

# Zur Rentabilität zunehmender Informationsdichte – ökonomischer Vergleich zwischen herkömmlichen und hochaufgelösten Bodenbeprobungen am Beispiel des pH-Wertes

Tobias Leithold<sup>1</sup>, Peter Wagner<sup>1</sup>, Martin Schneider<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
06099 Halle/Saale  
tobias.leithold@landw.uni-halle.de

<sup>2</sup>Agri Con GmbH  
martin.schneider@agrimon.de

**Abstract:** Precision-Farming-Technologien verfolgen das Ziel, heterogene Strukturen eines Feldes zu erfassen. Dazu sind Informationsdichten notwendig, die im Bereich der Bodenbeprobung mit herkömmlichen Verfahren nicht erreicht werden können. In diesem Beitrag wird das ökonomische Potenzial eines pH-Sensors aufgezeigt, dessen Düngeempfehlung von Kalk zu einer optimalen Entwicklung des pH-Wertes führt. Hektarbasierte Verfahren können dagegen zur Über- und Unterdüngung von Teilflächen führen. Das vorgestellte Beispiel weist ein ökonomisches Potenzial für eine hochaufgelöste Bodenbeprobung von 22 bis 30 € je Hektar und Jahr auf.

## 1 Einleitung

Seit der Markteinführung eines Sensors, der während der Überfahrt den pH-Wert des Bodens misst, erfolgten zahlreiche nationale und internationale Studien zur Validierung des Messprinzips. Deren Schlussfolgerungen zeigen, dass eine Anpassung der Ergebnisse des Sensors an die Ergebnisse der Labormethodik notwendig ist. Eine geeignete praktikable Kalibrierung wurde von den Autoren vorgestellt [LWS12].

Mit den wesentlich höheren Beprobungsdichten ( $> 10$  Proben  $\text{ha}^{-1}$ ) konnten auf Praxis-schlägen kleinräumige pH-Heterogenitäten nachgewiesen werden, die mit den herkömmlichen Beprobungsverfahren basierend auf einem festen Hektarraster nicht erfassbar sind. Folglich sind die Kalkdüngempfehlungen fehlerbehaftet und können zu einer suboptimalen Entwicklung des pH-Wertes führen. Da der pH-Wert keine direkte Wirkung auf die Pflanze ausübt, sondern Prozesse im Umfeld der Wurzeln beeinflusst, gestaltet sich eine monetäre Bewertung von suboptimalen pH-Werten als schwierig. Die Literaturanalyse zeigt, dass der Einfluss des pH-Wertes auf die Erträge verschiedener Fruchtarten nicht eindeutig quantifizierbar ist. Es können z.T. geringe Ertragseffekte bei kalkanspruchlosen Fruchtarten bis hin zu Totalverlusten bei kalkanspruchsvollen Kultu-

ren festgestellt werden. Für die Nährstoffwirkung besteht zwischen dem pH-Wert und dem Phosphatgehalt eine konkrete Beziehung. Mit der Anhebung des pH-Wertes um eine pH-Einheit steigt der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt um 1 mg P je 100 g Boden [KE87].

In diesem Beitrag erfolgt ein ökonomischer Vergleich zwischen hochaufgelösten und herkömmlichen Bodenbeprobungen unter der Berücksichtigung der Verfahrenskosten, der fehlallokierten Kalkkosten durch Überdüngung, der Phosphatfestlegung und der Minderleistungen durch Ertragsdepressionen. Die Simulationen der Ertragsdepressionen erfolgen durch Monte-Carlo-Simulationen (MCS) basierend auf einer Literaturanalyse.

## 2 Material und Methoden

Grundlage für den ökonomischen Vergleich ist ein Praxisschlag mit einer Größe von 28,08 ha. Die Bodenbeprobung mit dem pH-Sensor der Firma Veris erfolgte am 23.7.2011 mit einer Auflösung von 19 Proben ha<sup>-1</sup>. Der Vergleich zwischen dem hochaufgelösten und den herkömmlichen Beprobungsrastern (1 ha- und 5 ha-Raster) wurde auf Grundlage der interpolierten pH-Wert-Karte simuliert (s. Abb. 1).

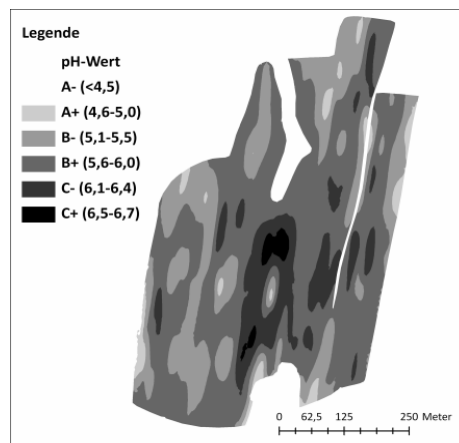


Abbildung 1: Interpolierte pH-Wert Karte des Versuchsschlages „Lange Welle“

Folgende Annahmen (A.) werden für den ökonomischen Vergleich getroffen:

A. 1: Für die zu erwartende Entwicklung des pH-Wertes wird unterstellt, dass die Kalkdüngung mit dem pH-Wert in einer linearen Beziehung steht. D.h., pro ca. 500 kg CaO ha<sup>-1</sup> verändert sich der pH-Wert um 0,1 pH-Einheiten [WRK08].

