

K. BERGMANN, I. BRUNNER¹ & H.R. GLÄSER²:

Ergebnisse und Aussagen geophysikalischer Messungen in Cospuden

¹ Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Talstraße 36, 04103 Leipzig

² UFZ Leipzig-Halle, Sektion Hydrogeologie, Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle

Kurzfassung

Zur Erfassung und Beschreibung der initialen Verteilung und der Zirkulationswege des Kippengrundwassers werden oberflächengeophysikalische sowie Bohrlochmeßverfahren eingesetzt. Die Abschätzung hydraulischer Kenngrößen für das Kippensubstrat erfolgt über Tracermessungen und Zeitreihenbeobachtungen des elektrischen Widerstandes im Wechselwirkungsbereich der Kippe mit dem Restlochsee. Erstmals erfolgten Versuchsmessungen zur in situ Sulfidgehaltsabschätzung mit dem Verfahren der Spektralen Induzierten Polarisation.

Einleitung

Im Rahmen umweltrelevanter Forschungsarbeiten werden durch das UFZ im Bereich ehemaliger Tagebaue des Leipziger Südraums umfangreiche hydro- und geochemische Untersuchungen angestellt. Geophysikalische Untersuchungen begleiten diese Untersuchungen mit dem Ziel räumliche und zeitliche Vorstellungen für die hydraulischen und hydrochemischen Vorgänge Kippe zu entwickeln. Im Gegensatz zum unverritzten Gebirge sind die Meß- und Interpretationbedingungen in Kippenlandschaften weitaus schwieriger. Schüttungsmuster, Verwitterungszonen und nicht immer nachvollziehbare Wasserzirkulationen im Kippenmassiv müssen sowohl bei den Messungen als auch bei der Interpretation berücksichtigt werden. Im vorliegenden Beitrag sollen die wichtigsten Phänomene und Ergebnisse einer über vier Jahre andauernden Meßkampagne präsentiert werden.

Aufgaben- und Zielstellungen

Die den geophysikalischen Untersuchungen übergreifende Fragestellung beruft sich auf die vermuteten hydrochemischen Wechselbeziehungen zwischen Kippe und Restlochsee während der Restlochflutung und nach deren Abschluß.

Der geophysikalische Ansatz für die Kippenbemusterung zielt auf folgende Probleme: lithologische Besonderheiten, initiale Wasserverteilung im Kippenkörper (homogen/inhomogen), Fließbewegungen und Fließrichtungen des Kippenwassers, Infiltration von Seewasser bei der Restlochflutung, Aufsättigung des Kippenkörpers, Fragen zur Grundwasserneubildung, Ausgliedern von Verwitterungs- und Reaktionszonen, Stoffwechselfvorgänge im Kippensubstrat.

Im Zeitraum von 1995 bis 1999 kamen nach dem Durchführungsmuster Einzelmessung oder Basismessung plus Wiederholungsmessung(en) folgende Methoden zum Einsatz:

- Radiometrische und induktive Bohrlochmessungen
- Seismik, Bodenradar
- Elektrik (1D, 2D), Elektromagnetik, (versuchsweise) Spektrale Induzierte Polarisation
- Temperatur, Tracerarbeiten, Drucksondierungen

Meßfeld

Die Untersuchungsfläche befindet sich im Nordteil des Kippenmassives Cospuden, welches im Süden an die ältere Kippenschüttung des Tagebaues Zwenkau unmittelbar angrenzt. Die geophysikalischen Untersuchungen erfolgten als Bohrlochmeßvariante in 4"- Pegeln und Aufnahmebohrungen für spezielle Meßsysteme. Die Profile der oberflächengeophysikalischen Verfahren tangieren meist derartige Pegel und Bohrungen bzw. befinden sich im direkten Kontaktbereich zum Restlochsee. Ein 1995 in Betrieb gegangenes Sicker- und Grundwasser-Meßsystem SGM steht mittlerweile nicht mehr zur Verfügung. Das dafür 1998 neu installierte Meßsystem zur teufenorientierten Wasserprobenahme Cospuden Multilevel (C-ML) enthält 6 Sampler für Kippenwasser und eine Bodengasmeßstelle. An der Außenwand der Multilevelbohrung wurde das Glasfaserkabel für das Temperaturmeßsystem angeschellt. Die beiden anderen Temperaturmeßstellen T1 und T2 wurden mittels Drucksondiertechnik bis auf ca. 50 m unter Flur (Kippenbasis) versenkt.

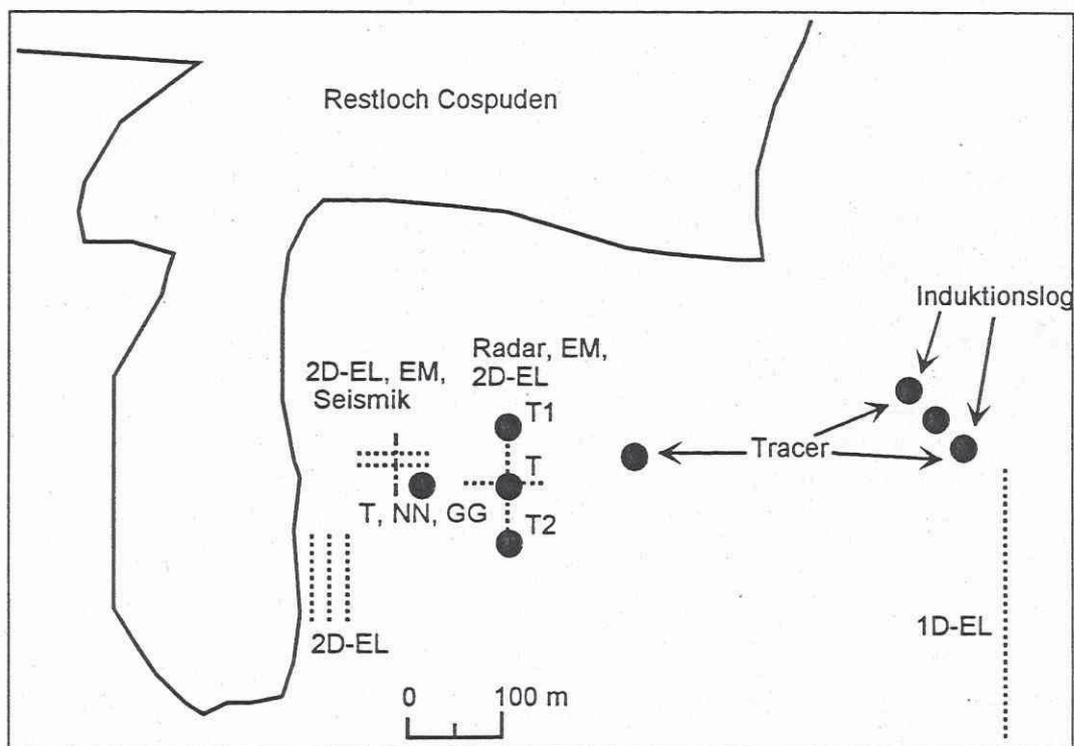


Abb. 1: Lage der Meßprofile und Meßstellen

Meßergebnisse

Im Frühstadium der Restlochflutung wurden in den Pegeln auf der Kippe Cospuden im Vergleich zum Wasserstand im Restloch relativ hohe Pegelstände beobachtet (See ca. 75 m NN, Pegel ca. 97 m NN). Bei Neuabteufungen in der Kippe wurden aber über große Teufenbereiche aber oftmals nur trockene Bereiche angetroffen, die von durchnäßten Lagen unterbrochen waren.

