

# Interurban – Hochauflösende multimethodische Geophysik zur Bestimmung der Wasser- und Stoffdynamik urbaner Standorte

M. Müller, O. Mohnke, J. Schmalholz und U. Yaramanci  
Technische Universität Berlin

## Einleitung

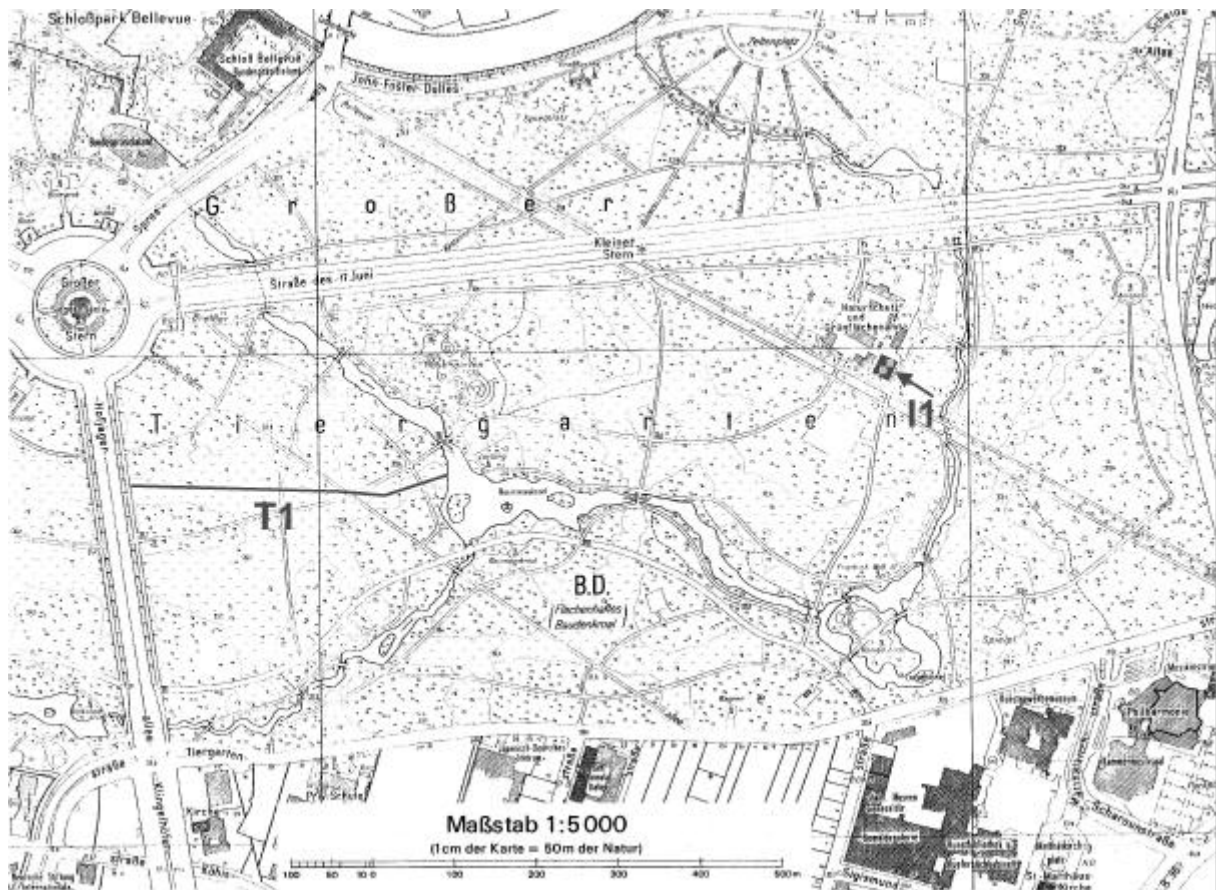
Stadtböden haben ein vergleichsweise geringes Alter, eine große Entwicklungsdynamik und sind durch eine starke kleinräumige Variabilität gekennzeichnet. Gerade die letzten beiden Punkte sind bisher nur unzureichend untersucht. Hinzu kommen im Vergleich zu naturnahen Räumen größere Veränderungen der Umgebungsbedingungen wie hoher Stoffeintrag oder extremer Wasser-, Stoff- und Wärmehaushalt. Der Wasser- und Stofftransport, die räumliche Variabilität sowie Veränderungen im Oberboden sind daher die zentralen Fragestellungen der DFG Forschergruppe Interurban in Berlin. Hauptziel der Forschergruppe ist es, die Umsetzungsprozesse auf urbanen Standorten zu charakterisieren und den Stofftransport zu bestimmen. Dazu sind die Weiterentwicklung und die kombinierte Anwendung neuer Methoden, sowie die fachübergreifende Analyse der Zusammenhänge von Prozessen im Untergrund erforderlich. In der ersten Projektphase werden Feld- und Laboruntersuchungen der beteiligten Fachgebiete (Standortkunde, Angewandte Geophysik, Wasserreinhaltung, Umweltchemie, Mikrobiologie und Bodenzologie) auf einem Profil und zwei Intensivflächen durchgeführt.

