

# Geoelektrische Messungen, gesteinsphysikalische Untersuchungen und 3D-Modellrechnungen zur Abschätzung der Dichtigkeit von Schlammteichen

B. Bartling, P. Marx und H. Jödicke, Institut für Geophysik, WWU Münster

## Aufgabenstellung

Ziel geophysikalischer Untersuchungen im Bereich des Holleberger Moores in der Nähe von Emlichheim war die Klärung der Frage, ob die dort von einer großen Firma als Zwischenspeicher für das aus der Kartoffelstärkegewinnung anfallende Fruchtwasser genutzten „Schlammteiche“ (Abb. 1) eine ausreichende Dichtigkeit gegenüber dem Untergrund besitzen, um eine Gefährdung des Grundwassers auszuschließen (HIMMEL UND FRIN 1995). Dieses Fruchtwasser würde das Grundwasser aufgrund des hohen natürlichen Kalium- und Nitratgehaltes der Kartoffel kontaminieren und infolge seiner Mobilität bei Undichtigkeit der Speicherbecken schnell zu einer Gefährdung des Grundwassers in einem größeren Gebiet führen. Im Vordergrund stand die Klärung der Frage, ob eine in diesem Gebiet des Emslandes großflächig anzutreffende Schluffschicht auch in der Umgebung der Schlammteiche durchgängig vorhanden und so als Wasserhemmer zwischen dem obersten und den tieferen Grundwasserstockwerken hydraulisch wirksam ist.

Als geophysikalisches Verfahren für diese Aufgabenstellung im oberflächennahem Bereich bot sich die Gleichstromgeoelektrik an. Auf weitere Messungen (EMR-, Eigenpotential- und Bohrlochuntersuchungen) soll hier nicht näher eingegangen werden (vgl. BARTLING 1997; MARX 1997; JÖDICKE et al. 1997).

## Meßgebiet: Schlammteiche der Firma Emslandstärke

- ▲ Brunnen Lage der Brunnen
- RKS Rammkernsondierung
- MP Geoelektrikmeßpunkt
- Deich
- Kreisstraße
- Kleinerer Weg oder Straße

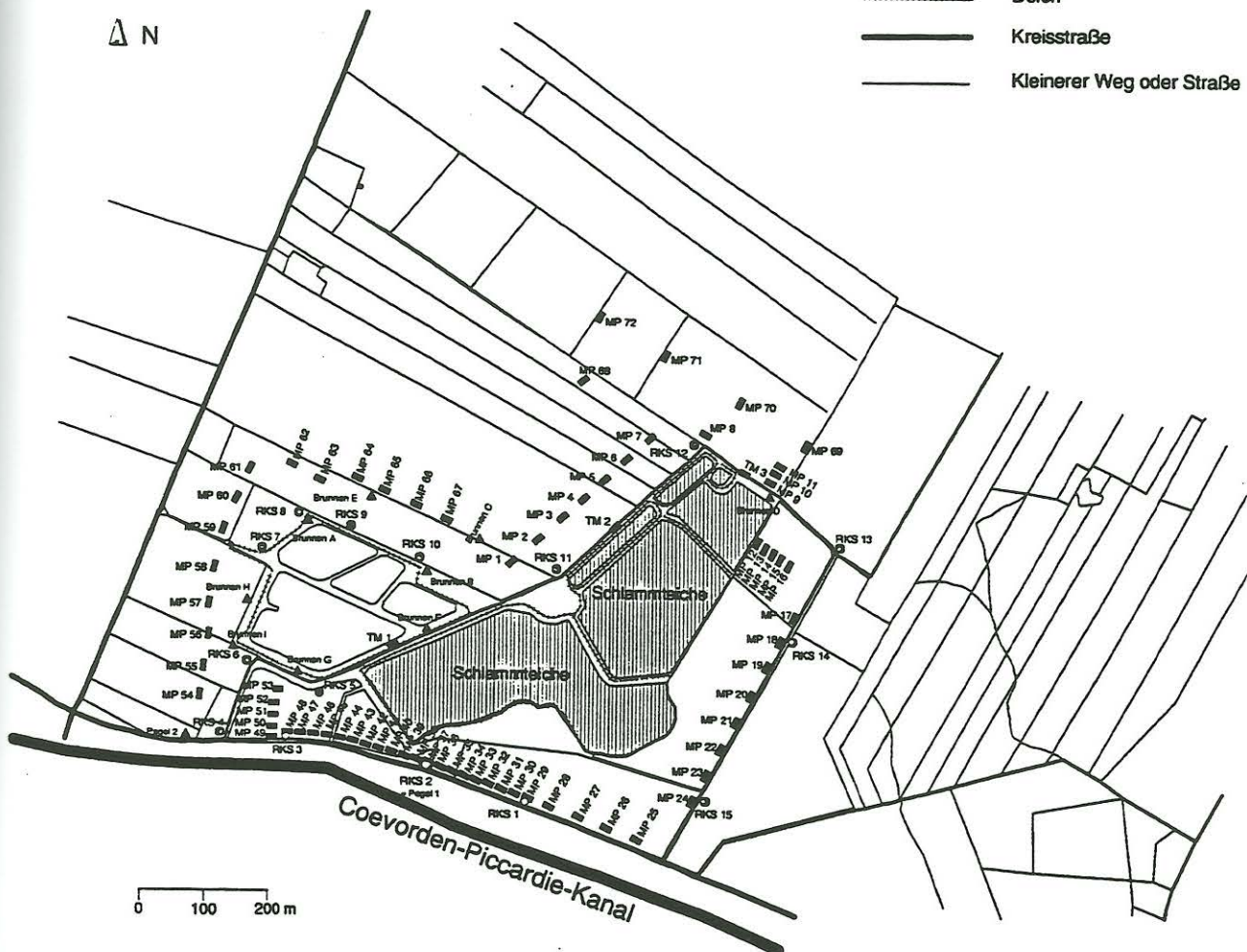


Abb. 1: Lageplan des Meßgebiets mit eingezeichneten Geoelektrik- und Rammkernsondierungen



## Geologie des Meßgebietes

Die Grundwasservorkommen im Emsland sind fast überall an weiträumig verbreitete, oft flach gelagerte sandig-kiesige quartäre Lockergesteine gebunden. Die Schichten des Quartärs erstrecken sich bis zu Tiefen von 300 m unter NN und enthalten häufig linsenförmig eingestreute Grundwassernichtleiter. Der grundwasserführende Schichtenkomplex besitzt Mächtigkeiten von 20 m bis 80 m und umfaßt die quartären Talsande sowie frühsaalezeitliche Kiese und Sande. Es kann eine Unterteilung in mehrere Grundwasserstockwerke durch diese wiederholt zwischengelagerten, gering durchlässigen Einlagerungen unterschiedlichster Größe und Ausbildung vorgenommen werden, die aus der Elster-Grundmoräne sowie aus Tonen und Schluffen des Saale-Elster- und des Saale-Weichsel-Interglazials stammen. Tertiäre Tone bilden die Grundwassersohlschicht (BOIGK et al. 1960). Da die undurchlässigen zwischengelagerten Schichten sich in der Regel nicht weiträumig erstrecken, können die einzelnen Grundwasserstockwerke nur lokal nachgewiesen werden.

