

PROFILHAFTE MESSUNGEN MIT MAGNETIC-RESONANCE-SOUNDING (MRS)

Tino Radić (Radic Research, Berlin), Jochen Lehmann-Horn (ETH, Zürich)
70. DGG Jahrestagung, 15.-17. März 2010, Bochum, Germany

EINFÜHRUNG

Die nicht penetrative MRS Methode erlaubt eine direkte Messung des absoluten Gehalts an ungebundenem Wasser im Untergrund, sowie eine Abschätzung der mittleren Radien der Poren in denen sich dieses Wasser befindet. In unseren gemäßigten Breiten liegen viele bedeutsame Untersuchungsobjekte in geringen Tiefen (<10 m). Leider sind 1D MRS Sondierungen methodisch bedingt vergleichsweise zeitaufwendig. Sollen zudem profilhafte (2D) Messungen durchgeführt werden, dann war dieser Aufwand bisher nur in wenigen Ausnahmefällen zu rechtfertigen. Um dieses Problem zu mindern, wurde unser speziell für die Flacherkundung entwickeltes Messgerät **MRS-MIDI**, von bisher 3, auf 7 Messkanäle erweitert. Einen höheren Messfortschritt ermöglichen diese Zusatzkanäle jedoch erst bei Verwendung eines neuartigen Spulenkonfigurationstyps. Das Transmitter Kabel wird hierbei, anders als üblich, ähnlich einem „Zopf“ ausgelegt. Jedes, der so entstehenden „Augen“, wird mit einer individuellen Receiver Loop versehen. Auf diese Weise können mit der neuen **MRS-MIDI** bis zu 7 Sondierungen gleichzeitig durchgeführt werden.

METHODE

Die Protonen der in Wassermolekülen vorhanden Wasserstoffatome weisen ein magnetisches Moment auf, das vorzugsweise parallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet ist. Mit Hilfe einer stromdurchflossenen Transmitter Loop können diese Protonen aus ihrer Ruhelage gelenkt werden. Der sich dem ~40 ms lang andauernden Wechselstrompuls (1-3 kHz) anschließende Relaxationsvorgang (Free Induction Decay - FID) kann mittels einer Receiver Loop registriert werden (Abb. 1). Unterschiedliche Pulsstärken liefern dabei Informationen über unterschiedliche Tiefenbereichen.

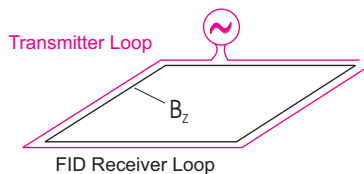


Abb. 1: Die Standard MRS Konfiguration für 1D Sondierungen besteht aus einer Transmitter Loop und einer parallel hierzu verlegten Receiver Loop. Für Flacherkundungen betragen die Loop Durchmesser ~10m.

PARALLELISIERUNG DES MESSABLAUFS

Der Messfortschritt sollte sich erhöhen lassen, wenn es gelänge normalerweise nacheinander ausgeführt Messungen parallel durchzuführen. Die vielfach eingesetzte Multi-Kanal Geoelektrik liefert hierzu ein gutes Vorbild.

Wie müsste eine Parallelisierung für die MRS Methode ausgestaltet werden?

Hertrich (2004) schlägt hierfür die räumliche Trennung von Transmitter und Receiver Loops "Separated Loops" vor (Abb. 2a). Hierzu ordnet er mehrere unabhängige Receiver Loops entlang einer Linie, um ein vielfaches eines Loop Radius versetzt, zur Transmitter Loop an. Diese Konfiguration ist der geoelektrischen Dipol-Dipol-Anordnung nachempfunden. Modellrechnung zeigen jedoch, dass diese Anordnung nicht die günstigen Eigenschaften der Geoelektrik aufweist:

- Die Erkundungstiefe wächst nicht mit zunehmendem Abstand zwischen Transmitter und Receiver Loop an - sie nimmt vielmehr sogar ab.
- Das MRS Signal- zu Rauschverhältnis ist grundlegend viel kleiner als das der Geoelektrik. Aus diesem Grund sind die Signalamplituden bereits bei einem geringen Abstand zwischen Transmitter und Receiver Loop so klein, dass eine effektive Messung nicht mehr möglich ist.

Eine erstmals von Radic (2009) vorgeschlagene - völlig neuartige Messkonfiguration - vermeidet diese Schwächen (Abb. 2b). Hierzu werden die Receiver Loops zwar ebenfalls entlang eines Profils angeordnet, die speziell ausgelegte Transmitter Loop umschließt jedoch alle Receiver Loops. Jedes "Auge" entspricht somit weitgehend einer klassischen "In-Loop" 1D - Sondierungsanordnung. Ein wesentlicher Unterschied resultiert jedoch aus der räumliche Nähe der Loops zueinander und der hierdurch bedingten wechselseitigen Beeinflussung. Zur quantitativen Interpretation ist daher ein 2D Inversionsprogramm erforderlich, das diese Kopplungen berücksichtigt. Für diese Messungen ist natürlich ein Multikanal MRS Messgerätes unverzichtbar.

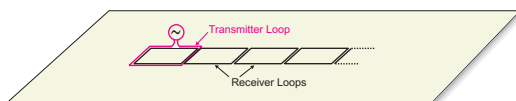


Fig. 2a: "Separated Loop Configuration" nach Hertrich (2004). Die Receiver Loops sind gegenüber der Transmitter Loop versetzt angeordnet.