A. 2: Nach 2 Jahren stellt sich der durch die Kalkgabe verursachte pH-Wert ein. Für die natürliche Bodenversauerung wird eine jährliche pH-Absenkung um 0,1 pH-Einheiten angenommen. Als Fruchtfolge wird für den vierjährigen Untersuchungszeitraum unterstellt: Roggen (RO, erwarteter Durchschnittsertrag: 90 dt ha<sup>-1</sup>) – Raps (RA, 45 dt ha<sup>-1</sup>) – Winterweizen (WW, 90 dt ha<sup>-1</sup>) – Wintergerste (WG, 80 dt ha<sup>-1</sup>).

A. 3: Um die unterschiedlichen Ertragseffekte zu prognostizieren, erfolgt eine Einteilung der Fruchtarten in hohe (RA, WG) und niedrige (RO, WW) Kalkansprüche. Für beide Gruppen können in MCS mit dreiecksverteilter Dichtefunktionen mögliche Ertragsminderungen unter suboptimalen pH-Werten geprüft werden. Typischerweise sinken die Erträge in der Gehaltsklasse C weniger als in den Gehaltsklassen A, B, D und E (s. Abb. 2).

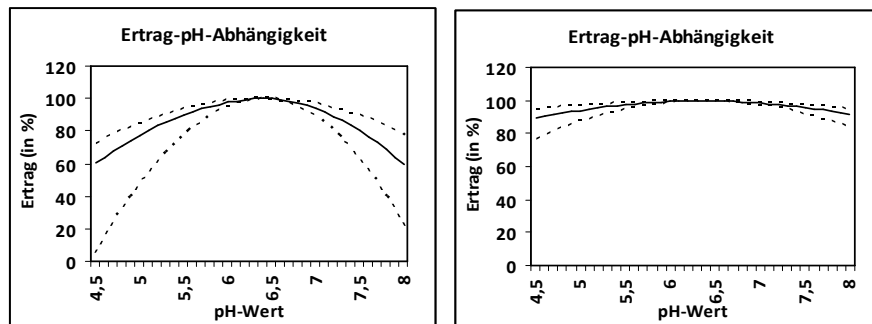


Abbildung 2: Ertrag-pH-Abhängigkeiten für kalkanspruchsvolle (links) und kalkanspruchslöse Fruchtarten (rechts), gestrichelte Linien – Min-/Max-Grenzen des Erwartungsertrags, durchgezogene Linien – mittlerer zu erwartender Ertrag

A. 4: Für die Phosphatverfügbarkeit wird die Faustregel nach Kerschberger [KE87] leicht abgeändert. Stellt sich ein suboptimaler pH-Wert in den Gehaltsklassen A, B, D oder E ein, dann wird gemäß der Faustregel eine Nährstofffestlegung um 1 mg P je 100 g Boden pro pH-Einheit erwartet. Innerhalb der Gehaltsklasse C wird kein Effekt erwartet. Zur Erhöhung des Phosphatgehalts um 1 mg P je 100 g Boden wird eine P-Gabe von ca. 100 kg P ha<sup>-1</sup> benötigt.

A. 5: Kalkulierte Preise: Roggen 20,02 € dt<sup>1</sup>, Raps 48,35 € dt<sup>1</sup>, Winterweizen 23,58 € dt<sup>-1</sup>, Wintergerste 21,36 € dt<sup>1</sup>, Phosphatdünger (TSP, 20 % P) 457 € t<sup>1</sup>, Kalkdünger (Carbokalk, 27 % CaO) 22 € t<sup>1</sup> (Marktpreise KW 41 [Am12])

### 3 Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse des ökonomischen Vergleichs zwischen der hochaufgelösten und den herkömmlichen Bodenbeprobungen aufgeführt. Erwartungsgemäß sind die Kosten für die Beprobung mit dem pH-Sensor am höchsten. Mit einer Gesamtmenge von ca. 92 t CaO kommen alle drei Verfahren zu ähnlichen Düngeempfehlungen. Allerdings wird im 1-ha- bzw. 5-ha-Raster ca. 85 % der Fläche unangepasst gedüngt und führt zu einer suboptimalen Entwicklung des pH-Wertes. Die daraus resultierende Phosphatfestlegung kann mit einem Wert zwischen 20 bis 30 € ha<sup>1</sup> beziffert werden. Durch die gezieltere Ausbringung von Kalk nach der Empfehlung des pH-Sensors können die Ertragsdepressionen im Untersuchungszeitraum um 59 bis 82 € ha<sup>1</sup> reduziert werden. Insgesamt ergibt sich für den pH-Sensor ein jährlicher ökonomischer Vorteil von 22 bis 30 € ha<sup>1</sup> a<sup>-1</sup> im Vergleich zu den praxisüblichen Methoden der Bodenbeprobungen.