Das eigentliche Meßgebiet mit den Schlammteichen im Bereich eines ausgetorften ehemaligen Hochmoores - „Holleberger Moor“ genannt -, liegt im Nordosten der Gemeinde Emlichheim nahe der niederländischen Grenze in unmittelbarer Nachbarschaft zum Coevorden-Piccardie-Kanal (Abb. 1). Um die geologische und hydrologische Situation kennenzulernen, wurden zunächst drei, später dann insgesamt fast 20 Rammkernsondierungen niedergebracht, die Tiefen von 15 m unter Geländeoberkante (GOK) erreichten. Abb. 2 zeigt das Schichtenverzeichnis der besonders wichtigen ersten drei Rammkernsondierungen RKS 1 bis RKS 3:

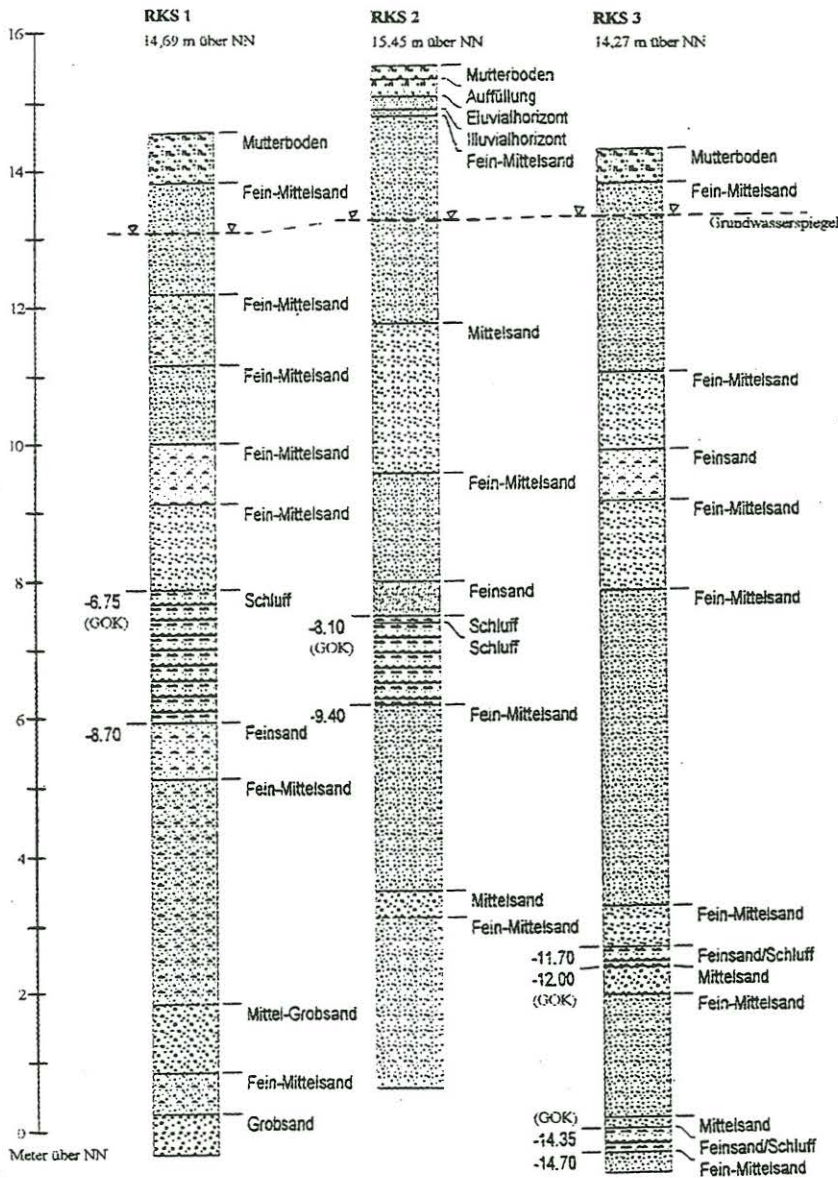


Abb. 2: Schichtansprache der Rammkernsondierungen RKS 1, RKS 2 und RKS 3 mit Grundwasserspiegel



In allen drei Bohrungen sind ähnliche Strukturen erkennbar:

In RKS 1 und RKS 2 bestehen die oberen Horizonte unterhalb des Oberbodens aus Folgen von Sanden mit unterschiedlicher Korngröße. Der Grundwasserspiegel liegt in 1,5 m bzw. in 2,3 m Tiefe unter GOK. Unter den Sanden tritt ein markanter schluffiger Horizont in Tiefen von 6,75 bis 8,70 m bei RKS 1 und von 8,1 bis 9,4 m bei RKS 2 auf. Darauf folgen wieder zunächst trockenere, dann zunehmend feuchte Sande mit unterschiedlichen Korngrößen. Bei RKS 3 liegt der Grundwasserspiegel bei 1 m, und anstelle einer einzelnen Schluffschicht sind zwei geringmächtige schluffige Horizonte in wesentlich größeren Tiefen von 11,7 bis 12,0 m und bei 14,4 bis 14,7 m unter GOK in die fein- bis mittelkörnigen Sande eingelagert.

Innerhalb der erbohrten Folge kommt den schluffigen Sedimenten aus hydrologischer Sicht große Bedeutung zu. Sie sind nur gering bis gar nicht wasserdurchlässig und stellen also bodenkundlich gesehen einen Grundwasserhemmer dar. Die Schluffschicht unterteilt den oberflächennahen Grundwasserkörper in zumindest zwei Grundwasserstockwerke, die vermutlich großräumig miteinander in Verbindung stehen.

### Geoelektrische Untersuchungen

Mit Hilfe der Geoelektrik sollte untersucht werden, ob diese Schluffschicht einen ausreichenden Widerstands-kontrast zu den umgebenden Sanden aufweist und es damit möglich ist, eine durchgehende Verbreitung der Schicht oder eventuell vorhandene Löcher nachzuweisen. Als Hauptteil der geophysikalischen Messungen im Gebiet des Holleberger Moores wurden dazu insgesamt 72 geoelektrische Tiefensondierungen in Schlumbergeranordnung durchgeführt. Um Erkundungstiefen bis zu 20 m zu erreichen, wurden maximale Elektrodenauslagen  $L/2$  von 70 bis 100 m gewählt. Abb. 1 zeigt die Lage der Meßpunkte, die die Schlammteiche mit einem Meßpunktabstand von 20 bis 100 m vollständig umrunden. Zu den Becken hin wurde beim größten Teil der Sondierungen ein Abstand von 50 bis 100 m eingehalten, um laterale Einflüsse auf die Daten durch die niederohmigen Restflüssigkeiten der Stärkeproduktion in den Teichen möglichst zu vermeiden. Als Beispiel einer Auswertung der Sondierungskurven wird hier der Geoelektrik-Meßpunkt MP 29 vorgestellt (Abb. 3).

