

Der Blick unter die Bodenoberfläche – vom Laborexperiment zum praxisreifen Messsystem

Effiziente Landwirtschaft erfordert räumlich hoch aufgelöste Informationen über verschiedene Bodenmerkmale. Geophysikalische Messmethoden sind geeignet, diese Informationen indirekt zu liefern. Potenziell können dann Maßnahmen wie Düngung, Beregnung, Aussaatdichte und Bodenbearbeitungstiefe teilflächenspezifisch (precision agriculture) durchgeführt werden.

Der Hintergrund

Im Allgemeinen ist der Blick bei der Betrachtung des Bodens auf die Bodenoberfläche beschränkt. Um jedoch Nutzpflanzen effizient mit Nährstoffen und Wasser versorgen zu können, sind Informationen über verschiedene Bodenmerkmale für den gesamten durchwurzelten Bodenraum erforderlich, der sich bei verschiedenen Gemüse- und landwirtschaftlichen Nutzpflanzenarten durchaus bis in zwei Meter Tiefe und mehr erstrecken kann. Bereits vor 75 Jahren wurden im Rahmen der so genannten Reichsbodenschätzung (Gesetz über die Schätzung des Kulturbo-

dens von 1934) grundlegende räumliche Informationen für verschiedene Bodenmerkmale erhoben. In diesem Zuge wurde eine flächendeckende Bewertung landwirtschaftlich nutzbarer Flächen in Deutschland durchgeführt – Bodenproben wurden überwiegend im Raster von 50 x 50 Metern und bis zu einem Meter Tiefe entnommen und untersucht. Aus heutiger Sicht wird eine standortgerechte Landwirtschaft künftig mehr und mehr damit verbunden sein, die flächenhafte Variabilität von Bodenmerkmalen auch innerhalb des einzelnen Feldes z.B. bei der Bemessung der Düngung und der Bewässerung sowie bei

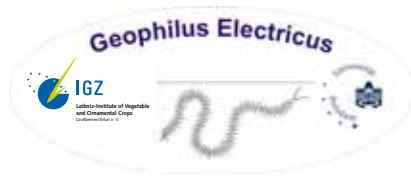


Abb. 7: Geophilus electricus – Namensgeber für unser rollendes Elektrodensystem



Abb. 1: Labormessplatz zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Lockermaterial in einer Messzelle



Abb. 2: Laborvariante eines rollenden Elektrodensystems



Abb. 3: Feldvariante eines handgezogenen rollenden Elektrodensystems mit Ute Spangenberg (mitte) und Erika Lück (rechts)





Abb. 4 a/b: Erste (oben) und zweite (unten) Variante eines schleppergezogenen rollenden Elektrodensystems

Abb. 5: Aktuelle Variante des Geophilus-Messsystems



Rollende Elektroden ermöglichen eine kontinuierliche Messung während der Fahrt

der Regulierung der Aussaatmenge und Aussaatiefe als auch bei der Bodenbearbeitungstiefe zu berücksichtigen. Dazu sind jedoch räumlich hoch aufgelöste Bodeninformationen erforderlich, die nicht wie bisher ausschließlich auf der Grundlage mittels Bohrstock gewonnener Bodenproben basieren können. Vielmehr sind innovative Erkundungsmethoden gefragt, die sich durch eine hohe Flächenleistung in Verbindung mit vergleichsweise geringen Kosten auszeichnen. Dafür bieten sich geophysikalische Messverfahren an, für die bereits mehrere Messprinzipien und technische Ausführungen zur Verfügung stehen (Lück et al., 2009). Mit dem „Geophilus electricus“ – einer gemeinschaftlichen Entwicklung von IGZ und dem Institut für Geowissenschaften der Universität Potsdam – steht nun ein sehr leistungsfähiges Messsystem zur Verfügung, über dessen Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten nachfolgend berichtet werden soll.

Die Entwicklung

Die ersten Schritte zur Entwicklung des Geophilus-Messsystems erfolgten in Form von Laborexperimenten. In Messzellen aus

Plexiglas wurde die elektrische Leitfähigkeit von Böden gemessen.

Dabei wurden die relevanten Einflussgrößen Wassergehalt, Korngrößenzusammensetzung und Lagerungsdichte sowie Salzgehalt und Temperatur des Bodens in ihrer Wirkung auf seine elektrische Leitfähigkeit systematisch untersucht (Lück et al., 2005). Auf der Grundlage der Messergebnisse wurde ein speziell auf diese Anwendung ausgerichtetes elektronisches Messgerät konzipiert.