Z	Effekt	Kenngroße	pH-Sensor	1-ha-Raster	5-ha-Raster
1	Beprobung	Proben (n)	534,00	25,00	5,00
2		pH <sub>MIN</sub>	3,90	5,20	5,50
3		pH <sub>MITTELWERT</sub>	5,61	5,64	5,64
4		pH <sub>MAX</sub>	6,50	6,10	5,80
5		<b>Beprobungskosten (€ ha<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></b>	<b>20,00</b>	<b>9,26</b>	<b>1,85</b>
6	Kalk	CaO (t)	92,05	90,93	91,24
7		CaO (t ha <sup>-1</sup> )	3,28	3,24	3,25
8		CaO-Preis (€ t <sup>-1</sup> )		46,22	
9		<b>CaO-Kosten (€ ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup></b>	<b>151,52</b>	<b>149,67</b>	<b>150,18</b>
10		überdüngte Fläche (ha)	-	12,35	12,68
11		überdüngte Menge (t)	-	12,90	16,44
12		unterdüngte Fläche (ha)	-	11,28	11,71
13		unterdüngte Menge (t)	-	14,01	17,24
14	<b>fehlallokierte Kalkkosten (€ ha<sup>-1</sup>)<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	<b>21,23</b>	<b>27,06</b>	
15	Phosphat	notwendige Ausgleichsdüngung (P-kg) <sup>4</sup>	-	250,00	375,00
16		P-Preis (€ kg <sup>-1</sup> )		2,27	
17		<b>P-Kosten (€ ha<sup>-1</sup>)<sup>5</sup></b>	<b>-</b>	<b>20,21</b>	<b>30,32</b>
18	Ertrag	Roggen (€ ha <sup>-1</sup> )	13,00	18,80	17,25
19		Raps (€ ha <sup>-1</sup> )	0,50	28,55	41,29
20		Winterweizen (€ ha <sup>-1</sup> )	2,32	9,12	12,32
21		Wintergerste (€ ha <sup>-1</sup> )	15,87	33,96	42,85
22		<b>Summe Ertragsminderungen (€ ha<sup>-1</sup>)<sup>6</sup></b>	<b>31,69</b>	<b>90,43</b>	<b>113,71</b>
23	<b>∑ Kosten und entgangener Nutzen (€ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)<sup>7</sup></b>		<b>12,92<sup>a</sup></b>	<b>35,28<sup>b</sup></b>	<b>43,24<sup>c</sup></b>
24	<b>Potenzial pH-Sensor (€ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)</b>		<b>12,92<sup>a</sup></b>	<b>22,36<sup>(b-a)</sup></b>	<b>30,32<sup>(c-a)</sup></b>

<sup>1</sup>[Z1x10,4 € Probe<sup>-1</sup>]/28,08 ha, entfällt für pH-Sensor, <sup>2</sup>[Z6xZ8]/28,08 ha, <sup>3</sup>[Z8xZ11]/28,08 ha, <sup>4</sup>SUMME[WENN(abs(pH<sub>ZIEL</sub>-6,4)>0,3;{abs(pH<sub>ZIEL</sub>-6,4)\*100}x[Teilfläche];0)] (in Excel-Notation), <sup>5</sup>[Z15xZ16]/28,08 ha, <sup>6</sup>[Z18+Z19+Z20+Z21], <sup>7</sup>[Z5+Z14+Z17+Z22]/ 4 Jahre

Tabelle 1: Ergebnisse des ökonomischen Vergleichs

## 4 Danksagung

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

## Literaturverzeichnis

- [Am12] Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH: Märkte und Preise. In (Deutscher Bauernverlag): Bauernzeitung, Nr. 41, Berlin, 2012. Bonn, 2012; S.70-71.
- [Ke87] Kerschberger, M.: Einfluß des pH-Wertes auf den DL-löslichen P-Gehalt im Boden (DL-Methode). In: Arch. f. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 31, 1987; S. 313-319.
- [LWS12] Leithold, T.; Wagner, P.; Schneider, M.: Entwicklung eines Algorithmus von hochaufgelösten Sensordaten zur ressourceneffizienten Kalkdüngung. In (Clasen, M., G. Fröhlich, H. Bernhardt, K. Hildebrand, B. Theuvsen): Referate der 32. GIL-Tagung – Informationstechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft, Freising, 2011, S. 187-190.
- [WRK08] von Wulffen, U.; M. Roschke; H.-E. Kape: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung, Bernburg, Güterfelde, Rosstock, S. 16. Frankfurt /Oder.