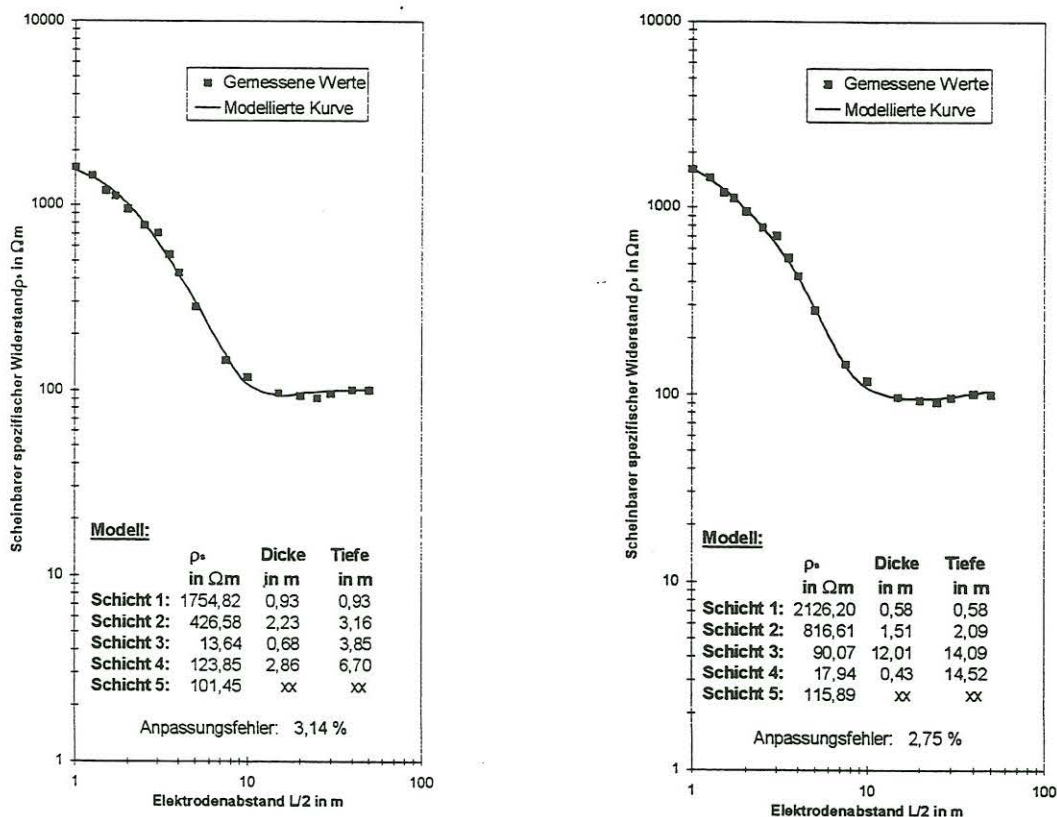


Abb. 3: Zwei äquivalente Modelle für die Geoelektrik-Sondierung MP 29 ohne Einbeziehung geologischer Kenntnisse (Angaben in Meter unter GOK).



Der Kurvenverlauf von MP 29 ist durch hohe Werte des scheinbaren spezifischen Widerstands im Anfangsteil, durch einen starken Abfall der Werte auf ein ausgeprägtes Minimum unter  $100 \Omega\text{m}$  bei  $L/2$  von 12 bis 15 m und durch einen sich daran anschließenden erneuten Kurvenanstieg gekennzeichnet. Dieser Kurvenverlauf ist repräsentativ für alle Sondierungen im Meßgebiet. Es zeigt sich, daß die Verteilung der Leitfähigkeit mit der Tiefe grundsätzlich am besten durch ein 5-Schichten-Modell erklärt werden kann.

Als Beispiel für die Modellrechnungen zeigt Abb. 3 zwei extreme, hinsichtlich des Anpassungsfehlers aber praktisch gleichwertige Modelle, die durch unterschiedliche Startvorgaben erzeugt wurden. Im ersten Fall wird das markante Minimum der Sondierungskurve durch eine geringmächtige niederohmige Schicht zwischen 3 und 4 m, im zweiten Fall durch eine ähnliche Schicht in über 14 m Tiefe erklärt. Da der gute Leiter im ersten Fall als dritte und im zweiten Fall als vierte Schicht auftritt, handelt es sich nicht um den bekannten einfachen Fall der Geoelektrik, in dem das Produkt aus Leitfähigkeit und Mächtigkeit eines zwischen zwei schlechten Leitern eingebetteten guten Leiters bei gleicher Schwerpunkttiefe annähernd konstant bleibt. Diese Äquivalenzfälle kommen vielmehr bei der Auswertung noch hinzu. Bei einem Vergleich mit dem Ergebnis der nahegelegenen Rammkernsondierung RKS 1 wird deutlich, daß die beiden gezeigten Modelle offensichtlich falsch sind: Die Schluffschicht als zu erwartender guter Leiter liegt tatsächlich in einer Tiefe zwischen 6,75 und 8,70 m Tiefe (GOK). Damit wird (wieder einmal) deutlich, daß die Geoelektrik ohne Berücksichtigung geologischer Kenntnisse keinerlei Hinweis dafür liefern kann, welches der zahlreichen äquivalenten Modelle das „wahre“ ist.

### Frequenzabhängige komplexe Widerstandsmessungen im Labor

Um die Vieldeutigkeit äquivalenter Lösungen der berechneten Modelle für die geoelektrischen Sondierungen einzuschränken, können in der Inversionsrechnung Schichttiefen oder auch spezifische Widerstände der Schichten vorgegeben werden. Zur praktischen Erprobung dieser Möglichkeiten wurden aus den Kernen der Rammkernsondierungen RKS 1 bis RKS 3 Proben für Labormessungen und Siebanalysen aus lithologisch homogen erscheinenden Schichten ausreichender Mächtigkeit genommen.

Schwierigkeiten bereiten Messungen der elektrischen Leitfähigkeit an Proben im Labor dadurch, daß die Gleichstromleitfähigkeit der untersuchten Materialien, die mit den Ergebnissen der geoelektrischen Sondierungen verglichen werden soll, wegen der auftretenden Elektrodenpolarisation nicht ohne weiteres meßtechnisch erfaßt werden kann. Es muß vielmehr die frequenzabhängige Impedanz der Proben in einem größeren Frequenzspektrum bestimmt werden, aus dem unter günstigen Bedingungen die Gleichstromeigenschaften ermittelt werden können.

Weitere Schwierigkeiten entstehen dadurch, daß das Gefüge der Proben bei der Entnahme aus den Rammkernen naturgemäß weitgehend zerstört wird. Alle Proben wurden deshalb nach Einbringung in die Meßeinrichtung mit einem geringen Druck beaufschlagt, um den Überlagerungsdruck nachzubilden. Auch die Feuchtigkeit der Proben ist trotz Luftabschlusses unmittelbar nach der Probenentnahme nicht immer sicher reproduzierbar. Die Proben wurden deshalb zunächst mit ihrem noch vorhandenen Feuchtigkeitsgehalt und anschließend, um den möglichen Flüssigkeitsverlust bei der Probenlagerung durch Trocknung auszugleichen, mit *aqua dest.* gesättigt gemessen. Zumindest für Proben aus dem grundwassergesättigten Bereich sollten sich damit einigermaßen realistische Werte ergeben, da bei Austrocknung die für die Leitfähigkeit ausschlaggebenden Ionen nicht verschwinden, sondern bei erneuter Wassersättigung in Lösung gehen.