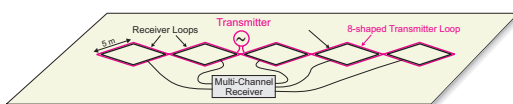


Fig. 2b: Neuartige Kabel Anordnung. Die Receiver Loops sind entlang eines Profils angeordnet. Sämtliche "Augen" sind von ein und der selben Transmitter Loop eng umschlossen.

2D - MODELLIERUNG DER NEUARTIGEN KONFIGURATION

Die numerischen Modellrechnungen wurden an der ETH Zürich von Lehmann-Horn durchgeführt. Es wurden zwei Transmitter Loop Konfigurationen untersucht (Abb. 3):

- "X" Typ, bei dem sich das Transmitter Kabel mehrfach selbst kreuzt
- "=" Typ, bei dem sich das Transmitter Kabel nicht kreuzt

Abbildung 4 zeigt exemplarisch das Ergebnis für eine nach rechts abtauchende wasserreiche Schicht. In den Sondierungskurven spiegelt sich dies deutlich wieder. Dabei erwies sich der "X" Typ als lateral empfindlicher als der "=" Typ. Letzterer ermöglicht dafür aber eine größere Erkundungstiefe.

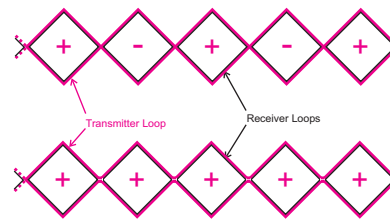


Abb. 3: Schematische Darstellung der beiden untersuchten Varianten der neuartigen Kabelkonfiguration. Oben: "X" Typ, bei dem sich das Transmitter Kabel mehrfach selbst kreuzt. Unten: "=" Typ, bei dem das nicht der Fall ist. Der Wechsel der Stromflussrichtung bedingt, dass sich beim "X" Typ auch die Richtung des Magnetfeldes von Auge zu Auge umkehrt. Das hat zur Folge, dass sich beide Varianten signifikant in Ihren Sensitivitäten unterscheiden.

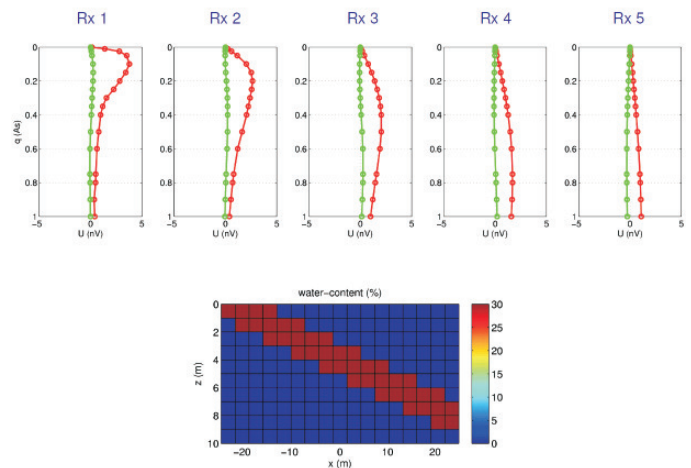


Abb. 4: Unten: Angenommene Verteilung des relativen Wassergehalts. Oben: Berechnete Sondierungskurven. Weitere Modellparameter: Inklination des Erdmagnetfeldes: 67,5°, Profil: EW, X-Typ.

ERSTE FELDERPROBUNG

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse, die bei einem ersten Feldtest mit der neuartigen Messanordnung gewonnen wurden. Die Abbildung zeigt zwei parallel (zeitgleich) gemessene Sondierungskurven. Die Loops lagen unmittelbar nebeneinander und wiesen eine Kantenlänge von jeweils 5 Metern auf. Da der Untergrund an diesem Messort horizontal geschichtet ist, unterscheiden sich die Kurven kaum voneinander. Trotzdem demonstriert das Resultat die Eignung der neuen Messkonfiguration für schnellere, hochwertige MRS Sondierungen.

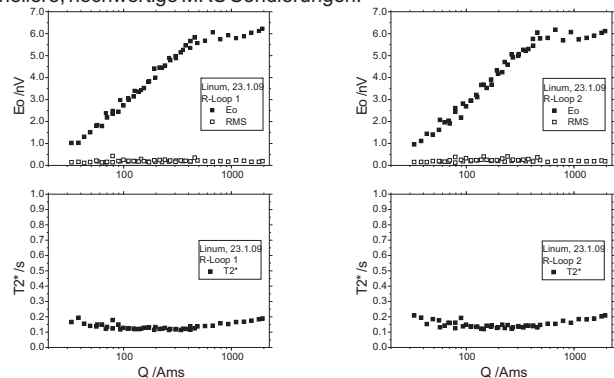


Abb. 5: Ergebnis zweier parallel durchgeführter MRS Sondierung. Die Kabelanordnung entsprach der in Abb. 3 ("X" Typ) dargestellten Geometrie. Loop Abmessungen jeweils: 5 m * 5 m (24 Windungen).

LITERATUR

Hertrich, M. (2004): Characteristics of MRS Soundings with separated loop. Near Surface 2004, 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht, The Netherlands.

Radic, T. (2009): Improving the progress of small-scale Magnetic-Resonance-Sounding (MRS) measurements. Near Surface 2009, 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Dublin, Ireland.