Der zweite Schwerpunkt bei der Entwicklung des Geophilus-Messsystems betraf die Elektroden. Da die Messung der elektrischen Leitfähigkeit im Rahmen geophysikalischer Untersuchungen standardmäßig mit gesteckten Elektroden als stationäres Messverfahren durchgeführt wird, bestand für uns die Anforderung darin, im bewegten Modus kontinuierlich galvanisch an den Boden ankoppelnde Elektroden zu entwickeln. Wir entschieden uns für ein rollendes Elektrodensystem, das zunächst als miniaturisierte Variante im „Laborsandkasten“ erprobt wurde (• Abb. 2).

Sechs quer in einer Reihe angeordnete, drehbar gelagerte und gegeneinander elek-

trisch isolierte Metallscheiben wurden als rollende Elektroden genutzt. Ein Paar davon diente zur Einspeisung des elektrischen Stromes in den Boden und die beiden anderen Paare dienten zur Messung der elektrischen Spannung. Die nächste Entwicklungsstufe hat ebenfalls Modellcharakter – eine handgezogene Variante für erste Feldmessungen (• Abb. 3).

Danach verlief die Entwicklung relativ zügig über verschiedene mit dem Schlepper gezogene Varianten (• Abb. 4a und 4b) hin zum derzeit realisierten Stand des rollenden Elektrodensystems, für das Patentschutz beantragt wurde (• Abb. 5).

Das Funktionsprinzip

Aus der Prinzipskizze des Geophilus-Messsystems ist ersichtlich, dass die Stromeinspeisung an den beiden Scheibenelektroden der ersten Achse erfolgt (• Abb. 6). Die Elektrodenpaare (Potentialelektroden) an den folgenden 5 Achsen dienen der Messung des Signals – der elektrischen Spannung.

Je weiter nun der Abstand zwischen den Einspeise- und den Potentialelektroden ist, desto tiefer kann in den Boden „geblickt“

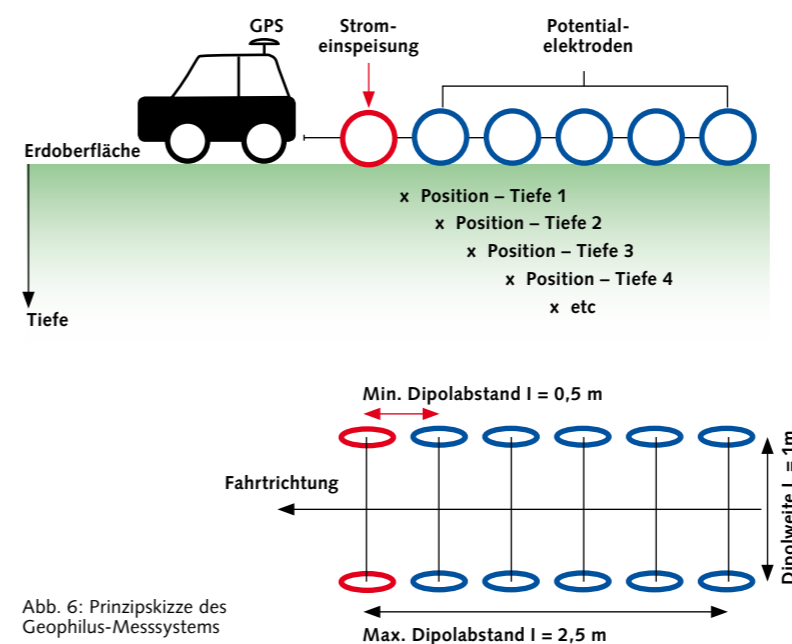


Abb. 6: Prinzipskizze des Geophilus-Messsystems

werden. Die erste Potentialelektrode erfasst eine Bodentiefe von ca. 25 cm. Mit Vergrößerung des Abstandes zwischen Einspeise- und den Potentialelektrode (2.-5. Potentialelektrodenpaar) verändert sich die Messtiefe proportional – in der abgebildeten Konfiguration auf maximal 125 cm.

