aus Fein- und Mittelsanden sowie einer kiesigen Basis, die der saalezeitlichen Grundmoräne auflagert.

Im weichselperiglaziären Zeitabschnitt kam es zu einer Überprägung nicht nur der Hochflächenareale, sondern auch der Gebiete der Urstromtäler und ihrer Nebentäler. So wurden die aus den Hochflächengebieten ausgespülten und verlagerten Sedimente in die Niederungsbereiche transportiert und dort den Talsanden als Schwemmkegel, wie z. B. im Raum Erkner, aufgesetzt. Nach dem weitestgehenden Zerfall des Weisel-Eises führten Vegetationsfreiheit, verbunden mit trocken-kalten Klimabedingungen, zu beträchtlichen äolischen Materialverlagerungen, insbesondere in den trocken gefallenen Talsandarealen der Niederungsgebiete und den weitflächigen Sanderablagerungen der Hochflächen. Die vielfach bereits weichselhoch- bis -spätglazial aufgewehten Flugsandfelder und Dünen haben, mit Unterbrechungen, bis in die jüngste Zeit hinein beträchtliche Umformungen erfahren. Dünen und Flugsandfelder haben generell eine weite Verbreitung, wobei Ausdehnung und Mächtigkeit stark differieren. Besonders eindrucksvolle Dünengebiete, die z. T. deutlich ihre Umgebung überragen, finden sich u. a. im Müggelseegebiet. Im Untersuchungsgebiet sind sie eher kleinflächig und geringmächtig verbreitet.

In den Bach- und Flussgebieten führten die geänderten Gefälleverhältnisse während des Holozäns zu Einschneidungen und teilweise mehrphasiger Auen- und Mäanderbildung sowie zu Laufverlegungen (vgl. Abb. 1). In den so entstandenen holozänen Ablagerungsräumen wurden verschiedenartige limnische Mudden und/oder limnischfluviatile sandig-humose Bildungen sedimentiert. Die zunehmende Verlandung der Wasserflächen führte zur Entstehung von Arealen mit Moorerde sowie Niedermooren. In Bächen und Flüssen, wie u. a. auch in der Spree, wurden verschiedenkörnige, zumeist mit organischer Substanz durchsetzte Sande (Auensande) sedimentiert. Holozäne Bildungen verteilen sich als Moorbildungen und/oder sandige limnisch-fluviatile Sedimente über das gesamte Untersuchungsgebiet. Ihre Mächtigkeit ist überwiegend gering und schwankt zwischen 1 und etwa 5 m. Am Standort wurden 1 m mächtige holozäne Ablagerungen erbohrt (0,5 m stark zersetzter Torf unterlagert von 0,5 m Fein- und Mittelsanden).

### 4 Messverfahren Widerstands-Geoelektrik

Der für geoelektrische Messungen entscheidende petrophysikalische Parameter ist der spezifische elektrische Widerstand  $\rho^*$  des Gesteins. Dieser hängt u. a. von der relativen Dielektrizitätskonstante ab, wodurch eine Erhöhung des Wassergehaltes eine Abnahme des spezifischen Widerstandes infolge der elektrolytischen Leitfähigkeit des Poren- bzw. Kluftwassers bewirkt. Im Wesentlichen wird der spezifische elektrische Widerstand für den Lockergesteinsbereich bestimmt durch:

- den Porenraum bzw. Korngröße,
- die Porenfüllung, d. h. den Grad der Wassersättigung und
- den Mineralisationsgrad des Porenwassers.

Daher weisen verschiedene Sedimente im Lockergesteinsbereich unterschiedliche spezifische elektrische Widerstände auf (Tab. 1).

Daraus ergeben sich Widerstandskontraste zwischen folgenden Lockergesteinen:

- rollig zu bindig,
- rollig zu kohlig,
- rollig trocken zu rollig wassergesättigt und
- süßwasser- zu salzwassergesättigt.