In der bis auf die Kippenbasis reichenden Aufnahmebohrung für das Sicker- und Grundwasser-Meßsystem (SGM) erfolgten zunächst wegen der temporären Stahlverrohrung radiometrische Bohrlochmeßverfahren. Das Schema der Dichtemessung (Gamma Gamma-Log) und der Wasserstoffgehaltsmessung (Neutron-Neutron-Log) verdeutlicht zunächst eine

grundsätzliche vertikale Zweiteilung des Kippenkörpers hinsichtlich Wasserstoffgehalt (=Wasseranteil und Toneinfluß) und Dichteigenschaften, die nicht mit der Grenzziehung zwischen Absetzer- und Förderbrückenkippe identisch sind.

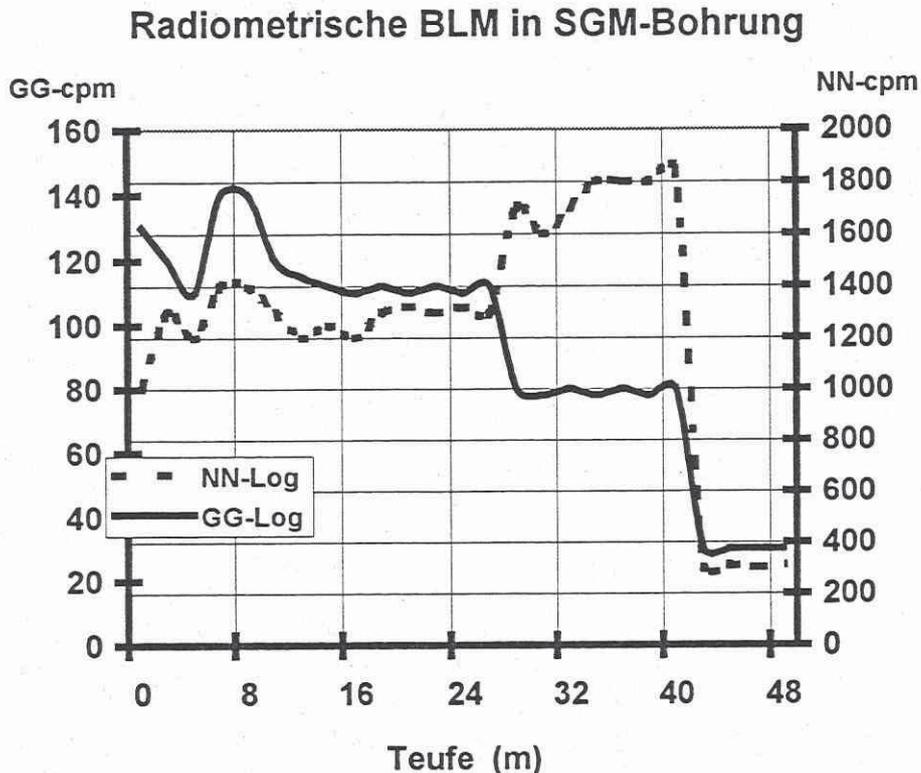


Abb. 2: NN/GG-Log

Der im Neutron-Neutron-Log niedrig ausgewiesene Wasserstoffgehalt im Bereich unterhalb 26 m (Rohrwasserstand bei 42 m) ließ erstmals Vermutungen über isolierte Wasserkörper im Kippenmassiv aufkommen. Luftbilder von der ehemals frei liegenden Förderbrückenkippe stützen diese Vorstellungen. Möglicherweise zeichnen die radiometrischen Bohrlochmeßverfahren eine derartige Situation am SGM nach. Im 2“-Meßrohr des SGM-Systemes, welches mehrfach gefiltert ist, spiegelte sich denn der Wasserstand nach wenigen Wochen auf ca. 15 m unter Flur ein.

Refraktionsseismische Untersuchungen im Umfeld des SGM erbrachten P-Wellengeschwindigkeiten, die deutlich unter der für sonst bei Vollaufsättigung des Porenraumes üblichen Werten von größer 1200 m/s liegen.

Gleichstrommessungen, die auf den Widerstandskontrast zwischen ungesättigten und gesättigtem Kippensubstrat ansprechen sollten, war aus gerätetechnischen Gründen zunächst kein Erfolg beschieden. Aus diesem Grunde wurden elektro-magnetische Kartierungen mit dem Zweispulen-Gerät EM-34 vorgenommen. In der Abbildung 3 werden die Ergebnisse zweier im Abstand von einem Jahr auf einem Profil quer zur Streichrichtung der Kippen vorgenommenen Messungen vorgestellt.

Die zwischen Primär- und Sekundärspele fest vorgegebenen Abstände 10 m und 20 m ergeben bei den Arbeitsfrequenzen (6,4 KHz, 1,6KHz) zwei verschiedene integrale Wirtktiefen, etwa in der Größenordnung dieser Spulenabstände.

