

Entwicklung eines Algorithmus von hochaufgelösten Sensordaten zur ressourceneffizienten Kalkdüngung

Tobias Leithold¹⁾, Peter Wagner¹⁾, Martin Schneider²⁾

¹⁾Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre
06099 Halle/Saale
tobias.leithold@landw.uni-halle.de

²⁾Agri Con GmbH
martin.schneider@agricon.de

Abstract: Eine effiziente Kalkdüngung kann nur dann erfolgen, wenn der pH-Wert kleinräumig bekannt ist. Aus ökonomischen Gründen ist die Ermittlung mit der herkömmlichen Herangehensweise bei der Bodenbeprobung und Analyse nicht sinnvoll. Ein Sensor der Firma Veris kann indessen während der Überfahrt den pH-Wert messen, nutzt jedoch eine andere Analytik. Im Beitrag werden Aussagen zur Genauigkeit und Übereinstimmung beider Methoden getroffen. Eine Verwendung der Rohdaten des Sensors ist ohne eine Anpassung nicht möglich. Mit dem vorgestellten Verfahren wird die Qualität wesentlich verbessert.

1. Einleitung

Mit der Einführung von Precision-Farming Technologien im Bereich der Düngung wird das Ziel verfolgt, Ressourcen effizient zu nutzen. Dazu sind Messungen notwendig, die die Nährstoffverfügbarkeit und den Nährstoffbedarf hochaufgelöst und genau erfassen. Ableitungen aus Spektralmessungen der Pflanzenbestände für die Düngung mit Grundnährstoffen sind bisher nicht möglich [Sc11]. Vielmehr werden dazu Bodenproben aus möglichst homogenen Teilstücken eines Schlages gezogen und anschließend nach den bekannten VDLUFA-Regeln gedüngt [Vd00]. Durch die Entwicklung eines Sensors der Firma Veris (USA) ist es möglich, den pH-Wert während der Überfahrt kleinräumig zu messen. Jedoch unterscheidet sich dessen Messmethodik grundlegend von der Labormethodik. Zum einen wird anstelle einer Mischprobe eine Einstichprobe analysiert, zum anderen wird auf den Einsatz eines Extraktionsmittels während der Analyse verzichtet. Dabei zeigt sich, dass die Differenz zwischen beiden Methoden mit sinkendem pH-Wert zunimmt. In der Literatur führt man dies auf den Salzeffekt des Extraktionsmittels zurück, latent gebundene Protonen lösen zu können [Ro97].

In diesem Beitrag wird näher auf die Genauigkeit beider Methoden in der Analytik eingegangen und ein Verfahren vorgestellt, welches die Nutzung der erhobenen Messwerte für eine teilflächenspezifische Kalkdüngung trotzdem erlaubt.

2. Methodik

Die Untersuchung zur Wiederholgenauigkeit der Labormethodik wurde an 154 Bodenproben verschiedener Standorte durchgeführt. Für den Methodenvergleich zwischen Sensor- und Laboranalytik standen 66 Bodenproben zur Verfügung. Die statistische Bearbeitung des Methodenvergleiches kann im Rahmen dieses Beitrages nicht ausführlich dargestellt werden. Eine alleinige Bewertung nur durch den Korrelationskoeffizienten bzw. das Bestimmtheitsmaß ist unzureichend. Als weitere statistische Methoden kommen der t-Test an gepaarten Stichproben sowie die grafische Analyse nach Bland und Altman zur Anwendung [BA86]. Letztere lässt erkennen, ob ein Trend der Einzelstreuungen für steigende oder sinkende pH-Werte vorliegt. Als Gütekriterium für die Übereinstimmung werden zusätzlich noch die Kenngrößen Mean Square Error (MSE) und Root Mean Square Error (RMSE) angegeben. Für das vorgeschlagene Verfahren der Nachkalibrierung mit ausgewählten Bodenproben werden nach der Befahrung mit dem Verissensor die gemessenen pH-Werte der Größe nach geordnet und Messpunkte mit einem äquidistanten Abstand von ca. 0,15 pH-Einheiten beibehalten. Diese werden im Anschluss durch den Sensor und im Labor beprobt und dienen als Grundlage für die Kalibrierung.