## Ziele

Aus den Zielen der Forschergruppe ergeben sich spezielle Anforderungen an die Geophysik: Die Entwicklung und Erprobung eines nichtinvasiven geophysikalischen Verfahrenskonzeptes zur verlässlichen Abbildung des Wasserhaushaltes und wichtiger Strukturparameter. Neben den Standardverfahren wie Geoelektrik und ground penetrating radar (GPR), kommt die surface nuclear magnetic resonance (SNMR) zum Einsatz. Mit SNMR ist erstmals von der Oberfläche aus eine direkte Ermittlung des Wassergehaltes und der effektiven Porengrößen möglich. Ziel ist es, die SNMR in Mess- und Auswertetechnik weiterzuentwickeln, um das Auflösungsvermögen im oberflächennahen Bereich zu erhöhen, sowie ein besseres Verständnis der gemessenen Amplituden und Abklingzeiten in Kombination mit NMR-Labor-Messungen zu bekommen. Für die Geoelektrik und das GPR bedarf es den Einsatz neuer Verfahren zur Inversion und das optimierte Einbinden von time domain reflectometry (TDR) Messungen. Vor allem ist es notwendig, die grundlegenden Zusammenhänge zwischen den NMR-Parametern, der komplexen elektrischen Leitfähigkeit, des komplexen Dielektrizitätskoeffizienten und den Porenstrukturgrößen aufzudecken bzw. diese für die hier vorliegenden heterogenen Böden und Standortbedingungen zu spezifizieren, um die Feldmessungen in Strukturgrößen zu überführen.

## Die Messgebiete

Zur Untersuchung wurden zwei typische urbane Flächen ausgewählt. Das Messgebiet **Tiergarten**, eine großstädtische Parkanlage (Abb. 1) mit intensiver Nutzung durch Fußgänger, Freizeitsportler und Großveranstaltungen (Love Parade), gliedert sich in zwei Teilbereiche: Zum Einen ein Profil, das von einer der am stärksten befahrenen Straßen Berlins (Hofjägerallee) ca. 400 m in den Park hineinreicht (T1). Zum Anderen eine Intensivfläche (I1), auf der zusammen mit hochauflösender Geophysik und bodenphysikalischen Langzeitmessungen die kleinräumige Stoffdynamik bestimmt werden soll. Das Messgebiet **Buch** liegt auf ehemaligen Rieselfeldern am Stadtrand von Berlin, auf denen bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts Abwässer Berlins ungeklärt versickert wurden. Der Boden ist dort hochgradig mit Schwermetallen und organischen Abfällen kontaminiert.



**Abb. 1:** Karte der Lokationen im Tiergarten mit dem Profil (T1) und der Intensivfläche (I1).

**Abb. 2:** Kleinräumige DC – Geoelektrik. Miniatur Geoelektrik (Kamm) bestehend aus 40 isoliert auf einem Stahlrahmen angebrachten Stahlspießen ( $\varnothing = 5 \text{ mm}$ ) mit einem Elektrodenabstand von 5 cm. Durch das Brett wird eine gleichmäßige Eindringtiefe der Elektroden gewährleistet.



