

## Praktische Erfahrungen bei der Erfassung der räumlichen Variabilität von pH-Werten in Ackerböden durch das Online-Messverfahren Veris MSP

Kramer, E.<sup>1</sup>, Borchert, A. F.<sup>2</sup>, Gebbers, R.<sup>3</sup>, Schirrmann, M.<sup>3</sup>, Trautz, D.<sup>2</sup>, Olf, H.-W.<sup>2</sup> und Schatz, T.<sup>1</sup>

*Keywords: pH, Kartierung, Veris, Ertragsfähigkeit, Bodenfruchtbarkeit.*

### Abstract

*Soil pH is an important parameter for crop productivity. Its spatial variation should be adequately addressed. High costs for conventional soil sampling and lab analysis prevent site-specific pH management in practice at present. A mobile sensor platform for online pH measurement has been developed by Veris Technologies Inc. to realize cost efficient pH mapping. In this paper, the performance of the Veris MSP system under practical conditions in Germany is discussed. A more efficient generation of small-scale soil pH maps is supported by the use of the system. However, further experiments are required to evaluate the comparability with the current German standard method, and technical adaptations are essential to ensure a trouble-free and efficient field operation.*

### Einleitung und Zielsetzung

Der pH-Wert weist auf landwirtschaftlichen Flächen oft räumliche Variationen auf (Bianchini *et al.* 2002). Dabei hängt die Ertragsfähigkeit eines Pflanzenstandortes gerade im ökologischen Landbau maßgeblich vom pH-Wert ab (Scheffer *et al.* 2010). Ein zu niedriger pH-Wert kann u. a. zu verhaltenem Wachstum, zu geringem Rhizobienwachstum bei Leguminosen oder zur Freisetzung von Schwermetallen in der Bodenlösung mit entsprechenden Folgewirkungen führen.

Jede Pflanzenart hat dabei ebenso wie jeder Boden unterschiedliche Ansprüche an den pH-Wert, der noch von weiteren Parametern abhängt. Durch Düngung mit basischen (vor allem Kalke) oder versauernd wirkenden Düngern wird der pH-Wert des Bodens verändert, um z. B. die Bodenstruktur, das Bodenleben oder die Stickstoffsynthese von Leguminosen zu fördern, die Nährstoffverfügbarkeit zu verbessern oder natürliche Kalzium- und Magnesiumverluste auszugleichen. Seit 2003 bietet die Firma Veris Technologies (USA) den pH-Manager als Teil der Mobile Sensor Platform (Veris MSP) an, mit der räumlich hochauflösend, georeferenzierte pH-Werte im Boden messbar sind (Adamchuck *et al.* 1999). Die unter amerikanischen Bedingungen erreichten guten Korrelationen zu pH-Messungen im Labor (Lund *et al.* 2005) sollten unter deutschen Praxisbedingungen geprüft werden. Hierzu wurden die Feldmessungen mit Laboranalysen nach dem geltenden VDLUFA Standard in 0,01 m CaCl<sub>2</sub>-Lösung verglichen (VDLUFA 1997). Ferner wurde das Gerät auf seine Handhabung und seine Fähigkeit zur Erfassung der räumlichen Differenzierung von Boden pH-Werten getestet.

<sup>1</sup> HNEE Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH), Fr.-Ebert-Straße 28, 16225, Eberswalde, Deutschland, ekramer@hnee.de; thschatz@gmx.net, www.hnee.de

<sup>2</sup> Hochschule Osnabrück, Am Krümpel 31, 49090, Osnabrück, Deutschland A.Borchert@fh-osnabrueck.de; D.Trautz@fh-osnabrueck.de; H-W.Olf@fh-osnabrueck.de, www.hs-osnabrueck.de

<sup>3</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469, Potsdam, Deutschland, rgebbers@atb-potsdam.de; mschirrmann@atb-potsdam.de, www.atb-potsdam.de

## Methoden

Mit dem Modul VERIS „pH-Manager“ ([www.veristech.com](http://www.veristech.com)) werden Bodenproben aus einer Tiefe von 8-10 cm entnommen. In direktem Kontakt zwischen feldfeuchter Bodenprobe und zwei parallel angeordneten Antimon-Elektroden wird der pH-Wert als Durchschnittswert beider Elektroden erfasst und gespeichert, wenn der Unterschied <0,5 pH-Einheiten ist. Zugleich wird die geografische Position gespeichert. Nach der Messung werden die Elektroden automatisch mit Wasser gereinigt und gleichzeitig mit dem Probenehmer eine neue Bodenprobe entnommen. Die Kalibrierung der pH-Elektroden erfolgt über Pufferlösungen mit pH 4,0 und pH 7,0.