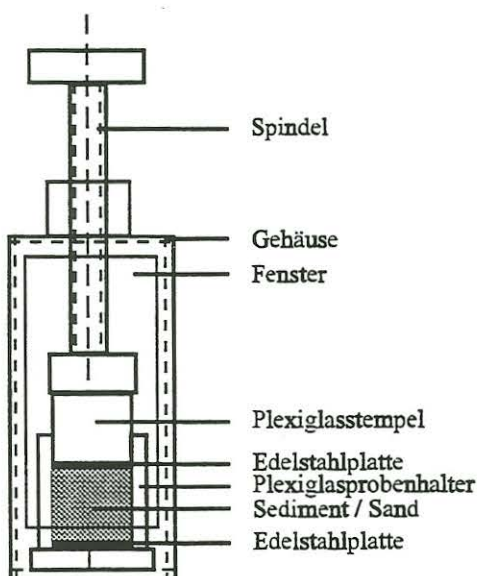


Abb. 4: Aufbau der Zweipol-Meßzelle

Zur Messung der komplexen Leitfähigkeit wurde das Gerät *SI 1260 Impedance/Gain-Phase Analyser* der Firma *Solartron Instruments* eingesetzt. Die Messungen wurden im „Sweep Modus“, d.h. mit einem logarithmischen Durchlauf von Frequenzen im Bereich von 100 mHz bis 10 MHz mit einer Zweipol-Meßzelle durchgeführt, die für die speziellen Anforderungen bei Messungen an Flüssigkeiten und Lockermaterialien



von der Werkstatt des Instituts entworfen und gebaut worden war. In Abb. 4 ist die Konstruktionsskizze dieser Zelle abgebildet. Sie besteht im Grundprinzip aus einer zylindrischen Probenkammer mit zwei Metallplatten als Meßelektroden an den Stirnseiten.

Als Beispiel für eine Zweipol-Labormessung zeigt Abb. 5 den frequenzabhängigen spezifischen Widerstand und die dazugehörige Phase im Frequenzbereich von 0,1 Hz bis 10 MHz für eine Schluff-Probe aus 8,30 m Tiefe der Rammkernsondierung RKS 1 in unmittelbarer Nähe der geoelektrischen Sondierung MP 29. Der gesuchte Gleichstromwiderstand von ca. 13  $\Omega\text{m}$  kann dem Bereich zwischen  $10^3$  Hz und  $10^5$  Hz entnommen werden, da der spezifische Widerstand dort angenähert Gleichstromeigenschaft aufweist, d.h. in diesem Bereich nahezu konstant ist und die Phase angenähert  $0^\circ$  erreicht. Bei Frequenzen unterhalb von  $10^3$  und oberhalb von  $10^5$  Hz sind die Meßwerte dagegen durch die Elektrodenpolarisation bzw. den beginnenden Relaxationsvorgang von adsorbiertem Wasser verzerrt. Der etwas geringere spezifische Widerstand der wassergesättigten Probe belegt, daß der Schluff-Horizont entweder nicht vollständig gesättigt war oder daß die Probe trotz Versiegelung des Probenbehälters etwas an Feuchtigkeit verloren hat.

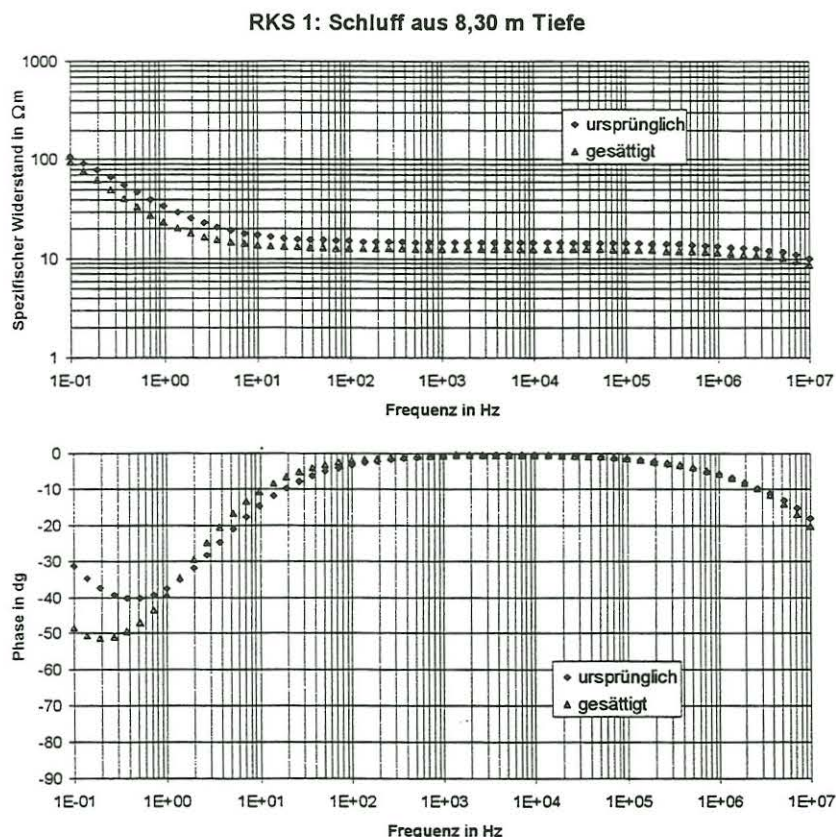


Abb. 5: Frequenzabhängige komplexe Messungen des spezifischen Widerstandes und der dazugehörigen Phase an einer Schluff-Probe der Rammkernsondierung RKS 1

Entsprechende Labormessungen wurden an allen Proben der Sondierungen RKS 1 bis RKS 3 durchgeführt, die Ergebnisse sind in Abb. 6 zusammengestellt. Dargestellt ist die Gleichstromleitfähigkeit der Proben gegenüber ihrer Tiefenlage in Metern über bzw. unter NN. Deutlich erkennbar ist die Bedeutung des Wassergehaltes in den Sanden: In den oberen relativ trockenen Schichten existieren hohe spezifische Widerstände von über 900  $\Omega\text{m}$ , im grundwassergesättigten Bereich sinken die Werte für Sande auf 90  $\Omega\text{m}$  bis 300  $\Omega\text{m}$ . Auffällig und von besonderer Bedeutung für die Interpretation der Geoelektrikdaten sind die niedrigen spezifischen Widerstände der Schluffschichten, die sich mit Werten zwischen 12 und 26  $\Omega\text{m}$  von den darüberliegenden Sanden markant abheben. Die Sandproben unterhalb der Schluffschicht weisen mit 40 bis 70  $\Omega\text{m}$  wieder höhere spezifische Widerstände auf, die jedoch niedriger sind als die der oberhalb der Schluffschicht liegenden Sande (vgl. BARTLING 1997).

Wegen der starken Leitfähigkeitskontraste ist zu erwarten, daß sich in den Geoelektrik-Modellen sowohl der Grundwasserspiegel als auch der Schluffhorizont gegenüber den umgebenden Sanden abzeichnen.



