

Detektion oberflächennaher Störkörper mit elektromagnetischen Methoden - ein Vergleich zwischen Nano-TEM- und EM34-Messungen

Jan Köhler, Bülent Tezkan
Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit ist es, verschiedene elektromagnetische Methoden auf ihre Eignung zur Detektion leitfähiger Störkörper in geringer Tiefe zu testen. Bisher wurden entsprechende Messungen mit einer Nano-TEM-Apparatur und dem Zweispulensystem EM34 von Geonics durchgeführt. Zur Vorbereitung wurden Profile über eine Wasserleitung in Köln vermessen. Der in diesem Fall als unendlich ausgedehnt angenommene gute Leiter verursachte dabei für beide Methoden deutliche Leitfähigkeitsanomalien. Desweiteren wurden Messungen auf einem Testgelände in Greven bei Münster durchgeführt. Hier waren zwei bombenähnliche Störkörper von ca. 1 m Länge in ca. 2 bzw. 5 m Tiefe vergraben worden, welche ebenfalls mit den beiden Messgeräten detektiert werden sollten. Die TEM-Messungen beinhalteten zunächst eine Kartierung mit einer Sendespule von $10 * 10 \text{ m}^2$ und einer zentrierten Empfängerspule von $0,5 * 0,5 \text{ m}^2$. Außerdem wurde bei stationär verbleibendem Sender und wanderndem Empfänger gemessen. Das EM34 wurde bei einem Spulenabstand von 10 m sowohl im Vertikal- als auch im Horizontal-Dipol-Modus verwendet. Die Störkörper riefen erwartungsgemäß geringere Anomalien als die Wasserleitung hervor und konnten mit dem Zweispulensystem nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. Die Nano-TEM-Methode lieferte zumindest für den flacher gelegenen Störkörper bessere Resultate und eine Lokalisierung war möglich.

1 Messmethoden und -Geräte

1.1 Transientelektromagnetik

Die Transientelektromagnetik wurde mit dem Sender NT-20 und dem Empfänger GDP32 (beide von Zonge Engineering) durchgeführt. Es wurde stets mit einem Sendeloop von $10 * 10 \text{ m}^2$ und einem Empfängerloop von $0,5 * 0,5 \text{ m}^2$, welcher sich zumeist im Zentrum des Sendeloops befand, gemessen. Dabei wurde der sogenannte Nano-TEM-Modus verwendet, welcher im Vergleich zum Zero-TEM-Modus mit geringeren Stromstärken (bis 3 A) arbeitet, was kürzere Abschaltzeiten bedeutet und somit die Erkundung geringerer Tiefen ermöglicht. Die vom Gerät gemessenen Transienten der induzierten Spannung können mittels Late-Time-Näherung in scheinbare Widerstände umgerechnet werden und somit für einzelne Zeitpunkte der TEM-Messungen die scheinbaren Widerstände entlang des jeweiligen Profils dargestellt werden.

1.2 Zweispulensystem EM34

Es wurde das EM34-3XL von Geonics verwendet. Dieses wurde von der WWU Münster zur Verfügung gestellt. Dabei wurde ausschließlich mit einem Spulenabstand von 10 m gearbeitet, da die ebenfalls möglich Auslagen von 20 m und 40 m für diesen Fall zu große Eindringtiefen zur Folge haben und für die Erkundung von Tiefen unter 10 m somit nicht sinnvoll erscheinen. Das Gerät gibt als Messwert direkt die scheinbare Leitfähigkeit des Untergrundes aus.

2 Testmessungen in Köln

Es wurden zunächst Messungen über einer metallischen Wasserleitung in Köln durchgeführt, um die Geräte zu überprüfen und ihre generelle Fähigkeit zur Detektion positiver Leitfähigkeitsanomalien in vergleichsweise geringer Tiefe zu testen. Die Wasserleitung befand sich dabei in einer Tiefe von ca. 2 m und kann näherungsweise als unendlich ausgedehnter guter Leiter angesehen werden. Es wurden jeweils Profile vermessen, welche annähernd senkrecht zur Wasserleitung verliefen.