Es wurden je zwei Messfahrten auf dem Schlag Königsfeld (N52° 26', E13° 01') in Potsdam und auf dem Schlag Haster Esch (N52° 18', E08° 03') in Osnabrück ausgewertet. Königsfeld ist durch sandig-lehmige Böden mit teilweise erhöhtem Steingehalt charakterisiert. Zum Zeitpunkt der Messungen erschwerte stark wuchernde Quecke die Messungen. Haster Esch zeichnet sich durch sandig-lehmige bis tonig-lehmige Böden aus. Es wurden Probenahmedichten von ca. 100 Messungen pro ha (Spurabstand 8 m; 4,5 km/h) auf Königsfeld sowie 50 Messungen pro ha (Spurabstand 15 m; 6 km/h) auf Haster Esch erzielt.

Die Referenzproben von Königsfeld wurden gleichverteilt über den Schlag an ausgewählten Messpunkten direkt aus dem zurückgebliebenen Bodenmaterial des Messvorgangs entnommen. Die Referenzbeprobung auf Haster Esch erfolgte entlang eines gleichmäßigen 15 x 50 m Rasters. Ergänzend erfolgte eine individuelle Bewertung des praktischen Ablaufs der Feldmessungen bezüglich der Einsatzfähigkeit und des Handlings der MSP.

## Ergebnisse

Beschreibende Statistiken der Online-Messungen und Referenzbeprobungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die pH-Werte vom Königsfeld weisen im Vergleich zum Haster Esch eine höhere Streuung auf und reichen auch in den sehr sauren Bereich. Die Reproduzierbarkeit statistischer Verteilungsparameter ist schlechter. Dagegen stimmen die Wiederholungsmessungen für Schlag Haster Esch sehr gut überein. Möglicherweise ist die schlechtere Reproduzierbarkeit der pH-Messungen auf Königsfeld auf Kalibrierungsprobleme zurückzuführen: Dazu zählen die Temperaturabhängigkeit von pH-Messungen (Oehme 1991) und Besonderheiten von Antimon-Elektroden (Oxidschichtbildung, geringe Empfindlichkeit). Auch die Verschleppung von Bodenmaterial infolge Verstopfung durch Queckenwurzeln oder Strohmulch wurde beobachtet.

Die Streudiagramme zeigen Zusammenhänge zwischen den Online-Werten und den Referenzproben (Abbildung 1). Die Bestimmtheitsmaße der linearen Regression liegen zwischen 0,6 und 0,7 und die Standardfehler zwischen 0,15 und 0,36. Diese Güterwerte sind schlechter als solche aus der amerikanischen Literatur (Sethuramasamyraja *et al.* 2008).

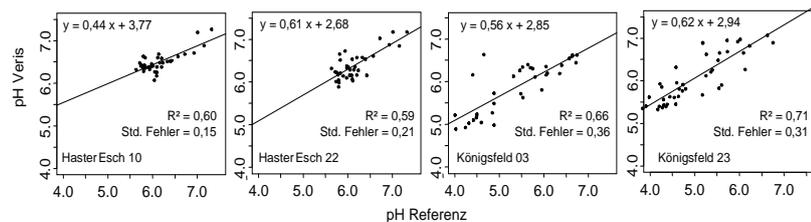
Die Spannweite der Online-pH-Werte ist gegenüber den Referenz-pH-Werten kleiner und der pH-Bereich nach oben verschoben. Dies dürfte auf die bei der VDLUFA Labormethode verwendete CaCl<sub>2</sub>-Lösung und die längere Extraktionsdauer im Labor zurückzuführen sein. Dadurch gelangen mehr H<sup>+</sup>-Ionen in Lösung und führen zu niedrigeren pH-Werten als bei der Online-Messung direkt im Bodenmaterial.

**Tabelle 1: Beschreibende Statistik der Online-Messungen und der Referenzprobenwerte**

Datensatz	Messung	Datum	n	Min	Max	MW	Stabw.	VK	Median	IQA
HasterEsch10	Online	10.03.2010	126	5,9	7,3	6,4	0,22	3,3	6,4	0,17
HasterEsch22	Online	22.03.2010	153	5,8	7,2	6,3	0,28	4,3	6,3	0,23
Ref_H10	Referenz	11.03.2010	37	5,6	7,3	6,1	0,42	6,8	6,0	0,40
Königsfeld03	Online	03.03.2010	303	4,5	6,8	5,6	0,55	9,8	5,5	0,90
Königsfeld23	Online	23.03.2010	278	4,8	7,2	6,1	0,56	9,3	5,9	0,99
Ref_K03	Referenz	04.03.2010	35	4,0	6,7	5,4	0,86	16,0	5,5	1,51
Ref_K23	Referenz	24.03.2010	42	3,8	6,8	5,0	0,77	15,3	4,8	1,19

n: Anzahl Probenahmepunkte, Min: Minimum, Max: Maximum, MW: Mittelwert, Stabw.: Standardabweichung, VK: Variationskoeffizient, IQA: Interquartilsabstand

Die Messpunktdichte der Sensormessungen erlaubt die Erstellung detaillierter Boden pH Karten, beispielsweise durch geostatistische Verfahren.