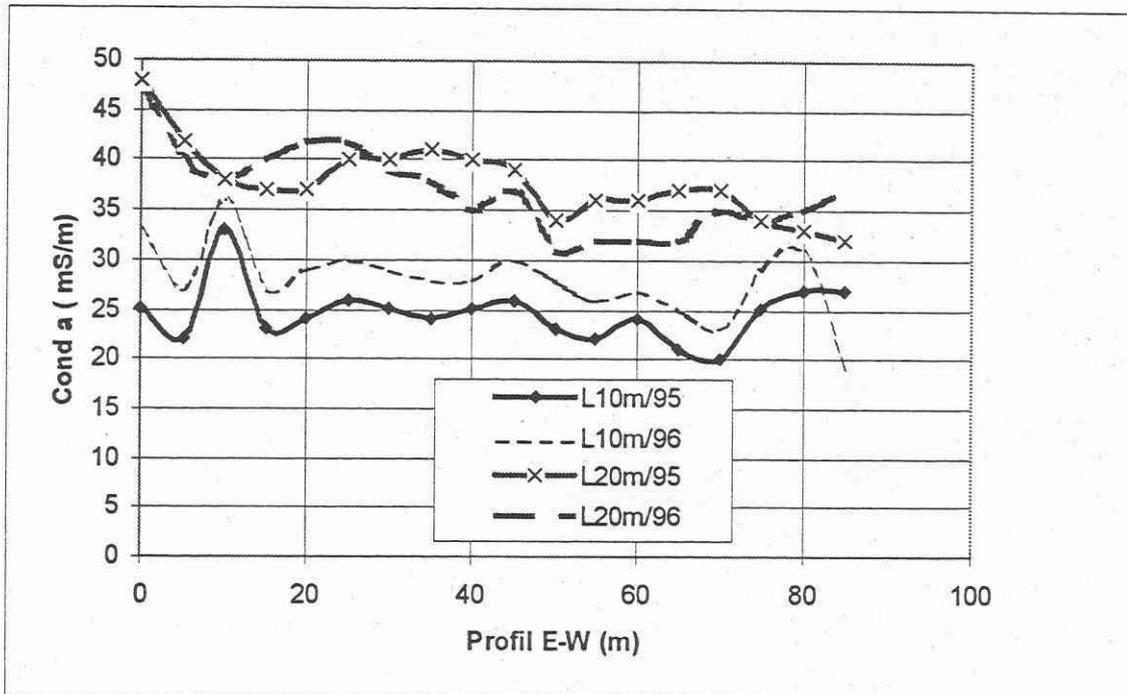


Abb. 3: Meßprofil Elektromagnetik , Meßzeitraum 1995/1996

Bei der 10 m-Distanz zwischen beiden Arbeitsspulen werden für den Betrachtungszeitraum ansteigende Leitfähigkeitswerte (Durchfeuchtung) des oberflächennahen Kippensubstrates beobachtet. Für den 20m - Spulenabstand ergeben sich lateral verteilt sowohl zunehmende als auch abnehmende Bodenleitfähigkeiten. Diese Phänomene werden dem tieferen Übergangsbereich ABK/FBK zugeordnet. Als Ursache für die Leitfähigkeitsschwankungen kommen Verlagerungsvorgänge in der Verwitterungszone der FBK in Frage. Zusammen mit der Universität Leipzig wurden Modellrechnungen für das EM-34 System zur Widerstandsverteilung im Kippenkörper für verschiedenen Wasserverteilungen im Kippenkörper vorgenommen (FRIEDEL, 1997)

Transport- und Verlagerungsvorgänge lassen sich auch aus den über 15 Monate andauernden Temperaturmessungen am SGM ableiten. Eine ausführliche Diskussion dieser Registrierungen ist SCHRECK et al. (1998) zu entnehmen. Aus Gründen der Anschaulichkeit werden an dieser Stelle nur Messungen aus der Start- und Finalphase der Registrierung vorgestellt.

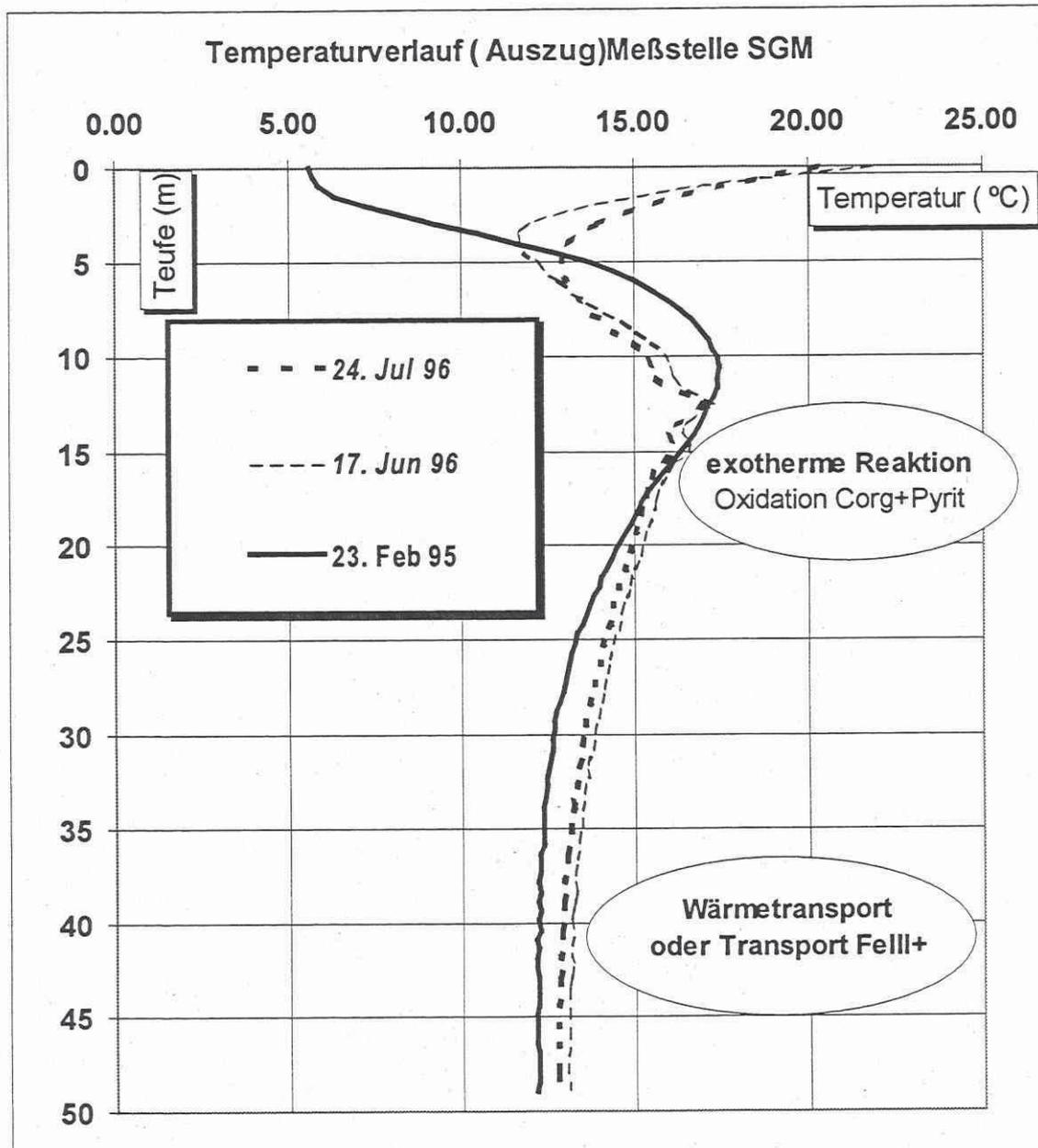


Abb. 4: Temperaturregistrierungen am SGM

Die ursprünglich gleichförmig konvexe Form der Temperaturanomalie vom Februar 1995 mit Maximum auf Teufe 11 m wird im Verlaufe der Beobachtungszeit „erodiert“. Gleichzeitig ist eine Temperaturerhöhung im Basisbereich der Förderbrückenkippe um ca. 0.8 K zu erkennen. Es werden folgende Möglichkeiten zur Diskussion gestellt:

1. Der thermisch reagierende Bereich bei ca. 11m liegt in Oberflächennähe eines Wasserkörpers. Infolge Verritzung durch die Bohraktivitäten sickert warmes Wasser unter Abtransport von Fe^{3+} -Ionen in Richtung Kippenbasis; Anregung Fe^{3+} gesteuerter exothermer Oxidationsprozesse.
2. Sauerstoffeintrag entlang der durch die Bohrung hervorgerufenen Störungszone. Es muß wohl unterstellt werden, daß die das Meßsystem aufnehmende Bohrung entsprechende Wegsamkeiten in Richtung Kippenbasis ermöglicht

Von geochemischen Interesse hinsichtlich Mächtigkeit und Zustand ist der obere Bereich der Förderbrückenkippe - eine durch längere Liegezeit ausgebildete Oxidationszone. Diese Zone

sollte vorzugsweise durch geringe elektrische Widerstände charakterisiert sein. Elektromagnetische Bohrlochmeßverfahren auf der Basis von Induktionsvorgängen (Induktionslogs) ermöglichen eine radial begrenzte Profilierung des elektrischen Widerstandes im Hinterrohrraum.

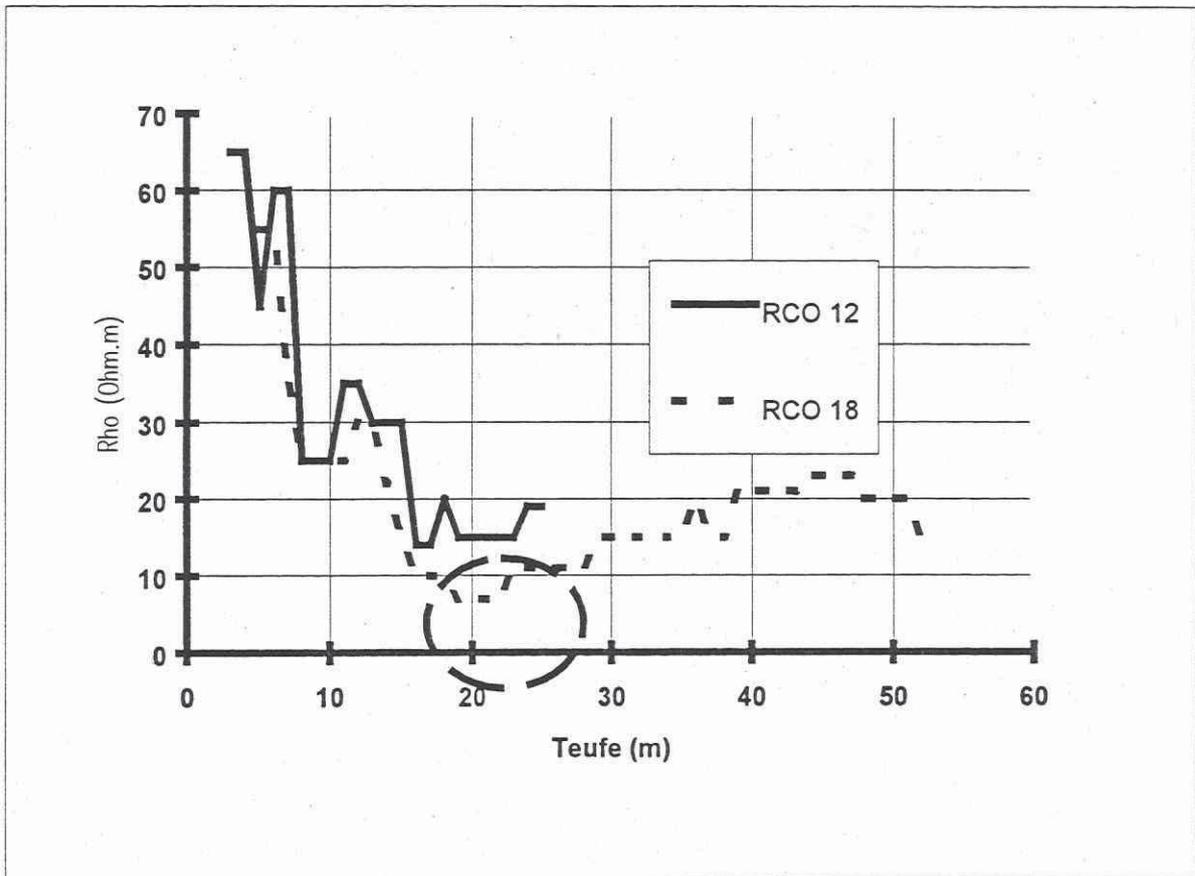


Abb. 5: Induktionslogregistrierung in den Gütepegeln RCO 12 und RCO 18

Beide in Abb. 5 dargestellten Messungen belegen eine hochohmige Deckschicht im oberen Teil der Absetzerkippe. Im Übergangsbereich zum Förderbrückenteil (Verwitterungsschicht) gehen die Widerstandswerte auf die Größenordnung kleiner 10 Ohm.m zurück. Im Pegel RCO18 waren derartige Induktionslogmessungen 1996 und 1997 vorgenommen worden. Beidemale wurde ein kurvenidentisches Meßbild erhalten. Die Dicke der Verwitterungsschicht wird nach diesem Meßverfahren mit 3 m abgeschätzt.

Die gemessenen elektrischen Widerstände im Kippenkörper können folgendermaßen zugeordnet werden:

Kippendeckschicht	20-300 Ohm.m
ABK	20-30 Ohm.m
Oxidationszone FBK	5 - 10 Ohm.m
FBK	15-30 Ohm.m
Invasionsbereich Restlochsee	10-20 Ohm.m

Abgesehen von der Kippendeckschicht ist der Meßwertkontrast zwischen total aufgesättigtem Substrat (Messungen im Uferbereich des Restloches), der Oxidationszone im FBK-Bereich und den nur durchfeuchteten Kippenzonen im ABK-Bereich eher schwach ausgebildet. Um die sich im Kippenkörper ausbildende Grundwasseroberfläche - in durchgängig oder

strukturierter Form - erfassen zu können, müssen geophysikalische Strahlverfahren herangezogen werden.