3. Ergebnisse

Für die Labormethode ergibt sich ein Korrelationskoeffizient bei der Wiederholungsbe-
probung von $r = 0,84$ bzw. ein $R^2 = 0,71$ (Abb.1). Das MSE liegt bei 0,25, das ausreißer-
betonende RMSE bei 0,46. Die Nullhypothese des t-Tests (Differenz beider Messreihen
ist gleich Null) kann nicht abgelehnt werden ($\alpha = 5 \%$, p-Wert = 0,38). Aus dem Bland-
Altman-Plot in Abb.1 geht hervor, dass kein Trend für die Einzelstreuungen hervorgeht.

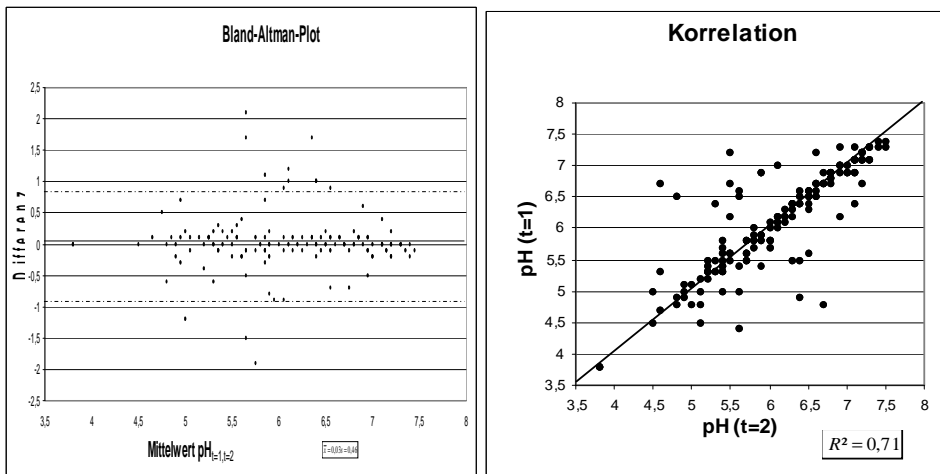


Abbildung 1: Bland-Altman-Plot, Wiederholungsbeprobung zum Zeitpunkt 1 und 2

Ein Vergleich der Rohdaten des Sensors mit den Laborergebnissen zeigt eine sehr gute Korrelation ($r = 0,93$), allerdings ist die Übereinstimmung inakzeptabel ($MSE = 0,77$; $RMSE = 0,82$). Eine Anpassung muss daher in jedem Fall erfolgen.

Nach der Auswahl der Messpunkte nach dem o.g. Vorschlag verblieben zur Kalibrierung noch 23 Proben. In der Abb. 2 sind die wichtigsten Ergebnisse der Regressionsanalyse dargestellt.

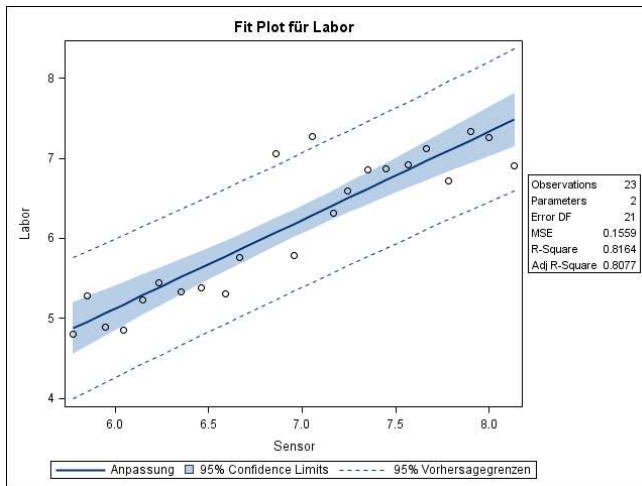


Abbildung 2: Ergebnis der Regressionsanalyse

Die ermittelte Anpassungsfunktion ($y_{\text{pHLabor}} = 1,078 * \text{pH}_{\text{Veris}} - 1,3863$) zeigt den deutlichen Anpassungsbedarf der Rohdaten.