**Abbildung 1: Streudiagramme und lineare Regressionsgeraden der pH-Werte aus der Online-Messung (Veris MSP) und Messungen nach VDLUFA Standard in CaCl<sub>2</sub>-Lösung.**

## Diskussion

Großräumige Muster der pH-Wert-Verteilung werden reproduzierbar erkannt. Kleinräumige Abweichungen zwischen den Wiederholungen sind häufig Messfehler, u. a. infolge der Verstopfung des Probenehmers.

Ein Hauptproblem war die Gewinnung von Aliquoten durch exakt areal- bzw. volumentidentische Beprobung. Zusammen mit dem geringen Probenahmenvolumen der Veris MSP, welches die Mikrovarianz deutlicher hervortreten lässt als bei Mischproben, führt dies zu zufälligen Abweichungen zwischen den beiden Messverfahren. Aufwendige Beprobungen an quasi-identischen Proben zeigten eine höhere Übereinstimmung zwischen Online- und Labor-Messwerten, erlaubten jedoch keinen Betrieb unter Praxisbedingungen (Thieme 2009). Schwierige Messbedingungen im Feld (Wurzeln, Stroh, Steine) dürften die Streuung erhöhen. Weiterhin gibt es systematische Abweichungen aufgrund der unterschiedlichen Extraktionsbedingungen, die sich durch Nullpunkt-Offsets beim Schnitt der Regressionsgeraden mit der Y-Achse (>0,4) zeigen.

Für die Ableitung einer unmittelbaren ortsspezifischen Kalkungsempfehlung sind weitere Parameter wie Humusgehalt und Bodenart zu bestimmen, die ebenfalls kleinräumig vari-

ieren können.

Die Störanfälligkeit gegenüber schwierigen Messbedingungen im Feld ist zu verbessern. Als Verbesserungsmöglichkeiten werden u. a. vorgeschlagen: Eine Aufnahme für Kategorie II und III Dreipunktanbau ist vorzusehen. Durch eine sensorgestützte Überwachung des Bodenkernflusses im Probenehmer sowie eine rückstellende Überlastsicherung können Messfehler reduziert werden. Zur Verbesserung der Genauigkeit der pH-Messung sollten z.B. Temperatur und Feuchte mit erfassbar sein. Die installierte Software sollte moderne GPS-Formate erkennen. Für den Einsatz ist gut geschultes Personal erforderlich. Mit zwei Personen wurden Flächenleistungen von ca. 2,5 bis 3,5 ha/h inkl. Rüstzeiten erreicht, die für einen Praxiseinsatz noch zu gering sind.

### Schlussfolgerungen

Großräumige pH-Zonen und ihre Grenzverläufe werden reproduzierbar erkannt. Die Primärdaten sind nicht direkt für die Kalkdüngung nutzbar. Sie sind durch Referenzuntersuchungen zu prüfen, auf VDLUFA-Standard zu kalibrieren sowie durch weitere Messungen zu ergänzen. Die Veris MSP stellt eine Lösung für kleinräumige Massenbeprobungen dar. Für die Praxistauglichkeit unter allen Bedingungen besteht weiterer Entwicklungs- und Untersuchungsbedarf.

### Danksagung

Finanziell ermöglicht wurden die Untersuchungen durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE-Anträge 80132983 und 80029307), die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und die Hochschule Osnabrück.

### Literatur

- Adamchuk, V.I., Morgan, M.T., Ess, D.R. (1999): An automated sampling system for measuring soil pH. *Trans. ASAE* 42: 885-891.
- Bianchini, A. A., Mallarino, A. P. (2002): Soil-sampling alternatives and variable-rate liming for a soybean-corn rotation. *Agronomy Journal* 94: 1355-1366.
- Lund, E.D., Adamchuk, V.I., Collings, K.L., Drummond, P.E., Christy, C.D. (2005): Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: J.V. Stafford (Hrsg.): *Precision Agriculture '05*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, S. 457-464.
- Oehme, F. (1991): Ionenselektive Elektroden, Grundlagen, Bauformen und Anwendungen. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2010): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Sethuramasamyraja, B., Adamchuk, V. I., Dobermann, A., Marx, D. B., Jones, D. D., Meyer, G. E. (2008): Agitated soil measurement method for integrated on-the-go mapping of soil pH, potassium and nitrate contents. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 212-225.
- Thieme C. (2009): Validierung der Veris Mobile Sensor Plattform zur kleinräumigen pH-Wert-Kartierung auf Ackerland. Masterarbeit, Fachhochschule Eberswalde.
- VDLUFA (1997): *Methodenbuch I. Die Untersuchung von Böden*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.