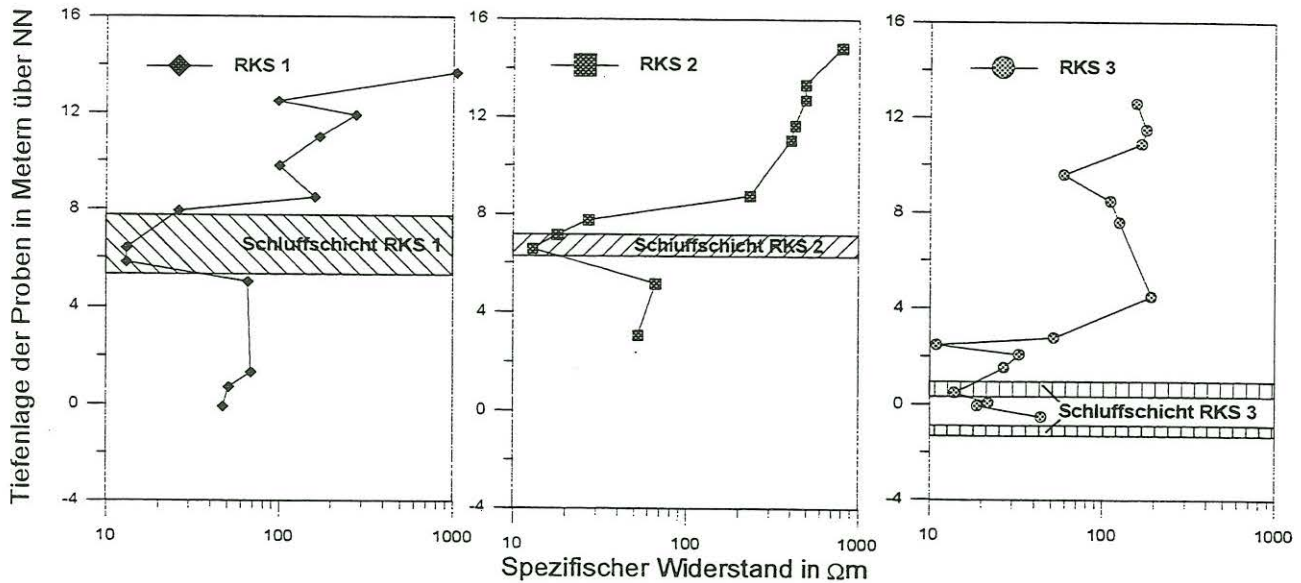


Abb. 6: Ergebnisse der Widerstandsmessungen an Proben der drei Rammkernsondierungen RKS 1, RKS 2 und RKS 3; die schraffierten Flächen entsprechen der Tiefenlage der Schluffschichten

### Inversion mit Vorinformationen

Aus den Ergebnissen der Labormessungen und der Rammkernsondierungen kann nun ein Vormodell entwickelt werden, mit dem die Schichttiefen vorgegeben und bei der Inversion weitgehend festgehalten werden. Gewählt wurde wie zuvor ein 5-Schichten-Modell, um den überlangen Abstieg im Anfangsteil der Kurve genügend genau auflösen zu können. Als Schichtgrenzen wurden der Übergang vom Oberboden zum trockenen Sand, der Grundwasserspiegel sowie Ober- und Unterkante des Schluff-Horizonts festgelegt. In Abb. 7 (links) sind als Resultat der Inversion mit Vorinformation die Meßwerte des Geoelektrik-Punktes MP 29 zusammen mit der Modellkurve des unter diesen Vorbedingungen am besten angepaßten Modells dargestellt. Auf den ersten Blick gibt es kaum Unterschiede gegenüber den Modellkurven in Abb. 3, der Anpassungsfehler ist jedoch geringfügig größer. Ursache dafür ist eine verschlechterte Anpassung im Anfangsteil der Kurve, während die wichtigen Meßwerte bei langen Perioden besonders gut erklärt werden. Das mit Vorinformationen gefundene Modell erweist sich in weiteren Modellrechnungsversuchen als recht stabil gegenüber verschiedenen anderen Startmodellen, wenn nur die Tiefenlage des gutleitenden Horizontes annähernd richtig vorgegeben ist.

Im Vergleich mit dem Bohrprofil der Rammkernsondierung RKS 1 (Abb. 7 Mitte) kann diese Modell (Abb. 7 rechts) nun interpretiert werden:

Die hochohmige Deckschicht mit  $1575 \Omega\text{m}$  der Geoelektrik entspricht dem trockenen Mutterboden bis in eine Tiefe von  $0,75 \text{ m}$ . Darunter folgt eine Schicht „Mittelsand“, die bis zum Grundwasserhorizont in  $1,5 \text{ m}$  unter GOK trocken ist. Im Leitfähigkeitsmodell entspricht sie der zweiten Schicht mit einem spezifischen Widerstand von  $1218 \Omega\text{m}$ . Zur Tiefe hin schließt sich eine Folge von wassergesättigten Mittelsanden an, die im Geoelektrikmodell von einer (der dritten) Schicht von  $1,5$  bis  $6,75 \text{ m}$  mit  $137 \Omega\text{m}$  wiedergegeben wird. Die einzelnen Feinsandhorizonte leicht unterschiedlicher Korngrößen zeichnen sich nach dem Prinzip der Schichtunterdrückung im Geoelektrikmodell nicht im einzelnen ab. Eine detailliertere Auflösung dieser Folge, z.B. durch eine Erhöhung der Schichtenanzahl, ist deshalb praktisch kaum möglich. Der gute Leiter zwischen  $6,75$  und  $8,7 \text{ m}$  Tiefe mit einem spezifischen Widerstand unter  $30 \Omega\text{m}$  entspricht der Schluffschicht mit ihrem erhöhten Tonmineralgehalt, wie nach den Ergebnissen der Labormessungen zu erwarten war. Mit der fünften Schicht im Geoelektrikmodell erfolgt ein erneuter Anstieg des spezifischen Widerstandes. Dieser Schicht kommt im Modell die Bedeutung des homogenen Halbraumes zu, da mit zunehmender Tiefe wegen der Begrenzung der Auslagenlänge keine weitere Schichtauflösung unterhalb des Schluffhorizontes mehr gelingt.



