



## Untersuchung von Fehlerquellen bei CMD Explorer Messungen: Detektion einer städtischen Wasserleitung in Köln

N. Pützer, B. Tezkan, P. Yogeshwar  
Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln

puetzer@geo.uni-koeln.de



### Motivation und Messgebiet

Oberflächennahe elektromagnetische Induktionsverfahren (EMI) zeichnen sich durch hohe Effizienz und Mobilität aus. In kurzer Zeit lassen sich große Flächen kartieren, was einen schnellen Überblick über das Messgebiet ermöglicht. Da es sich bei dem CMD Explorer von GF-Instruments um ein relativ neues Messgerät handelt, wurden im Rahmen dieser Arbeit Fehlerquellen wie beispielsweise

verschiedene Tragehöhen, Neigungen und Schrittgeschwindigkeiten genauer untersucht. Es wurde ein Messgebiet auf einer Grünfläche des Hiroshima-Nagasaki-Parks am Aachener Weiher in Köln ausgewählt, da dort in ca. 1 m Tiefe eine aktive städtische Wasserleitung aus metallischem Material (mit Kunststoff ummantelt) verläuft. Es wurden zwei Profile in SW-NO Richtung ausgelegt, P1 mit 50 m Länge und P2 mit 10 m Länge. Unterschiedliche Messpunktstände wurden auf den Profilen für verschiedene Tests verwendet (0,5 m und 1 m).



Abb. 1: Übersicht zur Lage und zur Aufteilung des Messgebietes am Aachener Weiher.

### Messmethode

Der CMD Explorer besteht aus einer Senderspule sowie drei Empfängerspulen und arbeitet mit einer festen Sendefrequenz von 10 kHz. Es kann eine kontinuierliche oder eine Punktmessung vollzogen werden. Darüber hinaus besteht die Wahl zwischen horizontal koplplanarer (HCP) oder vertikal koplplanarer (VCP) Spulenausrichtung. Dabei beträgt die maximale Erkundungstiefe 6.7 m in der horizontal koplplanaren Spulenauslage (HCP). Aufgezeichnet wird die Quadratur und die Inphase, wobei ersteres proportional zur scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und letzteres proportional zur magnetischen Suszeptibilität des Untergrundes ist. Zur Kalibrierung wurde über Profil 1 eine Geoelektrik-Messung vorgenommen und mit Hilfe der Software *EMI-Inversion* wurden die CMD Daten kalibriert (Mester et al., 2011).

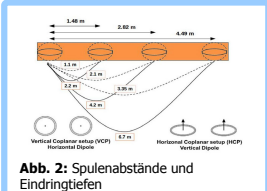


Abb. 2: Spulenabstände und Eindringtiefen

Die Wasserleitung befindet sich bei Profilmeter 28 – 29.

### Fehlerquellenanalyse

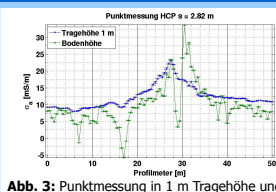


Abb. 3: Punktmessung in 1 m Tragehöhe und in Bodenhöhe gemessen in HCP beispielhaft für Spulenabstand  $s = 2.82$  m. Leitung bei Profilmeter 28-29

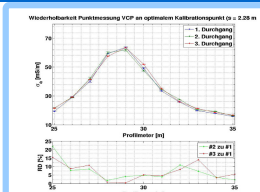


Abb. 4: Wiederholung Punktmessung in 1 m Tragehöhe in VCP für  $s = 2.82$  m. Leitung bei Profilmeter 28-29

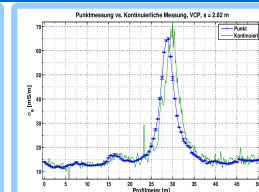


Abb. 5: Vergleich von Punktmessung und kontinuierlicher Messung in VCP mit Spulenabstand  $s = 2.82$  m

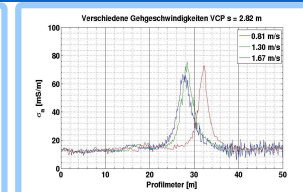


Abb. 6: Kontinuierliche Messung mit verschiedenen Schrittgeschwindigkeiten in VCP für  $s = 2.82$  m Spulenabstand

Die Wasserleitung konnte mit dem CMD Explorer detektiert werden. In Profilmittigkeit ist deutlich die gutleitende Struktur zu erkennen. Die Oszillation der Messdaten in Bodenhöhe aus Abb. 3 lassen darauf schließen, dass Punktmessungen in Bodenhöhe im Vergleich zu Punktmessungen in 1 m Tragehöhe sensitiver für kleinräumige Strukturen in Oberflächennähe sind und zu weniger glatten Daten führen. Eine wiederholte Punktmessung hat ergeben, dass im Mittel Messfehler von ca. 7 % entstehen. Darüber hinaus zeigt der Vergleich zwischen Punkt- und kontinuierlicher Messung, dass beide Methoden ähnliche Ergebnisse liefern. Bei der kontinuierlichen Messung muss jedoch auf eine konstante Schrittgeschwindigkeit geachtet werden, da es sonst zu Verzerrungen der Messergebnisse kommt (vgl. Abb. 6). Wird das Messgerät nicht parallel zum Erdboden getragen oder die kalibrierte Tragehöhe nicht eingehalten, führt das zu Messfehlern (vgl. Abb. 7 und 8). Die relative Differenz zwischen einer Tragehöhe von 1 m und 0.95 m beträgt 6.4 %. Die Neigung des Messgerätes aus Abb. 8 hat eine Abweichung von 1.9 % bei einem Winkel von 5°.