Bei der anschließenden Validierung der Anpassungsfunktion auf alle 66 Werte ergibt sich ein MSE von 0,25 sowie ein RMSE von 0,32. Das Ergebnis des t-Tests (p-Wert = 0,54) weist keine signifikante Differenz zwischen den angepassten Sensorwerten und den dazugehörigen Laborwerten nach.

4. Diskussion

Die Qualität der Wiederholungsbeprobung für die Labormethode deckt sich mit den Angaben in der Literatur [Vd91]. Mit dem vorgestellten Ansatz der Nachkalibrierung mit ausgewählten Bodenproben konnte gezeigt werden, dass die Qualität der Ergebnisse der Verissensorik wesentlich verbessert werden kann. Damit ist eine Nutzung für eine teilflächenspezifische Kalkdüngung möglich. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Borchert et al. [BTO11], allerdings verwenden sie nur drei Proben für eine Anpassung.

Durch die schlagspezifische Nachkalibrierung entstehen zusätzliche Kosten, die als Fixkostenanteil mit berücksichtigt werden müssen. Der Aufwand umfasst im Mittel ca. 20 Proben je Schlag und ist mit ca. 10 Proben je Stunde zu kalkulieren. In weiteren Versu-

chen muss geklärt werden, ob standörtlich vergleichbare Schläge zusammen kalibriert werden können und dafür eine tägliche Kalibrierung ausreicht. Damit könnten auch kleinere Schläge zu vertretbaren Kosten untersucht werden.

Während der Messungen visualisiert die Aufzeichnungssoftware die Rohdaten. Der Anwender kann damit auf kleinräumig sehr stark oder schwach variierende pH-Werte reagieren. Die Beprobung kann intensiviert oder extensiviert werden, ohne dass wesentliche Mehrkosten für die Ergebnisfindung entstehen.

5. Fazit / Danksagungen

Mit dem Verissensor wird der Grundstein für eine teilflächenspezifische Kalkdüngung gelegt. Durch die Anpassung mittels der vorgestellten Methode können die Rohdaten so transformiert werden, dass die Entscheidungsregeln der VDLUFA angewendet werden können. Eine Über- oder Unterdüngung von Teilflächen mit Kalk kann damit vermieden werden, um das Ziel einer effizienten Ressourcennutzung zu erfüllen.

Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Besonderer Dank gilt Dr. Eißner und seinem Team vom Julius-Kühn-Feld Halle, die uns trotz widriger Witterungsumstände eine Beprobung im Herbst 2010 ermöglicht haben, sodass grundlegende Fragestellungen beantwortet werden konnten.

Literaturverzeichnis

- [BA86] Bland, J.; Altman, D.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. In: *Lancet* i, 1986, S. 307-310.
- [BTO11] Borchert, A.; Trautz, D.; Olf, H.-W.: Online-Erfassung der räumlichen Variabilität von pH-Werten in Ackerböden mit der Sensorplattform Veris MSP als Grundlage einer teilflächenspezifischen Kalkapplikation. In: Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Berlin, 09/2011.
- [Ro97] Rowell, D.L.: *Bodenkunde – Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1999, S. 277.
- [Sc11] Schneider, M.: *Ökonomische Potenziale von Precision Farming unter Risikoaspekten*. Dissertation im Druck, Halle, 2011, S.62.
- [Vd00] Vdlufa Standpunkt: Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Eigenverlag, Darmstadt, 2000.
- [Vd91] Vdlufa – Methodenhandbuch, Band I: Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Eigenverlag, 1991, Darmstadt.