Das rollend Elektrodensystem wurde mit einem Spezialmessgerät (Fa. Radic Research, Berlin) kombiniert. Das System arbeitet gleichzeitig mit 4 Wechselstromfrequenzen im Bereich zwischen 1 mHz und 1 kHz. Jeder der 5 Kanäle (entsprechend der 5 Potenzelektrodenpaare) erfasst zwei 2 elektrische Parameter. Damit erhält man für jeden Messpunkt im Gelände 40 Messwerte (5 Tiefenstufen, 2 Parameter, 4 Frequenzen). Damit aus den gemessenen Werten Kartenmaterial erzeugt werden kann, dass dann der Landwirt zur sogenannten teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (precision farming) nutzt, müssen die Daten georeferenziert werden. Dazu werden für jeden Messpunkt die jeweiligen geographischen Koordinaten mittels (d)GPS ermittelt und zeitgleich zu den anderen Messwerten aufgezeichnet. Aus dem Fahrgassenabstand, der Fahrgeschwindig-

keit und der Häufigkeit der Messwerterfassung (ein Messwert pro Sekunde) ergibt sich das räumliche Auflösungsvermögen der Kartierungen. Je nach Bedingungen und Anforderungen kann die Messgeschwindigkeit zwischen 5 und 20 km/h liegen. Bei Fahrgassenabständen von 15 – 20 m werden Kartierleistungen von mehr als 100 ha pro Tag erreicht (Lück und Rühlmann, 2007a).

Wird über Form, Fortbewegungseigenschaften und Verwendungszweck des rollenden Elektrodensystems nachgedacht, so lässt sich seine Namensgebung leicht nachvollziehen: „*Geophilus electricus*“ – eine zur Klasse der Hundertfüßer zählende Erdläuferart (• Abb. 7).

Die Testphase

In der Testphase des *Geophilus*-Messsystems wurde unter anderem untersucht, ob bei Mehrfachbefahrung ein und derselben Strecke reproduzierbare Messergebnisse gewonnen werden und wie sich unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten auf die Qualität der Messergebnisse auswirken (• Abb. 8).

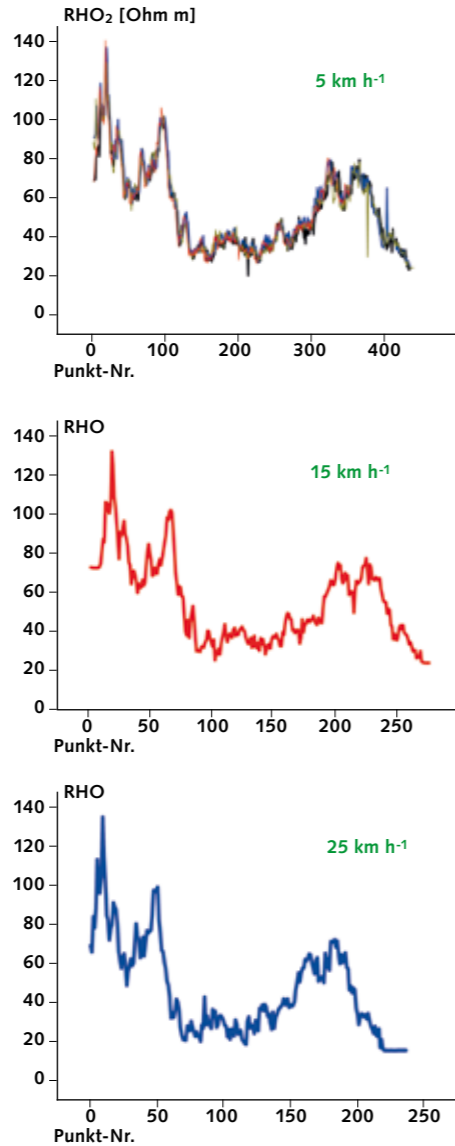


Abb. 8: Ergebnisse aus der Testphase des *Geophilus*-Messsystems – Reproduzierbarkeit bei Wiederholungsmessungen (oben) und Messung bei unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeit

Im Ergebnis aller bisher durchgeführten Felduntersuchungen wurde festgestellt, dass der aktuelle Wassergehalt des Bodens das Messergebnis (die scheinbare elektrische Leitfähigkeit einer Bodenschicht (oder deren Kehrwert – der scheinbare elektrische Widerstand) besonders stark beeinflusst. Da die Korngrößenzusammensetzung und der Bodenwassergehalt unter Feldbedingungen in sehr enger Wechselwirkung stehen (• Abb. 9), kann also über die elektrische Leitfähigkeit des Bodens auf räumliche Unterschiede in der Bodenart geschlossen werden.