Der Wasserspiegel im Restloch befand sich im April 1999 bei +105 m NN. Die seit März 1998 in Gang gekommene Zuführung von Fremdwasser in einer Größenordnung von 64000 m³/Tag führt zu einem Seewasseranstieg von 1m im Monat. In dem dem Restlochsee exponiert gegenüberstehenden Pegel RCO4 werden seitdem Wasseranstiege um 40 cm pro Monat (vor Fremdflutung 15 cm) beobachtet. Der Aufsättigungsvorgang des Kippenkörpers ist bereits Gegenstand vielfältiger und kontroverser Diskussionen gewesen. Am UFZ erfolgten hierzu auch erste Modellrechnungen (siehe CHRISTOPH, S. 39).

Am Westhang des Meßfeldes zum Kippensee (in der Nähe der bereits vorgestellten Elektromagnetikprofile) wurden nun uferparallel in verschiedenen Geländehöhen Elektrikprofile ausgelegt (Abb. 6).

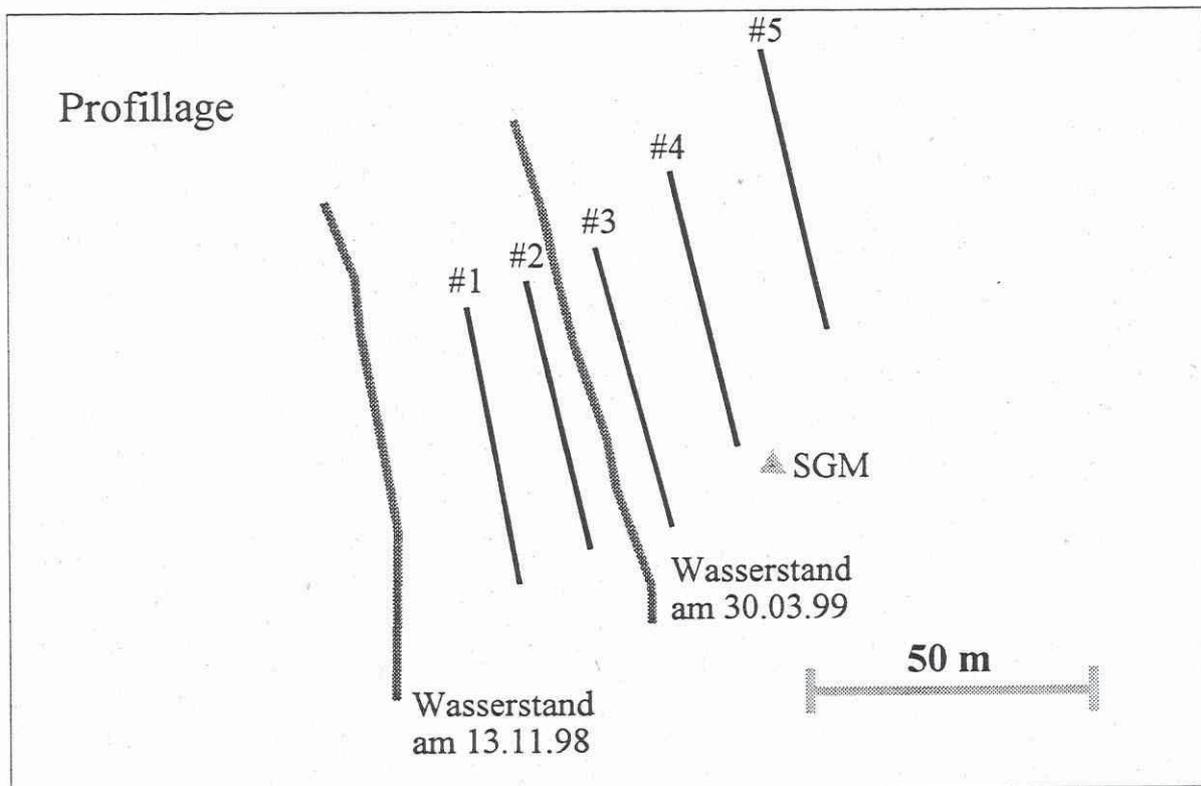


Abb. 6: Lage der Geoelektrikprofile am SGM

Dies ermöglichte unter dem Wirken des rasanten Seewasseranstieges die Invasion der Wasserfront in die Kippe zu beobachten. Die fünf Profile haben untereinander je 2 m Höhendifferenz. Bei einem Meßpunktabstand von 1 m und einem Aufbau aus 50 Stahlelektroden sind diese 49 m lang.

Mit den Geräten Geotom (Firma: GeoLog) bzw. Tomoplex (Firma: Campus Geophysical Instruments) werden Dipol-Dipol-Aufstellungen gemessen. Wiederholungsmessungen erfolgen ca. aller 4 Wochen. Die dabei gewonnenen Daten werden als Pseudosektionen dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine reine Meßwertdarstellung, eine Datenfilterung erfolgt nur hinsichtlich offensichtlicher Fehlmessungen.