### Methodische Neuerungen

Die notwendigen methodischen Neuerungen für die Anwendung und Interpretation hochauflösender Geophysik betreffen alle Teilbereiche von der Sensorik/Geräteseite über die Datenaufnahme bis hin zum Processing und der Interpretation.

#### A) Gleichstromgeoelektrik & Komplexe Leitfähigkeit (SIP)

1. Anpassung der Auslagen an hochauflösende Fragestellung durch eine Multielektrodenauslage mit geringem Sondenabstand (Kamm, Abb. 2).
2. Berechnung des Einflusses der Elektroden bei kleinen Auslagen und entsprechende Anpassung der Modellierung.
3. Spektrale Induzierte Polarisation (SIP) Messungen mittels des Kamms und einer Rammsonde.

## **B) GPR & TDR**

1. Zusätzliches einbringen von Metallplatten/Gittern/Stäben in einer bekannten Tiefe in den Untergrund, um die zeitliche Veränderung der Laufzeiten mit dem Wassergehalt zu korrelieren. Dazu ist es nötig, die optimale Diffraktorausdehnung in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften und der Antennenfrequenzen zu bestimmen.
2. Untersuchung der Signal Amplituden analog zu "Amplitude vs. offset" Analysen in der Seismik, um die Informationen aus der Dämpfung zu nutzen.
3. Entwicklung alternativer Messverfahren zur Bestimmung des Dielektrizitätskoeffizient in verschiedenen Tiefen, z.B. die Verwendung des GPR als "TDR-ähnliches" Instrument.
4. Nutzung der Bodenwelle (im Boden geführte Welle an der Luft-Boden-Grenze) zur Bestimmung des oberflächennahen Wassergehaltes. Für die angestrebten Antennenoffsets (kleiner einem Meter) müssen die bisherigen theoretischen Modelle der Wellenausbreitung neu überprüft werden.
5. Überprüfung bekannter und gegebenenfalls Herleitung neuer Mischungsmodelle zur Berechnung des volumetrischen Wassergehaltes aus den gemessenen Dielektrizitätskoeffizienten.

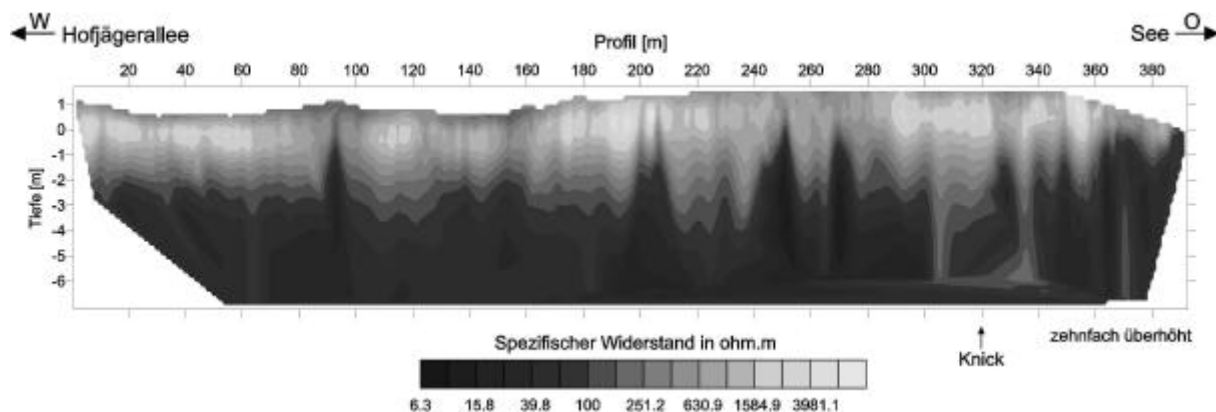
## **C) SNMR**

1. Messung mit kleineren Spulen und Pulsmomenten zur Erhöhung der Auflösung im oberflächennahen Bereich.
2. Verbesserung des S/N Verhältnisses zur Erhöhung der Datenqualität des Signals bei kleineren Spulen, um Messungen im urbanen Bereich überhaupt zu ermöglichen:
  - I) Durch digitales Filtern und selektives Stapeln des Signals.
  - II) Durch lokale Rauschkompensation und anderen "Remote Reference" Techniken.
3. Spektrale Auswertung der NMR Daten, um Aussagen über Porenradienverteilungen bei Feldmessungen treffen zu können (siehe auch Mohnke et al., dieser Band).
4. Messungen der longitudinalen Relaxation (T1), um den Einfluß von Feldinhomogenitäten zu minimieren.
5. Entwicklung einer auf kleine Erkundungstiefen optimierten Mini-SNMR Apparatur.