2.1 Nano-TEM-Messungen

Die Nano-TEM-Messungen wurden als Kartierungsmessungen durchgeführt bzw. ausgewertet, was bedeutet, dass der Empfängerloop sich im Zentrum des Sendeloops befindet und jeweils die gesamte Messanordnung entlang des Profils fortbewegt wurde (siehe Kapitel 3.1) und jeweils für einen bzw. jeden Zeitpunkt der aufgezeichneten Transienten die ermittelten scheinbaren Widerstände gegen die Profilmeter aufgetragen wurden. Es wurden 13 Messpunkte mit einem Abstand von je 1 m vermessen. Abbildung 1 zeigt die aus den Transienten ermittelte scheinbare Leitfähigkeit entlang des Profils für den Zeitpunkt $1,986 \cdot 10^{-5}$ s. Die negative Widerstands-anomalie ist klar erkennbar und tritt erwartungsgemäß im Bereich des Verlaufs der Wasserleitung auf. Die Nano-TEM-Kartierungsmessungen erwiesen sich somit grundsätzlich als geeignet, Störkörper mit erhöhter Leitfähigkeit zu detektieren.

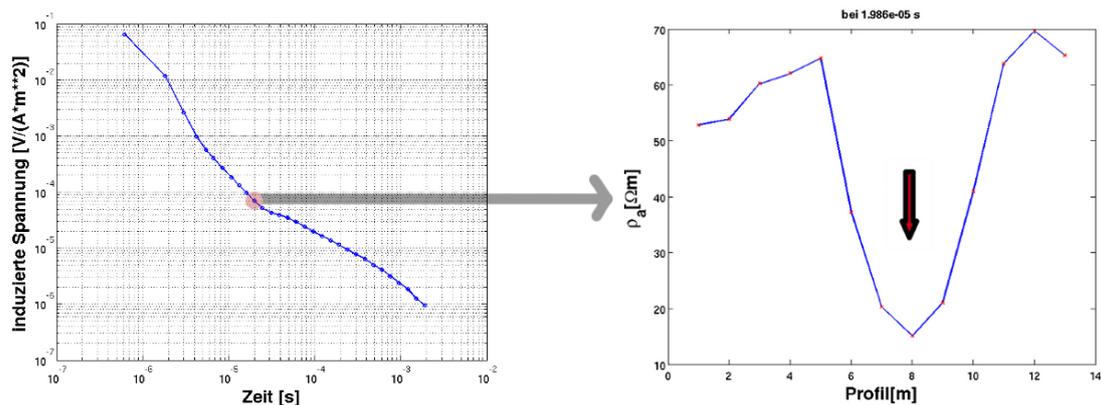


Abbildung 1: Ergebnisse der Nano-TEM-Kartierungsmessungen über der Wasserleitung, links ein exemplarischer Transient für einen Messpunkt, rechts der scheinbare Widerstand entlang des Profils für einen ausgewählten Zeitpunkt

2.2 EM34-Messungen

Mit dem EM34-Messgerät wurde ebenfalls überprüft, ob die Wasserleitung detektiert werden kann und außerdem, ob eine Ausrichtung von Sende- und Empfangsspule längs zum Profil oder quer zum Profil sinnvoller ist. Bei der Messung quer zum Profil, d.h. die Verbindungslinie zwischen Sende- und Empfangsspule verläuft senkrecht zum Profil, waren sowohl im Horizontal- als auch im Vertikal-Dipol-Modus ausgeprägte positive Leitfähigkeitsanomalien im Bereich der Wasserleitung zwischen Profilmeter 16 und 19 zu erkennen (Abb. 2). Das Einknicken der Leitfähigkeitskurve für den Vertikal-Dipol-Modus ist dabei durch die vom Gerät verwendete Näherung der kleinen Induktionszahlen zu erklären, welche bei den hohen Leitfähigkeiten der metallischen Leitung nicht mehr erfüllt ist (McNeill 1980).