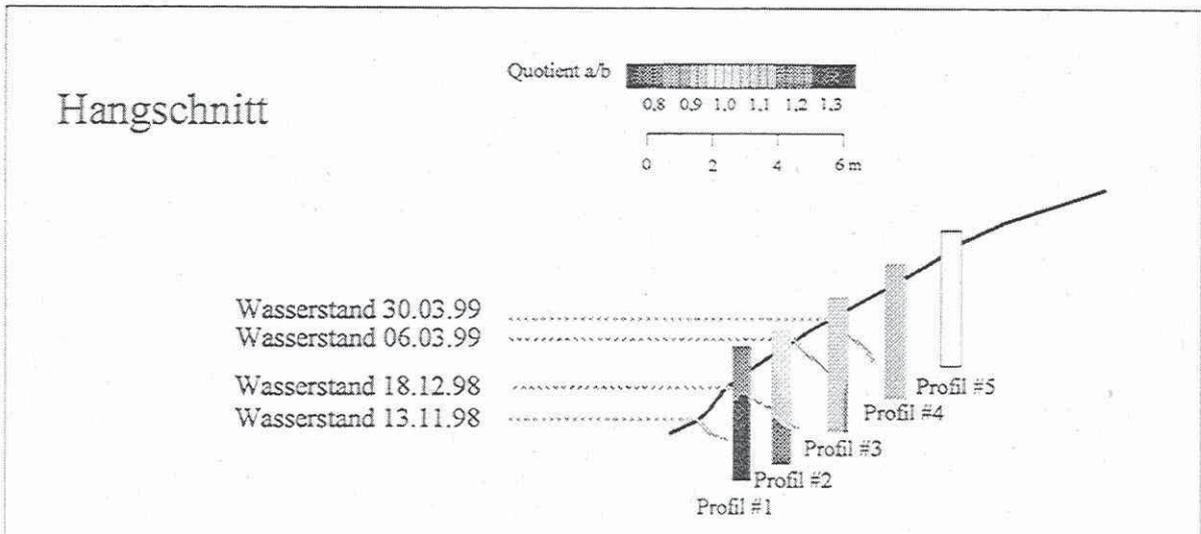


Abb. 7: Schnittansicht des Kippenhanges mit den Geoelektrikprofilen

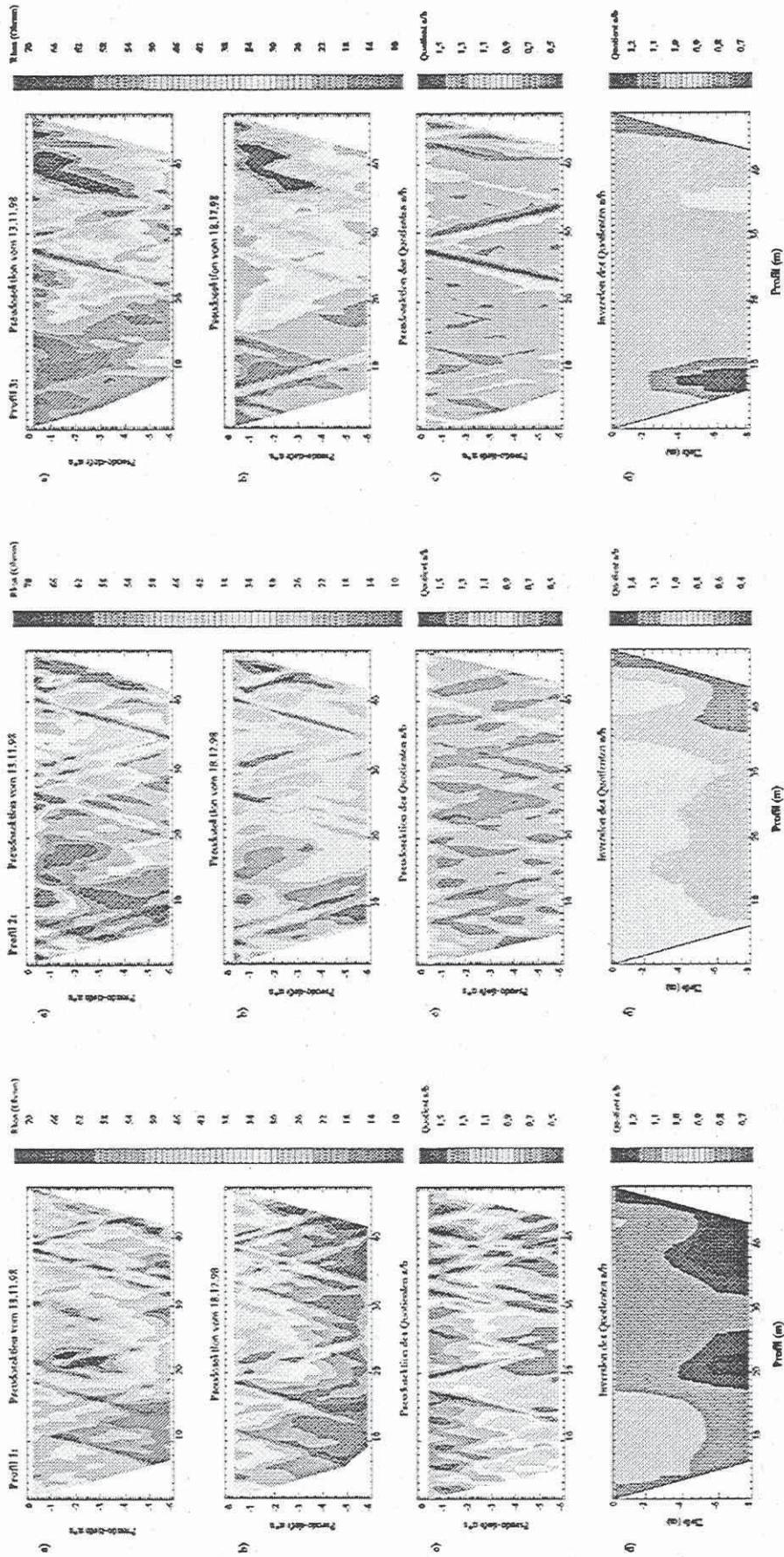
Aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen des gleichen Profils kann unter der Voraussetzung geringer Widerstandsänderungen eine Quotientenbildung erfolgen. Dabei wird ein Datenvektor $d_i = \rho_i(t_0)/\rho_i(t_1)$ berechnet. (ρ_i = scheinbarer spezifischer Widerstand zur Zeit t_0 bzw. t_1) Der Vorteil liegt bei dieser Vorgehensweise darin, daß sämtliche topographische Effekte des Untergrundes bereinigt werden. Eine relative Widerstandserniedrigung äußert sich in Quotienten größer eins, eine Widerstandserhöhung analog in Werten kleiner eins.

Diese Quotientendarstellung wird invertiert (Abb. 8). Aus den Inversionen ist ein Eindringen des Wassers in die Kippe über bevorzugte Wegsamkeiten erkennbar. Des weiteren ist der Wasserstand im Kippenkörper in Ufernähe niedriger als der Seewasserstand. Aus dieser Langzeitbeobachtung erfolgte eine Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f des Kippenmaterials.

Dazu wurde das Filtergesetz von DARCY genutzt. Als erste Abschätzung ergeben sich ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \approx 10^{-5}$ m/s und eine Abstandsgeschwindigkeit $v \approx 0.3$ m/d.

Zur Charakterisierung der hydraulischen Vorgänge im restlochnahen Bereich des Kippenmassives und zur Stützung von Modellrechnungen (CRISTOPH, S. 39), wurden durch das Institut für Hydrologie der GSF Neuherberg in den 4 auf der Kippe Cospuden befindlichen Gütepegeln im Abstand von einem Jahr Einbohrlochtracierungen mit dem Isotop ^{82}Br vorgenommen (MÜLLER, 1998).

Am Beispiel des Pegels RCO4 werden die Ergebnisse der Vergleichsmessungen im Zeitraum 8/97 und 7/98 präsentiert (Tab.1.). Der Wasserstand in diesem Pegel befand sich 1997 bei 21.8 m unter ROK und 1998 bei 18.5 m unter ROK (verstärkte Fremdfutung ab 3/98).



