

Sensor Fusion – Evaluierung der Eignung von geoelektrischer und Gammassensorik für die indirekte Bestimmung von Phosphor im Boden

Alexander Mizgirev¹, Thomas Chudy¹, Michael Marz¹, Peter Wagner¹ und Jörg Rühlmann²

Abstract: Im Rahmen von Precision Farming wird gegenwärtig daran gearbeitet z.B. Bodencharakteristika und Makronährstoffgehalte kleinräumig sensorbasiert möglichst bereits während der Überfahrt im Feld zu erfassen. Die gewonnenen Informationen bilden eine Grundlage für die Düngemittelgabe. Der pflanzenverfügbare Phosphorgehalt (Pf) ist bisher nur im Labor bestimmbar. Vorangegangene Arbeiten konnten aufzeigen, dass eine indirekte Ermittlung von Pf im Boden mittels sensorbasierter Parameter möglich ist. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen der Zielgröße (Pf) und den erklärenden Variablen (pH, EC, Ertrag, etc.) durch einen selbstlernenden Algorithmus, wie z.B. eines künstlichen Neuronales Netzes erlernt und das daraus resultierende Modell für die Abschätzung von Pf für die weitere Jahre verwendet. In diesem Werkstattbericht wird die Eignung von geoelektrischer und Gammassensorik in einem Sensor Fusion Ansatz untersucht. Primär wird geprüft, ob der Einsatz dieser Sensorik die Approximation von Phosphor verbessert. Sekundär wird evaluiert, ob die Sensorik die bisher laboranalytische Bestimmung der Bodentextur ersetzen kann oder ob der Sensoroutput eine Ergänzung ist. Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass der Geophilusoutput bei der Abschätzung von Pf im Boden die kosten- und zeitintensiven Labordaten für die Textur vollständig substituieren kann.

Keywords: Precision Farming, Sensor Fusion, Makronährstoffe, Geoelektrik, Gammasspektrometrie

1 Einleitung

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung zielt unter Anderem auf einen effizienten Düngemiteleinsatz ab. Der Ansatz erfordert hoch aufgelöste Daten zur Verteilung der Makronährstoffe wie Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden. Die Sensor gestützte Analytik des Ackerbodens kann die zurzeit gängige Laboranalytik verbessern und zum Teil ersetzen. Die aktuellen Ansätze verfolgen das Ziel eines parallelen Einsatzes verschiedener Sensoren im Rahmen von multi sensor data fusion während der Befahrung (on-the-go) und schließlich eine vollständige Substituierung der kosten- und zeitintensiven Laboranalytik [Vi11, Ad11]. In diesem Werkstattbericht wird Geophilus Messsys-

¹ MLU Halle-Wittenberg, Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Str. 4, 06120 Halle, alexander.mizgirev@landw.uni-halle.de, thomas.chudy@landw.uni-halle.de, michael.marz@landw.uni-halle.de, peter.wagner@landw.uni-halle.de

² Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14947 Großbeeren, ruehlmann@igzev.de

tem als Baustein für den Sensor Fusion Ansatz betrachtet. Geophilus enthält zwei Sensoren. Ein Sensor dient für die Messung des scheinbaren elektrischen Widerstandes (ERa) und besteht aus einem Elektrodenpaar für die Sendung eines elektromagnetischen Signals und sechs Elektrodenpaare für die Messung des ankommenden Signals in unterschiedlichen Bodentiefen (für den detaillierten Aufbau des Messsystems s. [Rü16]). Ein weiterer Sensor misst Intensität der Strahlung natürlicher Radionuklide im Boden wie z.B. der radioaktive Isotop Kalium-40 sowie die Zerfallsprodukte von Uran und Thorium [VTM07, Vi11]. Für die Evaluierung der Eignung der beiden Sensoren für die indirekte Bestimmung von Pf im Boden kommt das Konzept der künstlichen neuronalen Netze (KNN) zum Einsatz.