Bei der Messung mit längs zum Profil ausgerichteten Spulen konnten hingegen keine erfolgsversprechenden Ergebnisse erzielt werden. Die Wasserleitung konnte nicht detektiert werden, teilweise war es nicht möglich, Messwerte zu erhalten. Dies ist eventuell ebenfalls auf die zuvor erwähnte Abweichung von der Näherung der kleinen Induktionszahlen zurückzuführen. Folglich wurde die senkrechte Ausrichtung der Spulen zum Profil für die weiteren Messungen als bevorzugte Messanordnung gewählt.

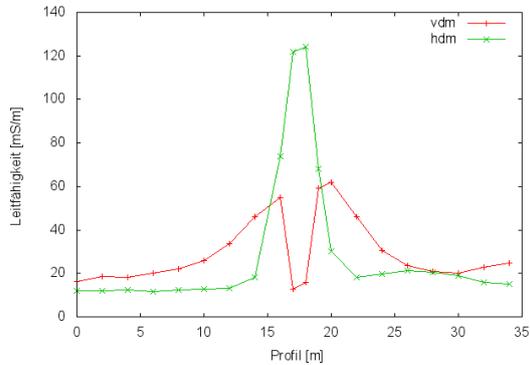


Abbildung 2: Scheinbare Leitfähigkeit aus den EM34-Messungen über der Wasserleitung

3 Messungen in Greven

Auf dem Testgelände in Greven, welches vom Unternehmen Tauber DeDeComp bereit gestellt wurde, waren zwei Störkörper in unterschiedlicher Tiefe vergraben, deren bekannte Positionen mit den elektromagnetischen Messungen bestätigt werden sollten. Es handelte sich dabei um ellipsoide Körper von ca. 1 m Länge und mit einem Durchmesser von ca. 0,70 m. Der eine Störkörper, im Folgenden Bombe 1, lag waagrecht in einer Tiefe von etwa 2 m, der zweite, im Folgenden Bombe 2, war bei einer senkrechten Ausrichtung in ca. 4,5 – 5,5 m vergraben.

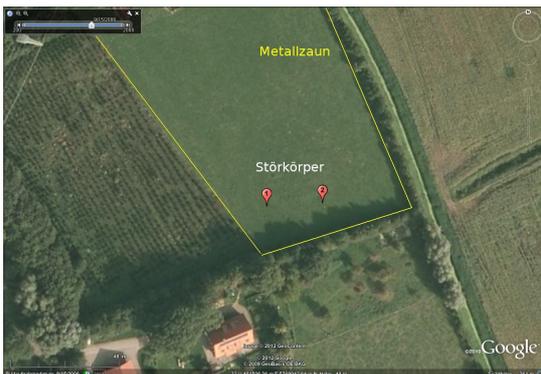


Abbildung 3: Übersicht über das Messgelände in Greven, Bombe 1 in 2 m Tiefe, Bombe 2 in 4,5 - 5,5 m Tiefe. Das Feld war von einem Metallzaun umgeben, welcher die Messungen teilweise beeinflusste

3.1 Nano-TEM-Messungen

Zunächst wurden wie bei den Tests in Köln über beiden Bomben Inloop-Messungen zu Kartierungszwecken durchgeführt. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen den Messaufbau. Die gesamte Anordnung wird dabei jeweils entlang des Profils um einen Meter fortbewegt. Es wurden je Bombe 21 Profilmesspunkte vermessen, wobei die Bombe jeweils in der Mitte des Profils, also bei 11 m, vermutet wurde.