Profil #1, 2 m über Wasserspiegel (13.11.98)
 a) Pseudoschnitt der Messung vom 13.11.98
 b) Pseudoschnitt der Messung vom 18.12.98
 c) Quotient der Messungen a/b in Pseudoschnittsdarstellung
 d) Inversion des Quotienten a/b

Profil #2, 4 m über Wasserspiegel (13.11.98)
 a) Pseudoschnitt der Messung vom 13.11.98
 b) Pseudoschnitt der Messung vom 18.12.98
 c) Quotient der Messungen a/b in Pseudoschnittsdarstellung
 d) Inversion des Quotienten a/b

Profil #1, 6 m über Wasserspiegel (13.11.98)
 a) Pseudoschnitt der Messung vom 13.11.98
 b) Pseudoschnitt der Messung vom 18.12.98
 c) Quotient der Messungen a/b in Pseudoschnittsdarstellung
 d) Inversion des Quotienten a/b

Abb. 8: Geoelektrische Quotiententomographie zur Beobachtung des Eindringens von Wasser aus dem See in die Kippe Cospuden

Teufe (m)	Filtergeschw. Aug 97 (m/d)	Filtergeschw. Jul 98 (m/d)	Richtung Aug 97 0°= Nord(°)	Richtung Jul 98 (°)
47.8	0.03	0.01	245	225
48.5	0.02	0.01	230	290
49.5	0.07	0.06	180	270

50 m unter ROK =63m NN

Tab.1: Einbohrlochtracermessungen am Pegel RCO4

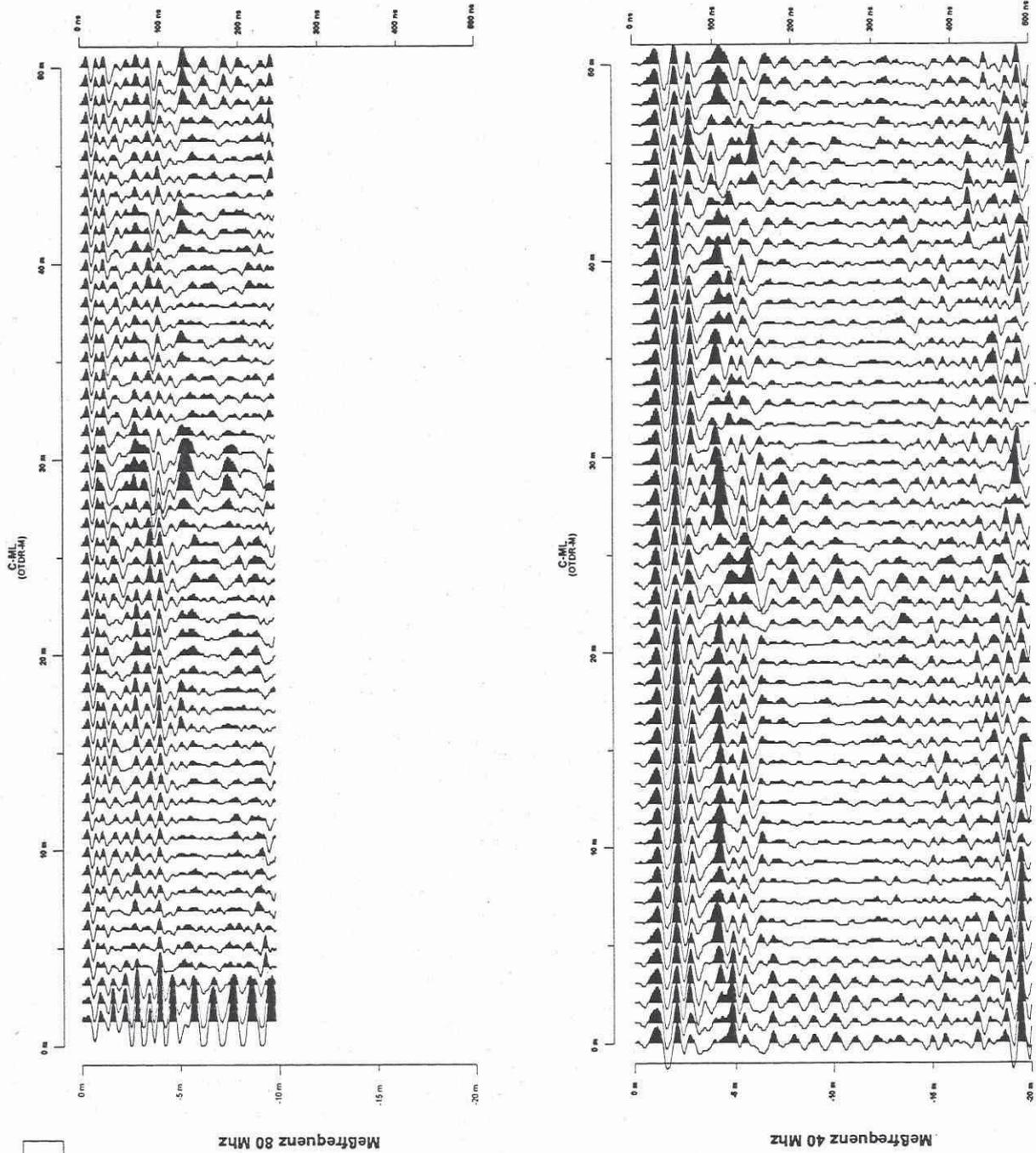
Zum Zeitpunkt beider Messungen stand der Seewasserspiegel mit 85 m NN bzw. 97 m NN deutlich oberhalb der Filterstreckenteufe des Pegels. Die ermittelte maximale Abstandsgeschwindigkeit (bei Porosität = 25 %) beläuft sich ebenfalls auf 0.3 m /d. Eine Fortführung der Messungen wird vorerst nach Einstellung des hydraulischer Gleichgewichtes zwischen Restlochsee und Kippe angestrebt.

Aus Aufzeichnungen der zunächst eingesetzten dynamischen Porenwasserdruckmessungen-Messungen [4] lassen sich keine Aussagen zur Wasserverteilung im Kippenkörper ableiten. Die aufgezeichneten hohen Druckwerte resultieren aus dem „Gebirgsdruck“ des bindigen Kippenmaterials auf den Drucksensor. Auf der Grundlage eines Dissipationstestes, der im November 1998 zwischen den Meßstellen T2 und C-ML erfolgte, wurden derartige Überlagerungseffekte berücksichtigt und Druckabfallkurven bis zur Einstellung des hydrostatischen Enddruckes aufgenommen (HEITMANN, 1998). In rölligen Bereichen dauerte dieser Vorgang nur wenige Minuten, in bindigen Zonen dagegen mehrere Stunden an.. Die aus Meßteufe und Druckwerten berechneten Grundwasserstände variieren um den Rohrwasserstand einer benachbarten Meßstelle. Im Untersuchungsbereich dürfte die Kippe unterhalb der Teufe 16-18m weitestgehend aufgesättigt sein.