2 Methoden

Als Basis für die Untersuchung dienen einige VDLUFA-konforme Erhebungen zu Nährstoffgehalten und Textur eines 64 ha großen Schrages des Lehr- und Versuchsguts der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bei Görzig in Sachsen-Anhalt. Eine Bestimmung der Bodentextur auf dem Schlag fand durch Laserdiffraktion nach der VDLUFA-Verordnung 2016 statt [VD16]. Die Messung durch Geophilus wurde im Rahmen einer Feldkampagne im Juli 2016 durchgeführt. Im Rahmen der Feldkampagne befand sich in der Untersuchung nur ein südlicher Teil des Schrages einer Größe von 29,7 ha. Bei der Messung wurden der scheinbare elektrische Widerstand (ERa) in sechs unterschiedlichen Bodentiefen als Mischsignal für jede Tiefe und Intensität der Gammastrahlung (total counts) aufgezeichnet. Die Aufzeichnungsspuren sind 36 m voneinander getrennt und wurden nur ein Mal befahren. Die zeitliche Auflösung der beiden Sensoren beträgt 1 Hz, die einen Abstand zwischen Aufnahmepunkten von etwa 1,6 m bei 6 km/h Überfahrt ergibt. Da alle Eingangsdaten durch die Untersuchungs- sowie Messtiefe des Gammassensors (0,20 bis 0,50 m je nach Wassergehalt und Bodendichte [VTM07]) begrenzt sind, wurde die Wahl des Geophilusoutputs auf die ersten zwei Tiefen des ERa-Sensors (0,25 und 0,50 m) und den Output des Gammassensors gelegt.

Die Evaluierung des Geophilusoutputs für die Approximation von Pf im Boden fand im Rahmen der zu entwickelnden Sensor Fusion Plattform statt. Hierfür wurde als selbstlernender Algorithmus ein KNN verwendet. Dieser lernt Zusammenhänge zwischen erklärenden Variablen wie den Labor- bzw. Sensordaten und einer Zielgröße (im Studienfall: Pf), die das KNN anschließend nicht linear abbildet. Dabei werden alle Parameter gleich gewichtet. Bei der Modellierung wird das Ziel verfolgt, anhand der Geophilusdaten den Pf im Boden mittels entstandener KNN-Modelle zu approximieren. Die Ermittlung von Pf stellt eine wesentliche Grundlage für Berechnung der Düngemittelgabe. Damit wird die kosten- und zeitintensive Laboranalytik eliminiert.

Der Vorgang der Modellierung wird in drei Schritte eingeteilt. Im ersten wird mit den laboranalytischen Texturdaten modelliert. Im zweiten werden zusätzlich die Sensordaten in das Modell herangezogen. Und im dritten werden die Labordaten vollständig durch den Geophilusoutput ersetzt. Die Lernbasis der Modelle wird durch die Daten aus dem

Jahr 2011 vervollständigt. Der Datensatz enthält Informationen wie die laboranalytischen pH-Werte, MBI (topologischer Index), Sensor gestützte Ertragsdaten als feldfruchtspezifischer Phosphorentzug und Düngegabedaten als Nährstoffzufuhr sowie ein spezifisches P-Niveau (laboranalytischer P-Gehalt), das im Modell, äquivalent dem Geophilusoutput für Texturdaten, als Proxy für einen künftigen Sensoroutput (bspw. Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), Laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIPS) bzw. Raman-Spektroskopie) für absoluten P-Gehalt fungiert. Die Anwendung der entstandenen Modelle fand mit den Datensätzen mit einer übereinstimmenden Struktur aus den Jahren 2015 und 2016 statt. Die Anwendbarkeit des Geophilusoutputs wird über die Modellgüte bestimmt. Diese bildet einen linearen Zusammenhang zwischen dem abgeschätzten Wert $\$Pf$ und der dazu gehörigen Zielgröße Pf (laboranalytischer Pf) ab.

3 Ergebnisse

In die Prozessierung wurden sieben Parzellen der Südhälfte des Schlages (Gesamtfläche 29,7 ha) sowohl als Ganzes als auch separat nach Düngungsstrategie einbezogen, die sich wie folgt unterteilt: a. teilflächenspezifische Düngung (2 Parzellen, 10 ha), b. keine Düngung (3 Parzellen, 12 ha) und c. flächeneinheitliche Düngung (2 Parzellen, 7,7 ha). Anschließend wurden die Modellgütemaßen aller drei Düngungsstrategien gemittelt, um mit den zugehörigen Gütemaßen der Gesamtfläche vergleichen zu können (s. Tab. 1).