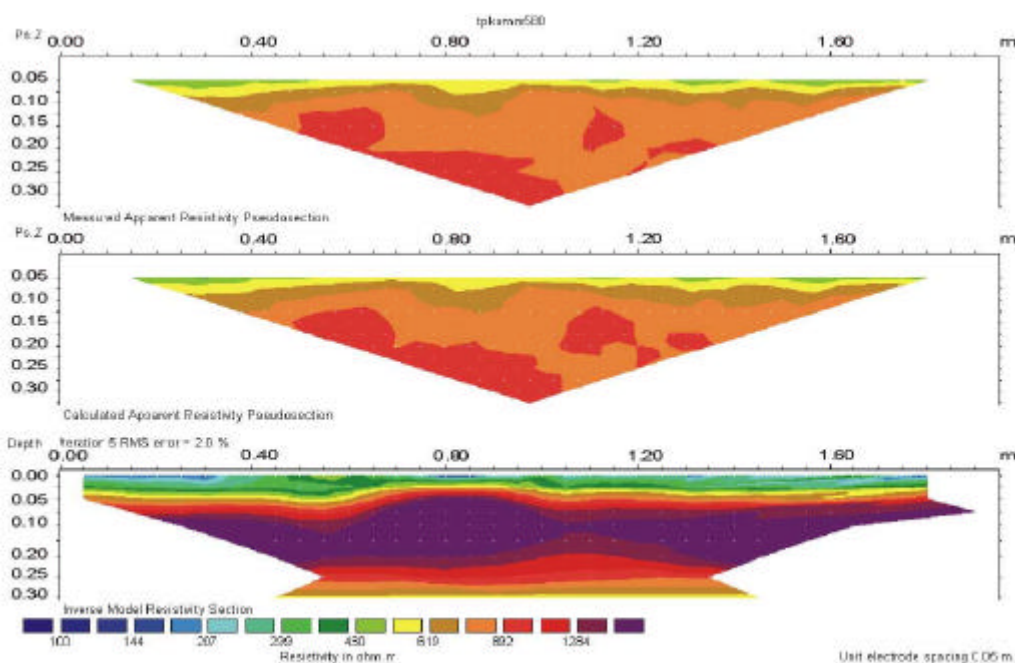
## **Erste Ergebnisse**

### **A) Gleichstromgeoelektrik & Komplexe Leitfähigkeitsmessungen (SIP)**

Auf dem Tiergarten Profil T1 (Abb. 1) wurden zunächst über eine Gesamtlänge von 390 m DC - Geoelektrik Sektionsmessungen (Wenner) mit einem Meter Elektrodenabstand durchgeführt, um einen Überblick über die langwelligen Inhomogenitäten zu bekommen. Abb. 3 zeigt das Profil T1: Es zeichnet sich deutlich der Verlauf des Grundwasserspiegels in einer Tiefe von etwa 3 m ab. Des weiteren sind oberflächennahe Bereiche mit höherer Bodenfeuchtigkeit durch ihre geringeren spezifischen Widerstände gekennzeichnet (z.B. Profilmeter 85-95, 250). Neben den Messungen auf dem Profil T1 werden auf der im Berliner Tiergarten eingerichteten Intensivfläche II (Abb. 1) im Rahmen der geplanten Langzeitbeobachtungen hochauflösende DC - Geoelektrik und SIP-Sektionsmessungen durchgeführt. Erste im Sommer 2001 durchgeführte DC - Messungen mit dem Kamm zeigen dabei eine vertikal inhomogene Widerstandsverteilung innerhalb der ersten 30 cm des Untergrundes (Abb. 4).