Um die aus den Porendruckmessungen und Pegelständen abgeleiteten Grundwasseroberfläche zu belegen, wurden weitere geophysikalische Untersuchungen durchgeführt. Geoelektrische Dipol-Dipol-Messungen auf zwei Profilen am C-ML zeigen deutlich die inhomogene Struktur der Kippe, erreichen aber nicht die erforderliche Eindringtiefe. Als weitere Methode wurde RADAR auf diesen Profilen eingesetzt. Verwendet wurde ein RADAR-Gerät vom Typ SIR System-2 mit einer Multiple Low Frequency Antenna Modell 3200. Damit können niedrige Frequenzen verwendet werden, die in bindigen Materialien (hohes ϵ_r) noch ordentliche Eindringtiefen aufweisen. Gemessen wurde mit den Frequenzen 40 Mhz und 80 Mhz im Stepmodus, an jedem Meßpunkt wurde 32-fach gestapelt. Damit erhöht sich das Signal-Rausch-Verhältnis um einen Faktor 5,7. Für die Abschätzung der relativen Dielektrizitätskonstanten zur Tiefeneichung wurde das Bohrprotokoll C-ML herangezogen. Den einzelnen Schichten wurden typische ϵ_r zugeordnet und dann entsprechend der Schichtmächtigkeiten das gewichtete Mittel gebildet. Ergebnis ist ein mittleres ϵ_r von 13,8. Wegen der inhomogenen Verhältnisse kann keine Geschwindigkeitsanalyse für einzelne Schichten erfolgen, weshalb die Tiefenskala der RADAR-Messungen nur als grobe Näherung gültig ist.

Gut sichtbar in den RADAR-Daten ist die oberflächennahe Reflexion der Deckschicht. Im zentralen Bereich gibt es Reflexionen bis in größere Tiefe, die vermutlich auf den Ausbau des C-ML zurückzuführen sind. Ausgeprägte Schichtreflektoren fehlen weitgehend, was aufgrund der Kippenstruktur zu erwarten ist. In einer Tiefe von ca. 18m gibt es eine durchgehende Reflexion, die eventuell mit dem im C-ML beobachteten Wasserspiegel in Zusammenhang steht. Wiederholungsmessungen und weiterführende Untersuchungen (z.B. geoelektrische Weitaufstellungen) müssen dies noch bestätigen, da es sich prinzipiell auch um Kabelreflexionen oder Multiple handeln könnte. Bei der Reflexion in 5 m Tiefe am

Profilmeter 40-45 handelt es sich vermutlich um bindiges Material, die tieferliegenden Reflexionen sind wahrscheinlich Multiple.



Kippe Cospuden

Universität Leipzig
 Institut für Geophysik und Geologie
 RADAR-Messungen

Feldmessungen:
 Datum: 10. August 1988
 Ort: Kippe Cospuden, Bohrung C-ML
 Profil 1, Ost-West-Richtung
 Bezugshöhe = 112,9 m NN
 Meßfrequenz: 80 MHz, 40 MHz
 Maßstab: 1:1000
 Bearbeiter: I. Brunner, E. Mör, H.-R. Gilsar

Auswertung:
 Datum: 30.10.1988
 Meßfrequenzen: 80 MHz, 40 MHz
 Bearbeiter: I. Brunner, E. Mör

Koordinaten:

C-ML	Phack 1
H 6500 842,9 m	H 6500 842,9 m
R 4022 842,9 m	R 4022 842,9 m
112,9 m NN	112,9 m NN
OTDR-5	Phack 2
H 6500 840,433 m	H 6500 840,433 m
R 4022 840,433 m	R 4022 840,433 m
112,9 m NN	112,9 m NN

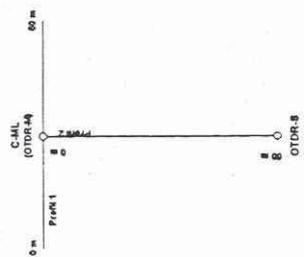


Abb. 9: RADAR-Messungen am Meßsystem C-ML

Über die verwendeten Gleichstrommessungen hinausgehend bieten Wechselstrommessungen zur Erfassung des komplexen elektrischen Widerstandes einen hoffnungsvollen Ansatz den Stoffwechsel des Schwefels vom Sulfid und Sulfat sowie den rückläufigen Prozeß unter sich einstellenden reduzierenden Bedingungen im Kippenkörper zu erfassen. Mit dem Verfahren der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) hat ULLRICH (Uni Leipzig) auf der Kippe Cospuden erstmals im Feldversuch erprobt den Sulfidschwefelgehalt im Kippenmassiv geophysikalisch abzuschätzen. Dispers im Untergrund verteilte Sulfide sind elektrisch aufladbar. Mit dem Verfahren SIP geschieht dies in mehreren Frequenzstufen. Die Phasenverschiebung zwischen Erregerstrom und Meßspannung ist ein Maß für die Konzentration des aufladbaren Materials im Untergrund. Auf der Kippe Cospuden wurden allerdings keine signifikanten Phasenverschiebungen für die erfaßte Meßtiefe 20m festgestellt. Das sind Anzeichen auf einen weitestgehenden Umsatz der Sulfide zu Sulfat am Untersuchungsstandort. Es ist beabsichtigt derartige Messungen auch im nicht aufgeschlossenen Vorfeld (Sulfidgehalt um 6%) der Tagebaue des Leipziger Südraumes durchzuführen.

Literatur

- FRIEDEL, S. (1997): „Grundlagenforschung zu geoelektrischen Untersuchungen für hydrogeologische Aufgaben in Altbergbaugebieten Mitteldeutschlands durch zerstörungsfreie Nachweismethoden“, Zwischenbericht der Universität Leipzig für das UFZ, Leipzig 1997.
- SCHRECK, M., NISHIGAKI, M., GLÄSER, H.R., CHRISTOPH, G., GROßWIG, S., HURTIG, E., KASCH, M., KÜHN, K. (1998): „Determination of Heat Production Zones at Open-Cast Mine Dump“, ASCE JOURNAL Of Environmental Engineering, Vol. 124, No 7.
- MÜLLER, J (1998): „Ergebnisse von Einbohrlochmessungen im Tagebau Cospuden bei Leipzig“ Ergebnisbericht des Institutes für Hydrologie der GSF für das UFZ, Neuherberg 1998.
- HEITMANN, R. (1998): Ergebnisbericht zu Drucksondierungen auf der Kippe Cospuden FUGRO-Markkleeberg.

Beiträge zum Workshop

**Prozesse und Stoffströme in
Kippensedimenten – Tagebaue
Zwenkau, Cospuden und Espenhain**

am 3. und 4. Juni 1999

Walter Gläßer, Gerhard Strauch, Peter Schreck und Elke Bozau
Sektion Hydrogeologie