Lockergesteine	Widerstände in Ohmmeter (Ωm)
Kies, trocken	1 000
Kies, wassergesättigt	60–300
Kies, mineralisiert	20–60
Sand, trocken	800
Sand, wassergesättigt	50–150
Sand, mineralisiert	10–40
Geschiebemergel	40–100
Lehm	20–50
Löß	15–20
Schluff	10–50
Ton	5-40
Torf	15–50
Braunkohle	10–50

Tab. 1:Spezifische elektrische Widerstände von<br/>Lockergesteinen

Letzterer Kontrast ist Grundlage der vorliegenden Untersuchungen zur Ermittlung von Salzwasseraufstiegszonen.

Für den erfolgreichen Einsatz der Widerstandsgeoelektrik müssen zwei wichtige Voraussetzungen erfüllt sein:

- ein deutlicher Widerstandskontrast und
- eine ausreichende relative Schichtmächtigkeit (im Verhältnis zur Tiefe).

Beide Bedingungen sind in ihrer Wechselwirkung zu betrachten. Vor der Durchführung geoelektrischer Messungen sind sorgfältige Untersuchungen über die Lösbarkeit der gestellten Aufgabe anhand von Bohrungen, theoretischen Modellrechnungen und gegebenenfalls von Testmessungen durchzuführen.

Bei den geoelektrischen Widerstandsverfahren wird dem Boden künstlicher elektrischer Gleichstrom aufgeprägt. Stromeinspeisung und Spannungsabgriff werden galvanisch vorgenommen. Dies erfolgt mit Messelektroden, welche einen direkten Bodenkontakt haben müssen.

Alternativ können die Leitfähigkeiten als Kehrwert des spezifischen Widerstandes mit elektromagnetischen Messungen ermittelt werden. Hier ist kein direkter Bodenkontakt erforderlich, da die Messungen mit zwei tragbaren Spulensystemen erfolgen.

Bei der Widerstandsgeoelektrik kommen Vierpunktanordnungen (Abb. 5) zum Einsatz, von welchen es eine Vielzahl von Varianten gibt. Unter Berücksichtigung der Abstände

*Tab. 1: Specific electrical resistivities of unconsolidated rocks* 



*Abb.* 6: *Messprinzip einer Wenner-Sondierungskartierung (modifiziert nach Knödel et al. 1997) Fig.* 6: *Principle of 2D resistivity measurement with Wenner electrode array* 

der Messelektroden (k = Geometriefaktor) und den Messgrößen I (Gleichstrom) und  $\Delta U$  (Spannungsdifferenz) ergibt sich für den spezifischen elektrischen Widerstand  $\rho*$  des Untergrundes folgende Beziehung:

$$\rho *= \frac{\Delta U}{I} * k$$

Der Geometriefaktor k wird aus den jeweiligen Abständen zwischen den Strom (A, B)- und Messelektroden (M, N) berechnet.

Eine rationelle und heute fast nur noch angewandte Weiterentwicklung ist die geoelektrische Sondierungskartierung (Mehrelektrodenmessung). Unter Nutzung eines Steuergerätes ist diese geoelektrische Sondierungskartierung (Abb. 6), eine Kombination beider Verfahren (Sondierung und Kartierung). Sie entspricht einer dichten äquidistanten Folge von Sondierungen bzw. mehreren Kartierungen mit stufenweise vergrößerter Auslagelänge (Wirkungstiefen) auf einem Profil. Damit wird die horizontale Widerstandsverteilung in unterschiedlichen Niveaus erfasst. Bei der Feldmessung sind mehrere Metallspieße auf einem Profil über einen Kabelbaum miteinander verbunden. Ein Prozessrechner übernimmt die Ansteuerung der Metallspieße als Elektroden oder Sonden. Hierbei wird eine bestimmte Messkonfiguration auf dem Profil automatisch weitergeschaltet. Nach Erreichen des Profilendes erfolgt eine Erhöhung des Sondenabstandes (also der Eindringtiefe) und die erneute Übermessung des Profils. Dieser Vorgang wiederholt sich bis alle festgelegten Wirkungstiefen durchgemessen sind. Die Einzelmessungen werden dem jeweiligen Aufstellungszentrum als x-Koordinate und einer dem Elektrodenabstand entsprechenden Teufe als y-Koordinate zugeordnet. So erhält man eine zweidimensionale Verteilung (teufenabhängige Änderung) des scheinbaren spezifischen Widerstandes, die als "Pseudosektion" bezeichnet wird. Durch Inversion der Messdaten werden reale Tiefen- und Widerstandswerte ermittelt. Diese ergeben bei flächenhaften Messungen mit mehreren Parallelprofilen einen 3D-Datenkubus. Daraus können dann verschiedene Horizontal- und Vertikalschnitte des spezifischen Widerstandes ermittelt und dargestellt werden. Unter Einbeziehung von geologischen Bohrungen, Pegeln und Sondierungen kann dann eine 3D-Darstellung der geologischen Lagerungsverhältnisse oder der hydrologischen Situationen ermittelt werden. Diese Komplexinterpretation ergibt eine wesentlich verbesserte Darstellung der Lagerungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