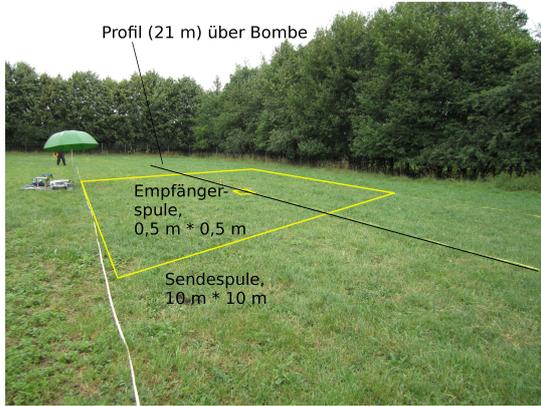


Abbildung 4: Messaufbau Nano-TEM-Messungen

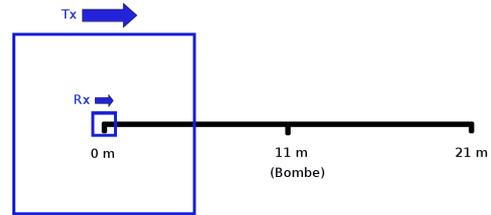


Abbildung 5: Schematischer Messaufbau der Nano-TEM-Kartierungsmessungen

In den Resultaten ist über Bombe 1 eine deutliche negative Widerstandsanomalie zu erkennen (Abb. 6). Dabei fällt jedoch auf, dass das Widerstandsniveau vor und hinter der Bombe sehr unterschiedlich ist. Dieses Verhalten ist auch bei Betrachtung der entsprechenden Transienten (Abb. 7) zu erkennen. Die Transienten hinter der Bombe knicken unter das Rauschniveau ab, ein Messverhalten, welches bei dem verwendeten Gerät bereits beobachtet wurde, allerdings nur bei Messungen in unterschiedlichen Polaritäten (Mollidor 2008). Bei den vorliegenden Messungen wurde die Polarität nur ein mal getauscht, bei Profilmeter 21. Der entsprechende Transient zeigt wiederum einen ähnlichen Verlauf, wie die Transienten aus dem Bereich vor der Bombe. Ob sich diese Ergebnisse reproduzieren lassen, soll bei weiteren Messungen überprüft werden.

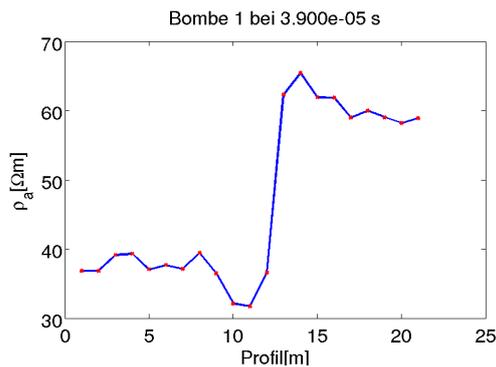


Abbildung 6: Scheinbarer Widerstand aus den Nano-TEM-Kartierungs-Messungen über Bombe 1 für einen ausgewählten Zeitpunkt

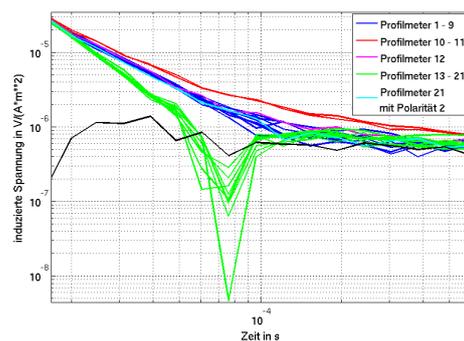


Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Verlauf der über Bombe 1 gemessenen Transienten, in schwarz das Rauschniveau

Anders als Bombe 1 konnte die tiefere und senkrecht gelagerte Bombe 2 mit den Nano-TEM-Messungen nicht detektiert werden. Es gilt hier zu prüfen, ob eine Messung im Zero-TEM-Modus, also die Betrachtung späterer Zeitpunkte der Transienten, ein besseres Ergebnis zur Folge hat.

