

PRÄZISE KALKUNG IN BRANDENBURG - pH BB

Verzeichnis der Praxisblätter

Thema Praxisblatt	Seite
Praxisblatt 01 „Bedarf und Nutzen standortspezifischer Kalkung“	.....1
Praxisblatt 02 „Leitfaden präzise Kalkung" und die „pH-BB-Toolbox“	.....3
Praxisblatt 03 „Bestimmung der Bodenart mittels mobiler Bodensensoren“	.....5
Praxisblatt 04 „Bestimmung des Boden-pH mittels mobiler Bodensensoren“	.....7
Praxisblatt 05 „Flächendeckende Ermittlung des Humusgehalts mittels Bodensensoren“	.....9
Praxisblatt 06 „Referenzbeprobung und Probenahmestrategie“	.....11
Praxisblatt 07 „Generierung standort-differenzierter Bodenkarten“	.....13
Praxisblatt 08 „Stufenlose Bestimmung der Kalkbedarfsmenge“	.....15
Praxisblatt 09 „Basenneutralitätskapazität – eine direkte Bestimmung des Kalk- und Versauerungsbedarfs“	.....17
Praxisblatt 10 „Erstellung von Streukarten für die Kalkung“	.....19
Praxisblatt 11 „Ökonomische Effekte teilflächendifferenzierter Kalkung“	.....21
Praxisblatt 12 „Zoneneinteilung zur standortspezifische Bewirtschaftung“	.....23

Bedarf und Nutzen stand- ortspezifischer Kalkung

Ausgangslage und Zielsetzung

In Brandenburg ist der Boden pH-Wert nur auf ca. ein Drittel der Ackerflächen im optimalen Bereich. Auf zwei Drittel der Flächen kommt es daher durch nicht optimale pH-Werte zu Minderung in Ertrag und Bodenfruchtbarkeit. Die Ursachen liegen meist in der hohen Bodenvariabilität innerhalb eines Schlages und in einer Kalkungspraxis, die diese Variabilität zu wenig berücksichtigt. Da die anzustrebenden, optimalen Nährstoffgehalte im Boden für eine Vielzahl von Nährstoffen bodentexturabhängig definiert sind (VDLUFA Nährstoffversorgungsstufen A-E), kommt es durch nicht optimale Teilflächenabgrenzung zu einer fehlerhaften Bemessung bei der Düngung von Kalk und anderen Nährstoffen (K, Mg, viele Mikronährstoffe). Eine Befragung (an der sich 161 überwiegend Brandenburger Betriebe beteiligten) ergab, dass für 89 % der Schläge eine mittlere bis hohe Heterogenität der Böden eingeschätzt wurde. Trotzdem hatten 14 % der Betriebe ihre Schläge keiner und 42 % der Betriebe lediglich einer einzelnen Bodengruppe zugeordnet. Perspektivisch halten 71,4 % der Befragten die teil-schlagespezifische Kalkung für sinnvoll, jedoch wünscht sich der überwiegende Teil eine Realisierung über Dienstleister.

Ziel ist es, kleinräumig an die Bodenart angepasst den pH-Wert zu regulieren, um stabile Krümelgefüge mit gutem Wasserspeichervermögen herzustellen. Das bedeutet gleichzeitig gute Bedingungen für Mikroorganismen und das Wurzelwachstum zu schaffen und biochemisch für optimale Austauschverhältnisse für wichtige Nährstoffionen zu sorgen.

Ergebnisse

Für einen Praxis Schlag wurden sensorbasiert Karten der Bodentextur und des Boden-pH-Wertes erarbeitet (Abb. 1). Davon abgeleitet konnte der Kalkbedarf für die Teilflächen berechnet werden (Abb. 2).

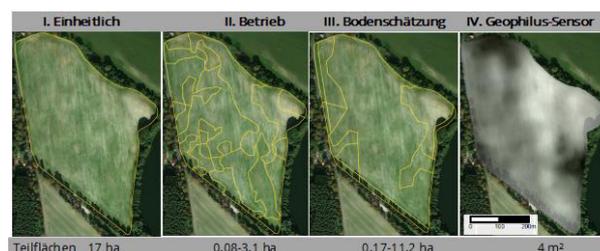


Abbildung 1: Von der flächeneinheitlichen zur präzisen Bewirtschaftung

Während bei der einheitlichen Einteilung (I) von der Bodengruppe 2 ausgegangen wurde, zeigte die sensorbasierte Texturkarte (IV) eine Zweiteilung des Praxischlages in Bodengruppe 1 und 2. Nach Betriebseinteilung (II) und Bodenschätzung (III) wies der Praxis Schlag neben Bodengruppe 2 lediglich 15 % in Bodengruppe 1 auf (Abb. 2).