## 5 Messdurchführung

Entsprechend der Zielstellung – Kartierung der Widerstandsverteilung bis 20 m Teufe – wurden im Untersuchungsgebiet (400 x 350 m) Spreebogen Freienbrink (vgl. Abb. 1) neun Geoelektrikprofile quer zur Spree und drei Profile parallel zur Spree gemessen. Der Messelektrodenabstand für die Sondieranordnung betrug 5 m und der Profilabstand 25 m.

Als Messgerät ist das GMS 150 der Firma GeoSys Leipzig verwendet worden. Das Messgebiet war vorwiegend Weidefläche. Messelektroden und Messkabel konnten dort problemlos positioniert werden (Abb. 7). Beim Auslegen des Messkabels über die Spree wurde ein Schlauchboot benutzt (Abb. 8). Die Lage der Profile ist in der Abbildung 9 dargestellt.

#### 6 Messergebnisse

Aus den geoelektrischen Messprofilen (Primärergebnisse) wurden durch Inversion die Vertikalschnitte mit realen Tiefen und spezifischen Widerständen berechnet und als geoelektrische Vertikalschnitte abgebildet. In der Abbildung 10 sind die repräsentativen Profile K3, K5 und K6 dargestellt. Man erkennt vom Profilanfang im Norden bis zur Spree bei 300 m einen zunehmenden niederohmigen Bereich, welcher durch das aufsteigende Salzwasser hervorgerufen wird (Widerstandswerte unter 80 Ωm, rote Linie). Aus diesen Daten (x, y, z und Widerstandswert) ist ein 3D-Datensatz generiert worden. In den daraus ermittelten 2D-Horizontalschnitten für unterschiedliche Teufen erkennt man deutlich die Kontur der Salzwasserintrusion (Abb. 11). Während sie in einer Teufe von 2,5 m lediglich an den GWM 2 sowie längs der Spree ausgebildet ist, nimmt der niederohmige Bereich bei 5 und 10 m in der Fläche zu und hat bei 20 m Tiefe die größte Verbreitung.

Für die Gesamtschau der Struktur der migrierenden salinaren Tiefenwässer wurde eine 3D-Darstellung erzeugt (siehe Abb. 12). Darin ist deutlich die stark differenzierte Kontur der Salzwasserintrusion zu erkennen.

#### Zusammenfassung

Im Rahmen gewässerökologischer Untersuchungen wurde im Bereich eines Altarmes der Spree eine Chlorid-Anomalie von 188 mg/l im oberflächennahen Grundwasser festgestellt. Hydrogeochemisch-genetische Bewertungen der Grundwasseranalysen mit der Software GEBAH ergaben in



Abb. 7:Untersuchungsgebiet der GeoelektrikFig. 7:Investigation area of geoelectric



Abb. 8:Geoelektrische Messungen über die SpreeFig. 8:Geoelectric measurements over the river spree



*Abb. 9:* Lage der Messprofile im Untersuchungsgebiet *Fig. 9:* Location of the measurement profiles in the investigation area



*Abb. 10: Geoelektrische Vertikalschnitte zu den Messprofilen K3, K5 und K6 Fig. 10: Geoelectrical cross sections* 



*Abb. 11: Geoelektrische Horizontalschnitte in den Teufenbereichen 2,5 m, 5 m, 10 m und 20 m Fig. 11: Geoelectrical horizontal sections* 



*Abb.* 12: 3D-Darstellung der Salzwasserintrusion (rot) im Untersuchungsgebiet Fig. 12: 3D-view of the saltwater intrusion (red) in the investigation area

der Diagnose eindeutig Speisungsanteile von salinaren Tiefenwässern. Aus der Bewertung der geologischen Situation wird ersichtlich, dass diese salinaren Wässer aus mesozoischen Schichten stammen müssen und über eine quartäre Rinne ins Süßwasserstockwerk gelangen.