**Abb. 3:** DC - Geoelektrik Wenner-Sektion auf dem Tiergarten-Profil (T1). 50 Elektroden, Elektrodenabstand 1 m, topographisch korrigiert. Höhe bezogen auf den Wasserspiegel im See.

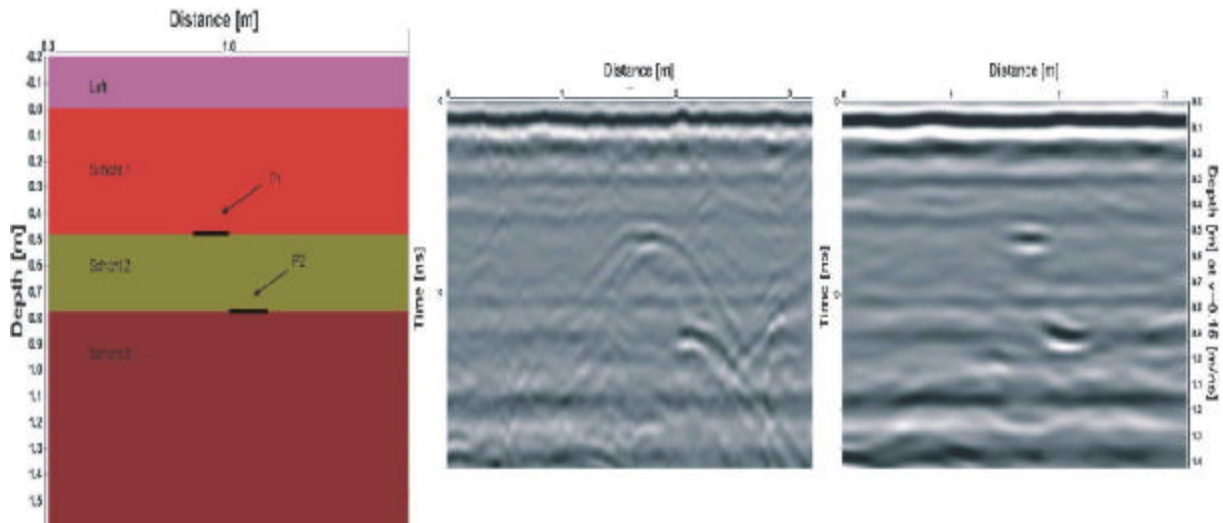


**Abb. 4:** Kleinräumige DC - Geoelektrik Wenner-Sektion mit dem Kamm im Tiergarten (I1). Dabei kann die vertikale Schichtung als Abfolge von Grasnarbe, Mutterboden und quartären Flußsanden interpretiert werden.

### B) GPR Messungen

Um in verschiedenen Tiefen Referenzpunkte zu haben, wurden zwei Metallplatten in 47 cm Tiefe (P1) und in 77 cm Tiefe (P2) eingebracht (Abb. 5, links). Diese fest eingebrachten Reflektoren gewährleisten ausreichende Reflektionsamplituden (Abb. 5, mitte). Dadurch können Änderungen der Abstrahlcharakteristik bei Verwendung unterschiedlicher Antennen oder Veränderung der Bodenbedingungen wie Feuchte korrigiert werden. Zudem kann durch Migration eine erste Aussage über die örtliche integrale Ausbreitungsgeschwindigkeit (Abb. 5, rechts) der elektromagnetischen Wellen getroffen werden. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mit einer "quasimonostatischen" Antenne, deren effektive Sendefrequenz bei ca. 850 MHz liegt.