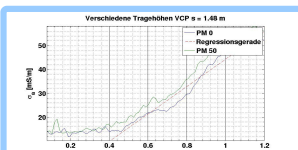


Abb. 7: Kontinuierliche Messung an Profilmeter 0 und 50, wobei das Gerät während der Messung von einer Starthöhe h bis zum Boden abgesenkt wurde.

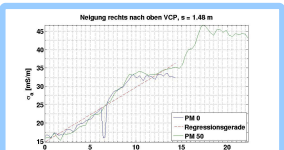


Abb. 8: Kontinuierliche Messung an Profilmeter 0 und 50, wobei die rechte Seite des Gerätes während der Messung nach oben geneigt wurde.

### Inversionsergebnisse der CMD Daten

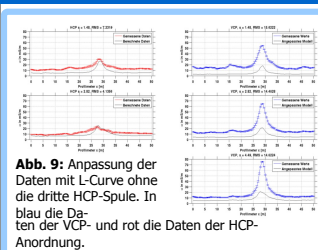


Abb. 9: Anpassung der Daten mit L-Curve ohne die dritte HCP-Spule. In blau die Daten der VCP- und rot die Daten der HCP-Anordnung.

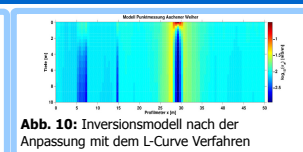


Abb. 10: Inversionsmodell nach der Anpassung mit dem L-Curve Verfahren

Für die Inversion wurde die Software *EMIDFM* verwendet (Farquharson et al, 2000). Zur Bestimmung des Trade-Off-Parameters wurde das L-Curve Verfahren ausgewählt. Da unkalibrierte Daten invertiert wurden, wodurch der Shift in Abb. 9

hervorgehoben wird, ist eine quantitative Aussage über die Leitfähigkeitsverteilung schwer zu treffen. Dennoch ist im Modell ein guter Leiter in Oberflächennähe dargestellt, der auf die Wasserleitung schließen lässt.

### Kalibrierung der EMI-Daten

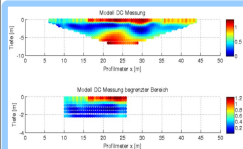


Abb. 11: Geoelektrik-Modell und der ausgewählte Bereich von 10 m bis 26 m, der für die Kalibrierung genutzt wurde.

Zur Kalibrierung der Daten wurde das Programm *EMI-Inversion* verwendet, das ausgehend von einem DCR Modell synthetische EMI Daten berechnet. Diese werden gegen die gemessenen CMD Daten aufgetragen.

Anschließend wird die Regressionsgerade ermittelt, welche die Kalibrierungsfaktoren liefert. Für die

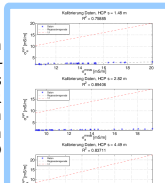


Abb. 12: Streudiagramm mit Regressionsgeraden, HCP

Bereich aus dem ERT-Modell ausgewählt (vgl. Abb.11). Hier konnte nicht das gesamte ERT-Modell verwendet werden, da DCR die Leitung wegen der Plastikummantelung als schlechten Leiter repräsentiert. Der Gütefaktor  $R^2$  liegt bei HCP zwischen 0.76 und 0.89 und zeigt somit eine gute Korrelation der Daten ( $> 0.85$ ). Bei VCP liegen die  $R^2$ -Werte deutlich unter 0.85. Unter Beachtung der Skalenunterschiede ist das Modell der kalibrierten Daten sehr glatt im Vergleich zum unkalibrierten Modell. Dennoch ist auch hier eine gut leitende Struktur in Profilmittigkeit abgebildet.

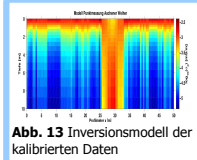


Abb. 13 Inversionsmodell der kalibrierten Daten

### Zusammenfassung

Die Fehlerquellenanalyse hat hervorgebracht, dass der CMD Explorer empfindlich auf verschiedene Tragehöhen und Neigungen reagiert. Darüber hinaus muss auf eine korrekte Geräteeinstellung (Messung in Boden- bzw. Hüfthöhe) geachtet werden und eine konstante Schrittgeschwindigkeit bei kontinuierlichen Messungen eingehalten werden. Ein Messfehler von 7% wurde bei wiederholten Punktmessungen berechnet, welcher deutlich höher ist als der vorgegebene Stackingfehler (<2%). Das Modell der unkalibrierten Daten ist plausibel. Die Kalibrierung mit DCR ist an dieser Stelle problematisch, da die Leitung im DCR-Modell als schlechter Leiter repräsentiert wird.

### Referenzen

- Micheli J.D., *Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers*, Geonics Limited, Technical Note TN-4, 1980.
- Lawson F., van der Kwaak J., Ring J., Andre F., Haghajati D., Halpern J.A., Lambert S., Wehmerheller L., van der Berght J. und Verecken H., *Electromagnetic induction calibration using apparent electrical conductivity modeling based on electrical resistivity tomography*, Near Surface Geophysics, 6:353-361, 2010.
- von Hellermann C., *Multi-Layer Conductivity Inversion of Calibrated Multi-Configuration Electromagnetic Induction Measurements*, Aachen: TU DLR, ETH Zürich, RWTH Aachen und Forschungszentrum Jülich GmbH, Institute of Near Surface Geophysics, 2013.
- Farquharson C., *Inversion and modeling of applied geophysical electromagnetic data*, Background for Program EMIDFM, IBC, Geophysical Inversion Facility, 2000.
- Mester A., van der Kwaak J., Zimmermann L., Verecken H., *Quantitative Two-Layer Conductivity Inversion of Multi-Configuration Electromagnetic Induction Measurements*, Volume Zone Journal, 10, 1373-1380, 2011.