Für die Detektion der Konfiguration der Salzwasserintrusion sind neun Geoelektrikprofile gemessen worden. Aus den geoelektrischen Messdaten wurden durch Inversion die Vertikalschnitte mit realen Tiefen und spezifischen Widerständen berechnet und als geoelektrische Vertikalschnitte ausgegeben. Des Weiteren ist aus den ermittelten Widerstandswerten mit den zugehörigen Raumdaten ein 3D-Datensatz generiert worden, der wiederum die Grundlage für die Berechnung und Darstellung von 2D-Horizontalschnitten sowie eines 3D-Modells bildet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine recht gute Abbildung der hydrogeologischen Situation mit der Salzwasserintrusion im Untersuchungsgebiet durch die Widerstandsgeoelektrik möglich ist. Die Genauigkeit der geophysikalischen Methode liegt im Meter-Bereich. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz ist jedoch bei diesem Verfahren ein unbedeckter Grundwasserleiter.

### Summary

Within the framework of water ecologic investigations of an abandoned meander channel of the river Spree, a chloride anomaly of 188 mg/l was determined in near surface groundwater samples. Hydrogeochemical-genetic assessments of the groundwater analyses with the software GEBAH clearly showed the influence of deep saline water. From the assessment of the geological situation, it can be seen that these saline waters must originate from deeper Mesozoic layers and reach the freshwater aquifers via a quaternary channel. In order to detect the pattern of the saltwater intrusion, nine geoelectric profiles were measured. The geoelectric vertical sections with real depths and specific electrical resistivity were calculated by an inversion algorithm to process geoelectrical measurement data. Furthermore, a 3D data set has been generated from the measured resistivity values, which forms the basis for the calculation and representation of 2D horizontal sections as well as a 3D model.

Overall, it can be stated that geoelectric resisitivity measurements provide a good insight into the hydrogeological situation of areas where saline water moves into freshwater aquifers. The accuracy of the geophysical results is in the meter range. However, a requirement for the successful use of this method is an unconvered aquifer.

### Literatur:

- JORTZIG, H. (2000): Geologische Übersichtskarte 1 : 100 000 – Karte ohne Quartär mit Darstellung der Tiefenlage der Quartärbasis. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & G. LANGE (1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Alt-

lasten. – Band 3: Geophysik, S. 144, Berlin, Heidelberg (Springer-Verlag)

- LIPPSTREU, L. & H. JORTZIG (1997): Abbildung in: LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N. & A. SONNTAG (1997): Geologische Übersichtskarte 1 : 300 000. –Landesamt für Geologie und Rohstoffe Brandenburg und Landesvermessungsamt Brandenburg, Kleinmachnow, Potsdam
- RECHLIN, B., HOFFKNECHT, A., SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software GEBAH Vers. 1.1 LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen
- SCHOLZ, E. (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. – Veröffentl. d .Pädag. Bezirkskabinetts, 93 S., Potsdam
- SONNTAG, A. (2004): Tiefenlage der Quartärbasisfläche des Landes Brandenburg 1: 500 000. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow

## Anschrift der Autoren:

Dr. rer. nat. Hellfried Petzold Althoffstraße 23 14482 Potsdam hellfriedpetzold@online.de

Dipl.-Geol. Uwe Kaboth Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Dezernat Hydrogeologie Inselstraße 26 03046 Cottbus uwe.kaboth@lbgr.brandenburg.de

Dipl.-Ing. (FH) Angela Sonntag Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Dezernat Geologische Landesaufnahme/Geoarchiv Inselstraße 26 03046 Cottbus angela.sonntag@lbgr.brandenburg.de