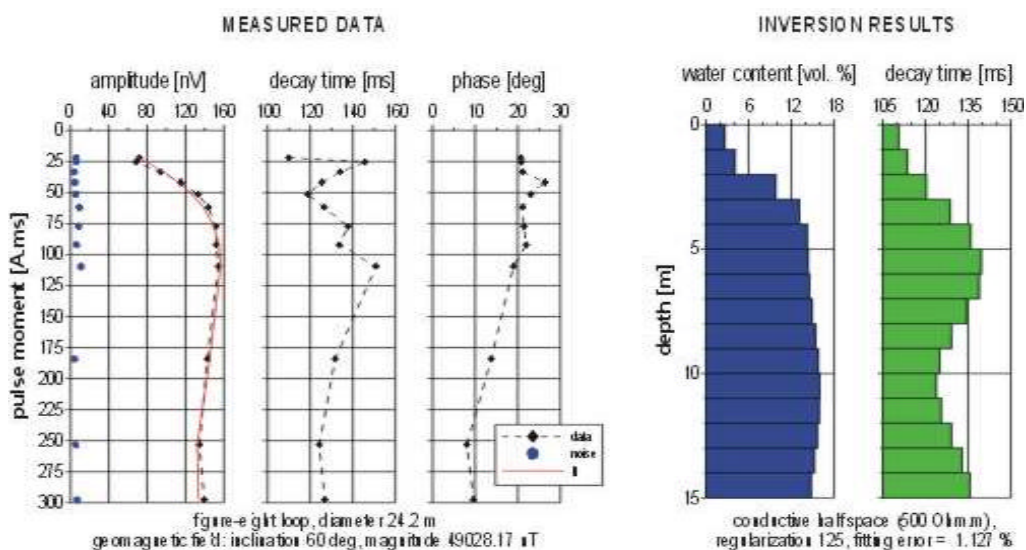


**Abb. 5:** Modell der beiden eingebrachten Metallplatten auf dem Messgebiet Buch (links). Rohdaten (Mitte) und prozessierter Datensatz (rechts) eines Profils über die zwei Metallplatten. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit wurde im prozessierten Datensatz zur Migration die obere Platte verwendet.

### C) SNMR Messungen

Auf dem Gelände Buch konnten erste erfolgreiche SNMR Messungen auf Berliner Stadtgebiet durchgeführt werden (Abb. 6). Mit dem Ziel, das Auflösungsvermögen im oberflächennahen Bereich zu erhöhen, wurde dabei eine für SNMR Messungen sehr kleine Auslage (Kreisspule, Durchmesser 24,2 m) verwendet.

Konform mit Informationen aus Pegelmessungen zeigen die Inversionsergebnisse den Grundwasserspiegel in einer Tiefe von drei Metern. Der Wassergehalt wird mit etwa 15 Vol. % (mobiles Wasser) leicht unterschätzt und muß daher noch mit Labordaten kalibriert werden. Die Abklingzeiten korrespondieren dabei im Bereich des Aquifers mit für diese Lokation typischen fein- bis mittelsandigem Material.



**Abb. 6:** SNMR Sondierung am Standort Buch. Rechts: Messdaten – Signalamplituden und Noise, Abklingzeiten ( $T_2^*$ ), Signalphasen. Rechts: Ergebnisse der 1D (Smooth) Inversion – Wassergehalt, Abklingzeiten.

## **Ausblick**

Erste Ansätze einer Adaption geophysikalischer Verfahren auf die spezielle Fragestellung dieses Projektes waren erfolgreich. In diesem Zusammenhang konnten

- erste kleinräumige SNMR Messungen in stadtnahem Gebiet
- Messungen der Bodenfeuchte mit GPR in Kombination mit TDR
- hochauflösende DC - Geoelektrik (cm Skala) Sektionsmessungen

realisiert werden. Im weiteren Verlauf des Projektes ist im Frühjahr 2002 für die Langzeitüberwachung von Umsetzungsprozessen und Stofftransport die Einrichtung permanenter Versuchsfelder durch die Standortkunde auf den einzelnen Untersuchungsgebieten vorgesehen. Im Sinne einer fachübergreifenden detaillierten Analyse der Zusammenhänge von Prozessen im Untergrund umfassen die im Rahmen der Geophysik vorgesehenen hochauflösenden (dm Skala) Untersuchungen:

- SIP Messungen in Kombination mit DC - Geoelektrik und GPR
- Joint – Interpretation bzw. Inversion von GPR und TDR
- Tomographische GPR und Geoelektrik Messungen
- kleinräumige SNMR Messungen von  $T_2$  und  $T_1$  Zeiten in Kombination mit Labor NMR