RKS 1  
14,69 m über NN

Tiefenmodell für MP 29

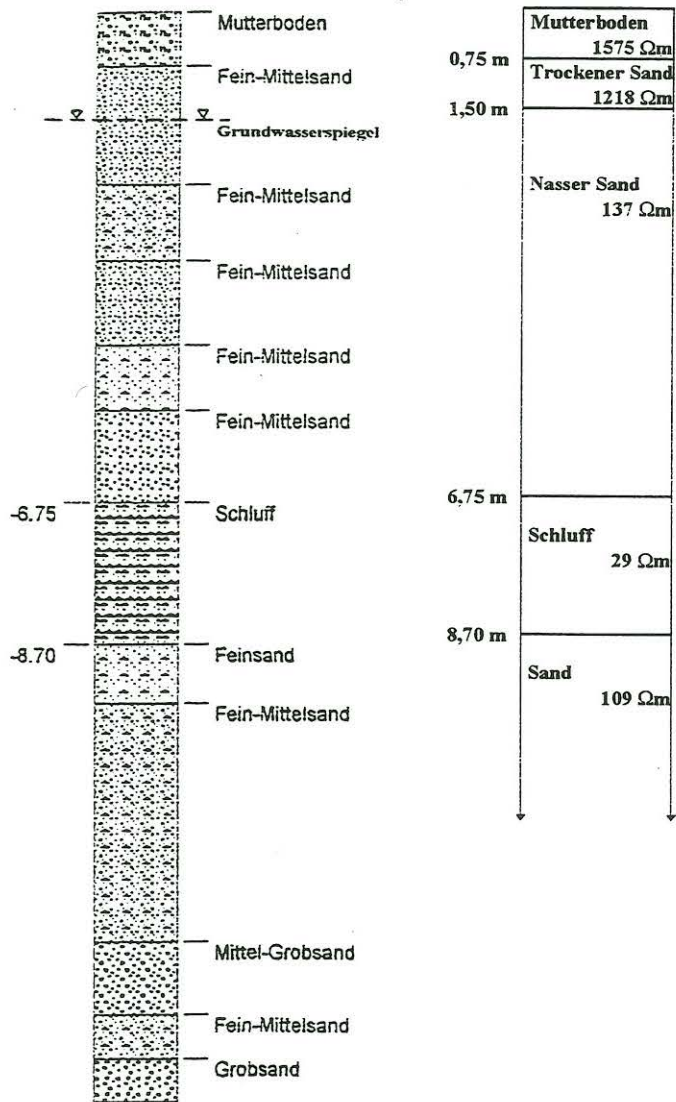
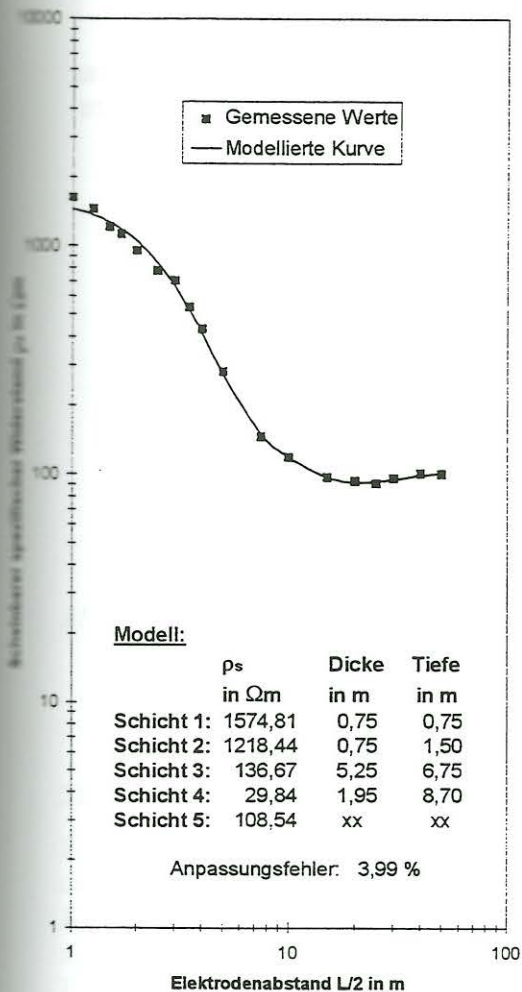


Abb. 7: Geoelektrik-Sondierungskurve MP 29 mit bestangepaßter Modellkurve aus Inversion mit Vorinformationen (links), Schichtenprofil der Rammkernsondierung RKS 1 (Mitte) und zugehöriges Geoelektrik-Modell (rechts) (Angaben in Meter unter GOK)

Zusammenfassend ist festzustellen, daß erst durch Einbeziehung der Tiefenlage von markanten Leitfähigkeitsgrenzen aus Angaben der Rammkernsondierung in Verbindung mit Leitfähigkeitsmessungen an Bohrkernen die Auswahl eines sinnvollen Geoelektrikmodells möglich geworden ist. Von Interesse ist dabei, daß es insbesondere auf die richtige Vorgabe der Tiefe des hydrologisch wichtigen Wasserhemmers Schluff ankommt. Erst dann erscheint im vorliegenden Fall auch der Grundwasserspiegel in der richtigen Tiefe.

Wurden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen bisher eher qualitativ genutzt, um vor allem Leitfähigkeitskontraste zur Erstellung eines Vormodells festzustellen, so soll im nächsten Schritt der quantitative Zusammenhang zwischen der Geoelektrik und den Laboraten genauer untersucht werden. Da die Bohrproben - soweit möglich - repräsentativ aus jeweils lithologisch homogenen Partien entnommen worden waren, bietet es sich an, die zugehörigen Mächtigkeiten und die Ergebnisse der komplexen Widerstandsmessungen in einem eindimensionalen Vorwärtsmodellierungsprogramm als Ausgangsparameter zur Berechnung einer theoretischen Sondierungskurve zu verwenden und die Resultate mit der im Gelände gemessenen Sondierungskurve zu vergleichen. In Abb. 8 ist das Ergebnis einer solchen Vorwärtsmodellierung für die Laborwerte der Ramm-



kernsondierung RKS 1 zusammen mit den am Meßpunkt MP 29 gemessenen Werten der geoelektrischen Sondierungskurve dargestellt.

Es zeigt sich eine überraschend gute Übereinstimmung zwischen Modellkurve und Geoelektrik-Daten, was eindrücklich belegt, daß beide Verfahren im vorliegenden Beispiel praktisch äquivalente Ergebnisse liefern. Ähnliche Übereinstimmungen gab es auch bei entsprechenden Rechnungen für Proben der Rammkernsondierungen RKS 2 und RKS 3 im Vergleich mit den nahegelegenen Geoelektrik-Meßpunkten MP 37 bzw. MP 48 (BARTLING 1997). Sie zeigen, daß die Probennahme offensichtlich in angemessener Weise vorgenommen worden und es bei den Messungen durch Sättigung mit *Bi-aqua dest.* und durch Aufbringen eines Überlagerungsdruckes gelungen ist, die tatsächlichen Untergrundverhältnisse in ausreichender Form nachzubilden.

### Zusammenstellung der Ergebnisse

Auf der Grundlage der bisherigen Untersuchungen wurden alle anderen Geoelektriksondierungen unter Berücksichtigung weiterer Rammkernsondierungen modelliert. So entstand schrittweise ein Untergrundbild, das die Schlammteiche vollständig umfaßt. Die Anpassungsfehler der Modelle liegen durchweg in der Größenordnung der jeweiligen Meßungenauigkeit, die Anpassungen können deshalb insgesamt als gut angesehen werden.

Abb. 9 zeigt die Ergebnisse dieser Modellierung in Form eines vereinfachten Tiefenschnitts. Dabei schließt das Modell vom rechten Abbildungsrand an das Modell am linken Rand an, da die Meßpunkte um die Schlammteiche herumgeführt worden sind (vgl. Abb. 1).

Die durchweg fünf Schichten der Modelle setzen sich, wie bereits am Beispiel des Meßpunkts MP 29 beschrieben, folgendermaßen zusammen:

1. Oberboden, mit Tiefen von 0,4 bis 1,5 m unter GOK mit stark variierenden Werten des spezifischen Widerstandes wegen unterschiedlicher Zusammensetzungen und Feuchtigkeitsgehalten der Deckschicht.
2. Relativ trockene Sandschicht oberhalb des Grundwasserspiegels mit Tiefen bis zu 3 m unter GOK. Stark variierende Werte von 400 bis 1300  $\Omega\text{m}$  bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten.
3. Grundwassergesättigte Sandschicht mit niedrigeren Werten des spezifischen Widerstandes zwischen 65 und 300  $\Omega\text{m}$  und unterschiedlichen Tiefenlagen bis zur Schluffschicht.
4. Gut leitende Schluffschicht mit variierenden Tiefenlagen und Mächtigkeiten sowie spezifischen Widerständen im Mittel von 24  $\Omega\text{m}$ .
5. Weitere nicht näher auflösbare Sandfolgen mit wieder etwas höheren spezifischen Widerständen im Bereich von 45 bis 150  $\Omega\text{m}$  (homogener Halbraum).