Prozessierung	Datensatz	R2 (linear)	SD
7 Parzellen der Gesamtfläche (29,7 ha)	lab. Bodentextur	0,7416	1,793
	Textur + Geophilus	0,7274	1,816
	Geophilusoutput	0,7356	1,814
Parzellen Separat nach Düngungsstrategie (Mittelwert)	lab. Bodentextur	0,8276	1,573
	Textur + Geophilus	0,8363	1,531
	Geophilusoutput	0,8339	1,547
2 Parzellen der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung	lab. Bodentextur	0,8252	1,068
	Textur + Geophilus	0,8228	1,076
	Geophilusoutput	0,8473	0,979

Tab. 1: Validierung der Modelle am Beispiel der Abschätzung von Pf für das Jahr 2016 (Legende: SD = standard deviation)

Anhand der Gütemaßen ist zu sehen, dass die abgeschätzten Werte für $\$Pf$ mit laboranalytischen Texturdaten sich von denjenigen mit Sensordaten nur geringfügig unterscheiden (z.B. Gesamtfläche: lab. Bodentextur SD=1,793; Geophilusoutput SD=1,814). Das besagt, dass jeder geschätzte Wert $\$Pf$ für das Jahr 2016 sich von dem zugehörigen laboranalytischen Wert Pf des Jahres 2016 im Durchschnitt um 1,814 mg abweicht.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht das Ergebnis der Abschätzung von Pf, der (Pf) separat nach Düngungsstrategie approximiert wurde.

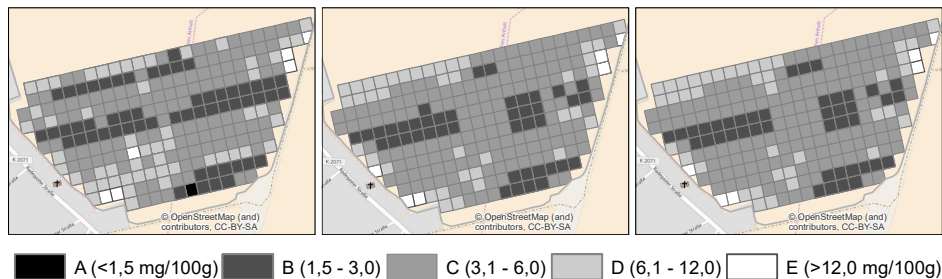


Abb. 1: Pf nach VDLUFA-Klassifizierung: laboranalytischer Pf (links), Abschätzung Pf mit laboranalytischen Texturdaten (Mitte) und Abschätzung Pf mit Sensoroutput (rechts).

4 Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die ERA- und Gammadaten des Geophilus Messsystems für die Approximation von Pf im Boden geeignet sind (vgl. Tab. 1). Ausgehend aus der Standardabweichung (0,979 mg/100g bei Parzellen mit ortsspezifischer Düngung) hat er ein Potential, die laboranalytischen Daten für die Bodentextur vollständig zu substituieren. Die Ursache für die leicht erhöhten Vorhersagewerte des KNN (mittleres und rechtes Bild in Abb. 1) gegenüber den Laborwerten (linkes Bild) gilt es zu analysieren, um die Modellierungsergebnisse für die Makronährstoffe anschließend weiter zu verbessern.

Literaturverzeichnis

- [Ad11] Adamchuk, V.I. et al.: Sensor Fusion for Precision Agriculture, In (Thomas, C. Hrsg.): Sensor Fusion - Foundation and Applications, InTech, DOI: 10.5772/19983, 2011.
- [Rü16] Rühlmann, J.: Generierung hochaufgelöster Bodenartenkarten auf Basis von Geophilus- und Bodenschätzungskarten. In (Ruckelshausen, A. et al. Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft 35/2016, Osnabrück, S. 173-176, 2016.
- [VD16] VDLUFA (Hrsg.): Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verl., Darmstadt, 2016.
- [VTM07] Viscarra Rossel, R.A.; Taylor, H.J.; McBratney, A.B.: Multivariate calibration of hyperspectral gamma-ray energy spectra for proximal soil sensing. European Journal of Soil Science 58/2007, S. 343-353, 2007.
- [Vi11] Viscarra Rossel, R.A. et al.: Proximal soil sensing: an effective approach for soil measurements in space and time. In (Sparks, D.L. Hrsg.): Advances in agronomy, Vol. 113, Verlag Academic Press, Burlington, S. 237-282, 2011.