Desweiteren wurden über Bombe 1 Messungen mit einer stationären Sendespule von $10 \times 10 \text{ m}^2$ und einer darin wandernden Empfangsspule von $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ durchgeführt. Der Messaufbau ist in Abbildung 8 dargestellt. Es wurde insgesamt bei drei verschiedenen Sendeloop-Positionen mit jeweils sieben Empfängerloop-Positionen gemessen. Die jeweiligen scheinbaren Widerstände sind ebenfalls in Abbildung 8 zu sehen. Wiederum ist bei Betrachtung der mittleren Position (blau, mit der Bombe in der Mitte des Sendeloops) eine negative Anomalie über der Bombe zu erkennen, jedoch zeigen die Ergebnisse der beiden weiteren Sendeloop-Positionen ein noch geringeres Widerstandsniveau als diese Anomalie. Es ist zu vermuten, dass die Bombe auch hier Einfluss auf die Messungen nimmt, da sie sich jeweils direkt unter dem Rand der Transmitterspule befindet.

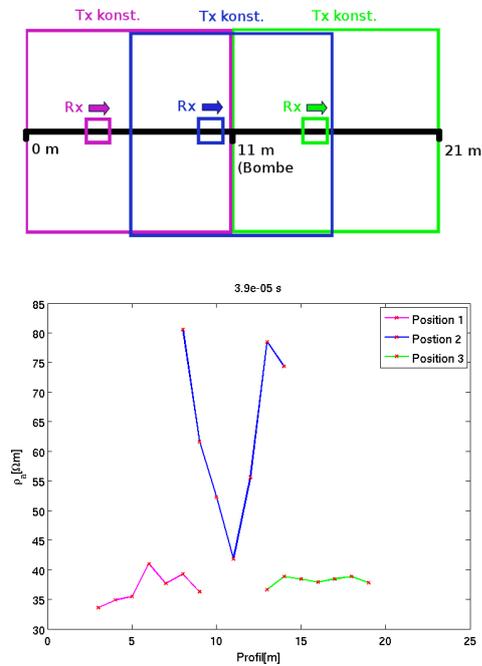


Abbildung 8: Schematischer Messaufbau der Nano-TEM-Messungen bei stationärer Sendespule und die zugehörigen Verläufe des scheinbaren Widerstands

3.2 EM34-Messungen

Mit dem EM34 wurden über beiden Bomben 30 m lange Profile vermessen. Der Messpunktabstand variierte dabei, so dass im Bereich der Bomben in geringeren Abständen gemessen wurde. Die Anordnung von Sende- und Empfangsspule ist den Abbildungen 9 und 10 zu entnehmen. Es wurde dabei wie erwähnt jeweils im Horizontal-Dipol-Modus, d.h. mit senkrecht auf dem Boden stehenden Spulen (siehe Abb. 9), und im Vertikal-Dipol-Modus mit waagrecht auf dem Boden aufliegenden Spulen gemessen.



Abbildung 9: Messanordnung der EM34-Messungen im Horizontal-Dipol-Modus

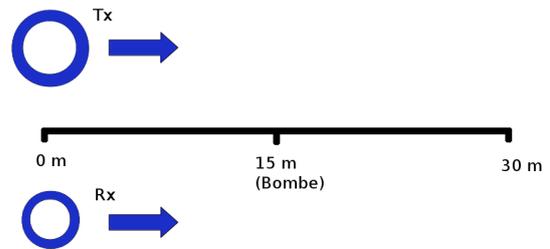


Abbildung 10: Schematischer Messaufbau der EM34-Messungen

Mit den EM34-Messungen konnte nur die tiefer gelegene Bombe 2 detektiert werden. Dies allerdings auch nur im Horizontal-Dipol-Modus. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse dieser Messung. Es ist eine positive Leitfähigkeitsanomalie zu erkennen, welche mit ca. 2 mS/m bzw. 8% jedoch relativ gering ausfällt. Nach Herstellerangaben ist bei einem Messwert von 20 mS/m mit einem Fehler von 5% zu kalkulieren, was das Ausmaß der Anomalie weiterhin relativiert. Im Vertikal-Dipol-Modus ist die Bombe nicht in den Ergebnissen zu erkennen, wie Abbildung 12 zeigt. Hier ist am Profilende der Einfluss des nahe gelegenen Metallzauns auszumachen, eine Leitfähigkeitsanomalie im Bereich der Bombe jedoch nicht. Bei einer Messung auf einem 10 m langen, senkrecht zum hier gezeigten Profil verlaufenden Profil konnten die Ergebnisse bestätigt werden. Bombe 1 war weder im Horizontal- noch im Vertikal-Dipol-Modus zu detektieren.