Die Zusammenstellung aller Modelle in Abb. 9 zeigt, daß im gesamten Meßgebiet mit einer im Grundsatz sehr ähnlichen Struktur des Untergrundes zu rechnen ist. Allerdings schwanken Tiefenlage und Mächtigkeit vor allem der Schluffschicht deutlich von Meßpunkt zu Meßpunkt (auch wenn die starke Überhöhung der Darstellung berücksichtigt wird). Schwankungen dieser Größenordnung ergeben sich auch aus den Schichtenverzeichnissen nahegelegener oder etwas weiter entfernter Rammkernsondierungen und sind somit vermutlich weitgehend real und als Hinweis auf ein unruhiges Relief der Schluffschicht zu deuten.

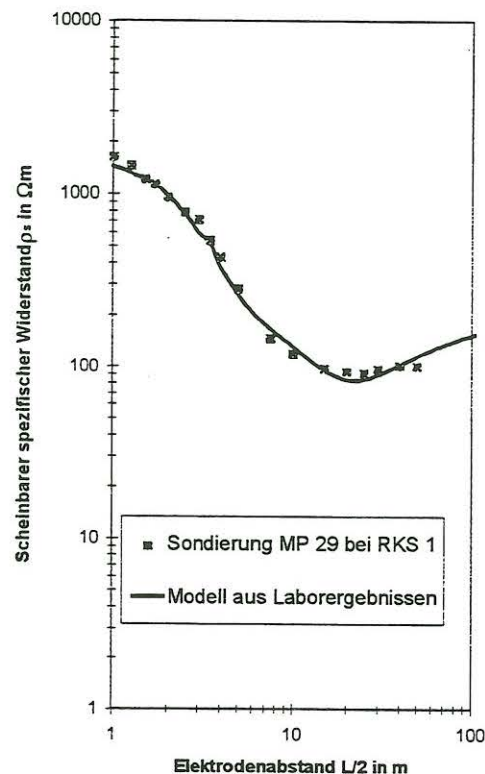


Abb. 8: Geoelektrische Sondierung MP 29 und Modellkurve aus Vorwärtsmodellierung der Ergebnisse der Labormessungen an Kernen der nahegelegenen Rammkernsondierung RKS 1



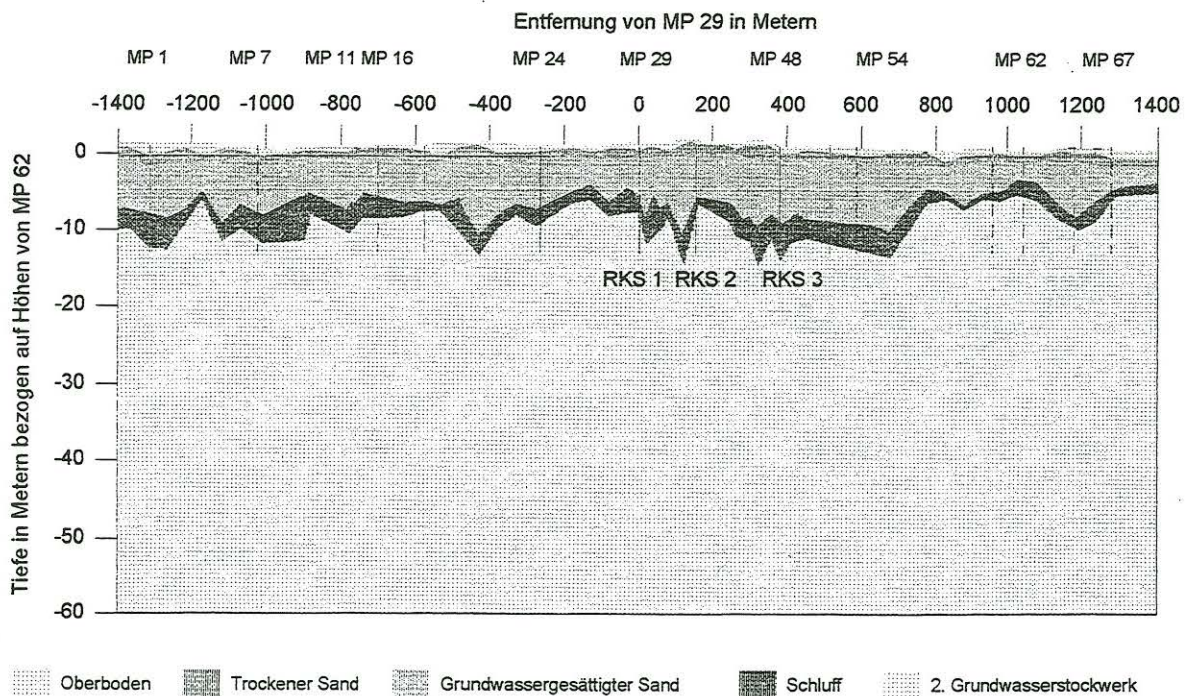


Abb. 9: Zusammenstellung aller 1D-Modelle für die Geoelektriksondierungen als vereinfachter, stark überhöhter (1:20) Tiefenschnitt unter Berücksichtigung der Topographie. Die durchgezogenen senkrechten Linien kennzeichnen die Lage der sich in unmittelbarer Nähe befindenden, die gestrichelten die der weiter entfernten Rammkernsondierungen

### 3D-Modellierung zur Klärung der Durchgängigkeit der Schluffschicht

Für die Hydrologie des Meßgebiets von entscheidender Bedeutung ist die Klärung der Frage, ob die abdichtende Schluffschicht durchgehend vorhanden ist und damit tiefere Grundwasserstockwerke vor potentiellen Kontaminationen geschützt sind. Die Schluffschicht wurde mit ihrer erhöhten Leitfähigkeit zwar bisher an allen geoelektrischen Meßpunkten mit Hilfe von 1D-Modellrechnungen nachgewiesen und in ausreichend tiefen Rammkernsondierungen in allen Fällen auch tatsächlich angetroffen. Beträchtliche Unterschiede in der lokalen Mächtigkeit der Schicht und das ausgeprägte Relief lassen die Möglichkeit aber nicht als ausgeschlossen erscheinen, daß sie stellenweise ganz fehlen könnte. Um diese Möglichkeit zu testen, wurde versucht, rechnerisch zu bestimmen, welchen Einfluß Löcher in der Schluffschicht auf geoelektrische Sondierungskurven haben.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde das 3D-Modellierungsprogramm *DREID* von SPITZER (1995) eingesetzt. Es ermöglicht die Finite-Differenzen-Berechnung von Sondierungskurven für einen Punkt an der Erdoberfläche über einem Untergrund mit beliebig vorgegebener Leitfähigkeitsverteilung. Den Rechnungen zugrundegelegt wurde zunächst ein einfaches eindimensionales Leitfähigkeitsmodell, das dem Ergebnis der 1D-Modellierung für MP 29 exakt entspricht (vgl. Abb. 7 rechts). Zur Modellierung eines fiktiven Lochs in der Schluffschicht wurde im Zentrum des Modells in der vierten Schicht ein quaderförmiger Bereich definiert, dem als spezifischer Widerstand der Mittelwert aus dritter und fünfter Schicht zugewiesen wurde. Die Seitenlänge des Quaders wurde zwischen 17,6 m und unendlich, was einem völligen Fehlen der Schluffschicht entspricht, variiert.