Der Ausblick

Es zeichnet sich jedoch ab, dass aus der alleinigen Kenntnis der gewonnenen Daten zur elektrischen Leitfähigkeit des Bodens nicht quantitativ auf z.B. den Tongehalt des Bodens geschlossen werden kann, da diese Beziehung stark von dem jeweiligen Feuchtezustand des Bodens überlagert wird. Deshalb wird derzeit untersucht, die Ergebnisse der *Geophilus* Messungen an Ergebnissen von Korngrößenanalysen und/oder Bodenfeuchtemessungen, die an

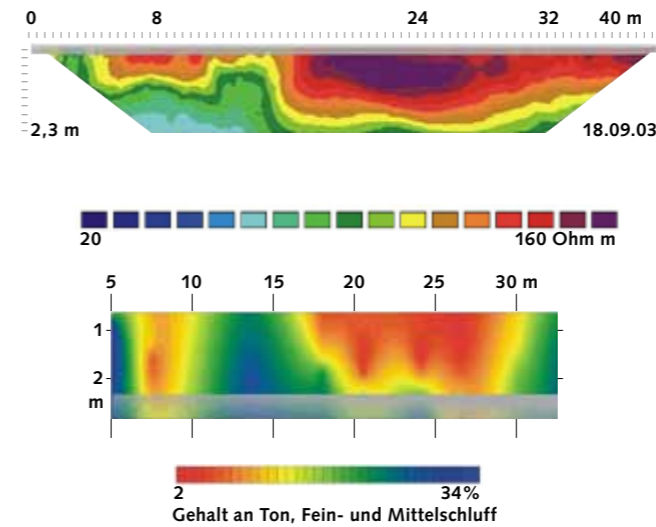


Abb. 9: Räumliche Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit (oben) und der Korngrößenzusammensetzung (unten) entlang eines virtuellen Bodenprofils (ca. 30 m lang und 2,3 m tief).

punktuell auf dem jeweiligen Feld entnommenen Bodenproben durchgeführt wurden, zu kalibrieren. Im Ergebnis sollen mit dem *Geophilus*-Messsystem (• Abb. 10) hoch aufgelöste dreidimensionale Parameterkarten (z.B. für den Tongehalt des Bodens) erzeugt werden. Auf deren Grundlage kann dann eine kleinskalig-standortgerechte Bewirtschaftung mit optimierten Ressourceneinsatz durchgeführt werden.

Und zum Abschluss erfolgt die Vorstellung der Crew, die wesentlich zum Bau sowie zur Entwicklung und Erprobung des *Geophilus*-Messsystems beigetragen hat:

Tino Radic von der Firma Radic Research (Messgerät).

Jörg Bigus (rollendes Elektrodensystem), Ingo Hauschild („Bordelektrik“), Uwe Kunert (Logistik), Thomas Schulz („Steuermann“), und Heinrich Zozmann („Wassermann“) vom IGZ.

Marko Dubnitzki („geographisches Vermessungswesen“), Manfred Eisenreich („Konstruktionsbüro“) und Ute Spangenberg („Datenerfassung und -management“) von der Universität Potsdam. •