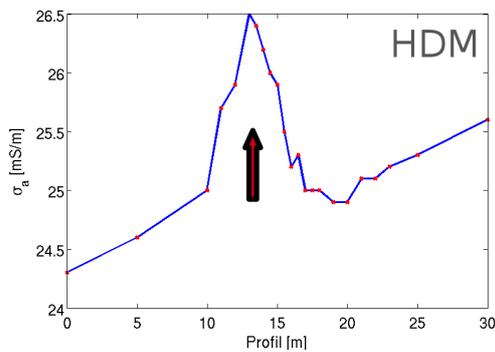


Abbildung 11: Scheinbare Leitfähigkeit aus den EM34-Messungen im Horizontal-Dipol-Modus über Bombe 2

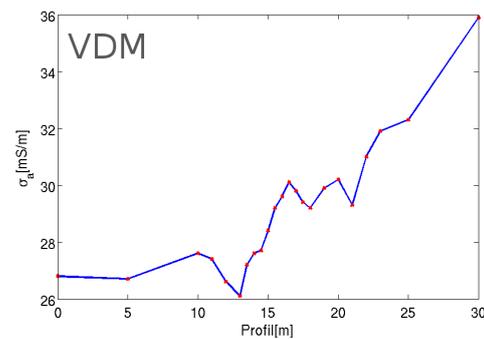


Abbildung 12: Scheinbare Leitfähigkeit aus den EM34-Messungen im Vertikal-Dipol-Modus über Bombe 2

4 Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl Nano-TEM-Kartierungsmessungen als auch EM34-Messungen erwiesen sich bei den Tests in Köln als grundsätzlich geeignet, leitfähige Störkörper in geringer Tiefe zu detektieren. Die Messungen in Greven, bei denen über zwei Bomben in unterschiedlicher Tiefe gemessen wurde, brachten unterschiedliche Ergebnisse.

Mit der Nano-TEM-Methode konnte Bombe 1 in 2 m Tiefe detektiert werden, Bombe 2 in 4,5 – 5,5 m Tiefe konnte nicht detektiert werden. Möglicherweise würden Messungen im Zero-TEM-Modus hier zu besseren Ergebnissen führen. Bei den Ergebnissen der EM34-Messungen konnten über Bombe 2 im Horizontal-Dipol-Modus kleine Leitfähigkeitsanomalien beobachtet werden, Bombe 1 konnte nicht detektiert werden. Es stellt sich die Frage, ob für noch tiefer gelegene Objekte bessere Resultate zu erwarten wären.

Es sollen weitere Messungen mit der TEM-Methode folgen, um weitere Daten zu erhalten und aufgetretene Fragestellungen zu beantworten. Modellierungen mit COMSOL Multiphysics mit variierenden Mess- und Targetgeometrien sollen zur Interpretation der Ergebnisse angestellt werden. Außerdem soll als weitere Methode eventuell die Radiomagnetotellurik herangezogen werden.

Literatur

- Adrian, J. (2011). *Untersuchung von Schlammvulkanen in Perekishkul, Aserbaidshjan mit der Transient-Elektromagnetik*. Diplomarbeit, Universität zu Köln.
- K. Knödel, H. Krummel G. Lange (1997). *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3: Geophysik*. Springer-Verlag.
- Koch, Olaf (2003). *Transient-elektromagnetische Messungen zur Erkundung einer Leitfähigkeitsanomalie am Vulkan Merapi in Indonesien*. Diplomarbeit, Universität zu Köln.
- McNeill, J.D. (1980). *Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction number*. Geonics Limited.
- Mollitor, Lukas (2008). *Central-Loop-TEM auf dem Holzmaar, Eifel*. Diplomarbeit, Universität zu Köln.