Abb. 10 faßt die Ergebnisse verschiedener Modelle für einen Meßpunkt genau in der Mitte über dem modellierten Loch zusammen. Die durchgezogene Linie zeigt zum Vergleich den Verlauf der Sondierungskurve, die sich bei ungestörter, durchgängig vorhandener Schluffschicht ergibt (vgl. Abb. 7 links). Die lang-gestrichelte Kurve resultiert aus der Vorgabe eines Lochs von 17,6 m Kantenlänge in der Schluffschicht, sie weicht von der durchgezogenen Kurve nur geringfügig durch ein etwas weniger ausgeprägtes Minimum ab. Das Loch verzerrt das elektrische Potential offenbar nur so wenig, daß sich als Folge der lateralen Einflüsse des in der Umgebung vorhandenen Schluffs immer noch ein Minimum in der Sondierungskurve ausbildet. Im Extremfall der völlig fehlenden Schluffschicht, in der Abbildung durch die kurz-gestrichelte Kurve gekennzeichnet, fehlt hingegen das charakteristische Minimum. Dennoch weicht auch diese Kurve nicht sehr stark von den vorhergehenden ab.



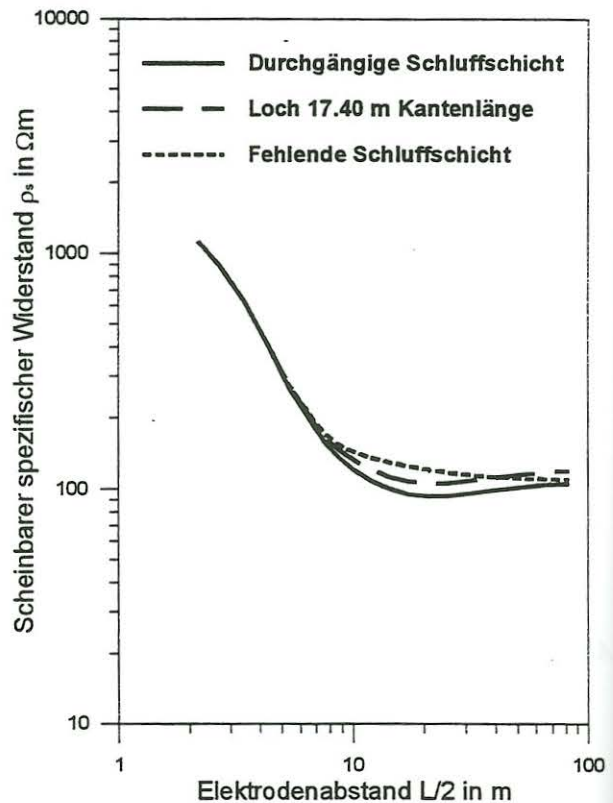
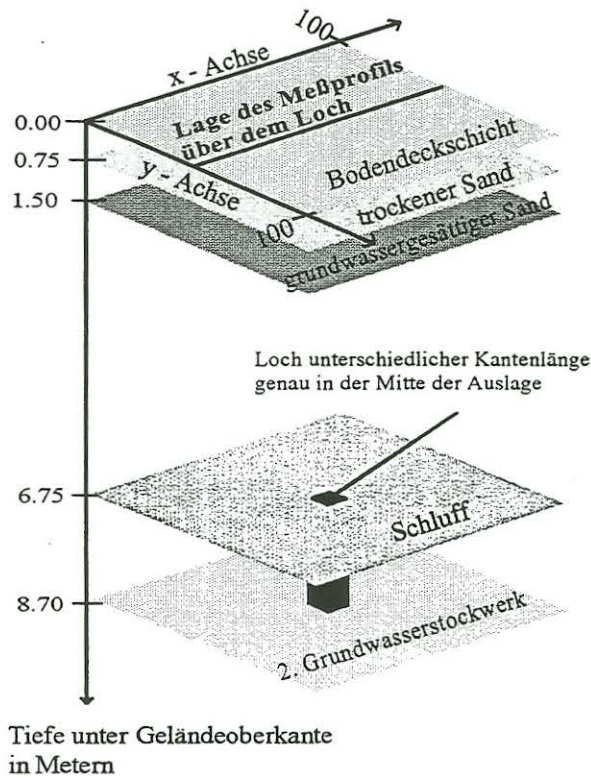


Abb. 10: Untersuchung der Sensitivität der Geoelektrik für die Durchgängigkeit der Schluffschicht (links) mit Sondierungskurven aus der Vorwärtsmodellierung des 3D-Programms für die Schluffschicht mit und ohne Löchern (rechts)

Insgesamt zeigt das Beispiel, daß nur das völlige Fehlen von Schluff aufgrund des fehlenden Minimums nachgewiesen werden kann. Kleinräumige Unterbrechungen innerhalb dieser Schicht wirken sich jedoch so geringfügig aus, daß die Änderungen in den Sondierungskurven noch deutlich in den Rahmen von Meßgenauigkeiten oder von natürlichen Variationen der spezifischen Widerstände und Mächtigkeiten fallen und für die Geoelektrik damit nicht sicher erfaßbar sind (MARX 1997).

#### Literatur:

- BARTLING, B. (1997): Geophysikalische Untersuchungen zur Abschätzung der Dichtigkeit eines ehemaligen Hochmoores (Emlichheim) in Verbindung mit frequenzabhängigen komplexen Widerstandsmessungen im Labor. - Diplomarbeit, Institut für Geophysik, WWU Münster [unveröff.].
- BOIGK, H., DIETZ, C., GRAHLE, H. O., HOFFMANN, K., HOLLSTEIN, W., KÜHNE, F., RICHTER, W., SCHNEEKLOTH, H. UND WAGER, R. (1960): Zur Geologie des Emslandes. - Beih. Geol. Jb., Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover.
- HIMMEL, V. J. UND FRIN, J. (1995): Gefährdungsabschätzung Holleberger Moor Emlichheim. - 1. Zwischenbericht, EFEU, Gronau [unveröff.].
- JÖDICKE, H., BARTLING, B., MARX, P. (1997): Geophysikalische Untersuchungen im Gebiet der Schlammteiche der Fa. Emslandstärke GmbH, Emlichheim. - Schlußbericht zum geologischen Gutachten, Institut für Geophysik, WWU Münster [unveröff.].
- MARX, P. (1997): Geophysikalische Untersuchungen zur Abschätzung der Dichtigkeit eines ehemaligen Hochmoores in Verbindung mit dreidimensionalen Modellrechnungen zur Interpretation geoelektrischer Messungen. - Diplomarbeit, Institut für Geophysik, WWU Münster [unveröff.].
- SPITZER, K. (1995): Das Programmpaket DREID - Gleichstromgeoelektrische Vorwärtsmodellrechnung für dreidimensionale Leitfähigkeitsstrukturen. - Bericht 113806, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover [unveröff.].