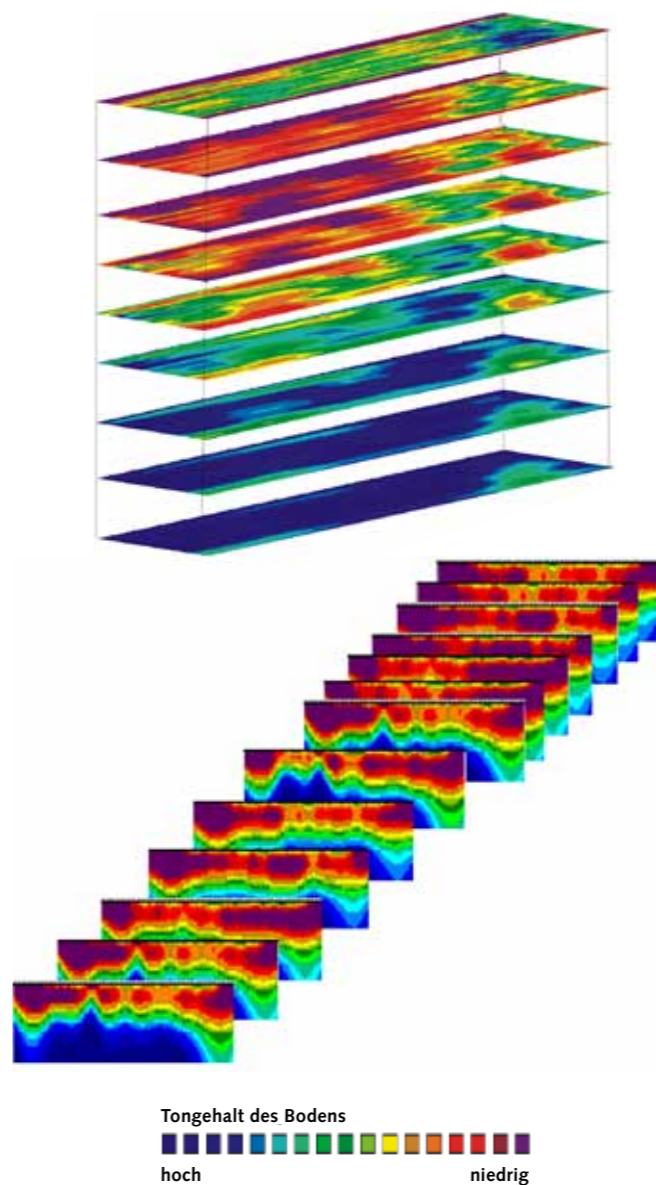


Abb. 10: Beispiel für eine dreidimensionale Bodenkarte – Ansicht von Tiefenstufen (oben) und Profilen (unten)

Quellennachweis:

Lück, E. · Gebbers, R. · Rühlmann, J. · Spangenberg, U. 2009. Electrical conductivity mapping for precision farming. Near Surface Geophysics, 15-25.
 Lück, E. · Rühlmann, J. 2007a. Geophilus electricus – ein neues „soil mapping system“. Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft 110 (2), 607-608.
 Lück, E. · Rühlmann, J. 2007b. Survey of the Swedish soil fertility sites with electrical methods. In: Success Stories of Agricultural Long-term Experiments, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 146 (9), 41-44.
 Lück, E. · Rühlmann, J. · Spangenberg, U. 2005. Physical Background of Soil EC Mapping – laboratory, theoretical and field Studies. In: J.V. Stafford (ed.), Precision Agriculture '05, Wageningen Academic Publishers, 417 – 424.

Finanziell gefördert wurde das Gesamtvorhaben im Rahmen der folgenden Projekte:
 2001-2003: Bestimmung von Textur und Humusgehalt mit geophysikalischen Messverfahren (MWFK Brandenburg)
 2004-2006: Bestimmung großräumiger Bodenheterogenität mittels geophysikalischer Messverfahren (MWFK Brandenburg)
 2005-2006: Bestimmung der Bodenheterogenität in Schwedischen Dauerversuchen unter Nutzung geoelektrischer Messverfahren (DAAD)
 2008-2010: Precision farming mit hochauflösender Bodensensoren (DBU)
 2008-2010: Mobiles Sensorsystem zur Berücksichtigung von Bodenunterschieden bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung in Landwirtschaft und Gartenbau (BLE)

Allen beteiligten Personen und fördernden Einrichtungen sei an dieser Stelle herzlich gedankt!



Und zum Abschluss erfolgt die Vorstellung der Crew, die wesentlich zum Bau sowie zur Entwicklung und Erprobung des *Geophilus*-Messsystems beigetragen hat. Foto links von links: Jörg Bigus (rollendes Elektrodensystem) und Heinrich Zozmann („Wassermann“) vom IGZ; Foto oben von links: Uwe Kunert (Logistik), Thomas Schulz („Steuermann“), Ingo Hauschild („Bordelektrik“), Jörg Rühlmann (Projektleiter IGZ), Foto Seite 23: Erika Lück (Projektleiterin Uni Potsdam) und Ute Spangenberg („Datenerfassung und -management“) von der Universität Potsdam. Nicht mit Bild: Tino Radic von der Firma Radic Research (Messgerät), Marko Dubnitzki („geographisches Vermessungswesen“) und Manfred Eisenreich („Konstruktionsbüro“).