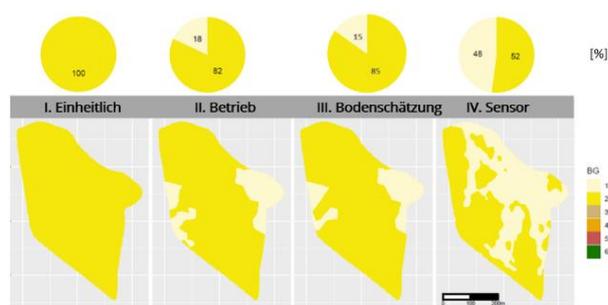


Abbildung 2: VDLUFA Bodengruppen (BG) - prozentuale Anteile und Verteilung in der Fläche.

Der Wertebereich der kalibrierten pH-Sensordaten reichte von 5,3 bis 6,9 (Median 6,1). Gemittelt in den Teilflächen ergaben sich pH-Werte von 5,7 bis 6,6 (Median 6). Nach der einheitlichen Einteilung (I) ergab sich damit für den gesamten Praxis Schlag die pH-Klasse C (bei Humus < 4 %), was eine Erhaltungskalkung mit 10 dt/ha CaO empfiehlt. Die basierend auf Sensordaten (IV) ermittelten Versorgungsstufen wiesen jedoch Flächenanteile in den pH-Klassen B (5 %), D (25 %) und E (8 %) aus. Für die größeren Flächenanteile in der Bodengruppe 1 war der Ziel-pH-Wert oft überschritten. Ein Großteil des Schlages brauchte danach nicht oder weniger gekalkt werden, nur kleine Flächenanteile mehr als in der Vergleichsvariante (I). Ausgehend von einer an die Bodenbedingungen angepasste Kalkversorgung nach Sensormessungen zeigte sich, dass nach einheitlicher Einteilung fast der gesamte Schlag übertersorgt und nach der betrieblichen Einteilung (II) lediglich 15 % bzw. nach Bodenschätzung (III) 6 % bedarfsgerecht versorgt werden (siehe Abb. 3). Der hier gezeigte Praxis Schlag

wurde durch die Überschätzung der Bodengruppe nach Bodenschätzung 3 Rotationen lang überkalkt.

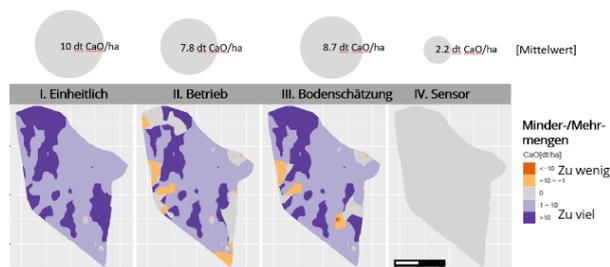


Abbildung 3: Minder- bzw. Mehrgaben von CaO (dt ha⁻¹) auf Praxis Schlag a in den Varianten: Einheitlich (I), Betrieb (II) und Bodenschätzung (III) in Differenz zum CaO-Bedarf nach Variante Bodensensoren (IV) sowie mittlerer CaO-Bedarf ha⁻¹ und CaO-Gesamt mengen (Radius).

Weitere Gegenüberstellungen für andere Schläge ergaben keinen einheitlichen Trend. Erst die Informationen aus der Sensorbodenmessung deckten schlagindividuell auf, inwieweit die bisherige Praxis dem tatsächlichen Kalkbedarf des Schlags entsprach. Es wurde deutlich, dass die Texturklassifizierung im Rahmen der Bodenschätzung keine äquivalente Informationsgrundlage zu den auf der Sedimentationsanalyse basierenden Sensortexturkarten darstellt. Im pH-BB-Projekt wurde gezeigt, dass neue bodensensorbasierte Möglichkeiten zu verbesserten Bodengruppeneinteilungen und -verteilungen führen.

Außerdem zeigten die kleinräumigen pH-Messungen auf den Schlägen der Praxispartner, dass herkömmliche Methoden, bei denen pH-Mittelwerte für Teilflächen bestimmt werden, Extremwerte und exakte pH-Verteilungen nicht erkennen können.

Werden sensorbasierte CaO-Bedarfskarten erarbeitet, hängt es von der bisherigen Praxis ab, ob dadurch in Summe Kalkmengen eingespart werden können oder der Kalkeinsatz gesteigert wird. Unabhängig von der CaO-Summe wurde aber auf jedem Schlag die Kalkumverteilung in der Sensorvariante angepasst, wobei eine Über- bzw. Unterkalkung von über +/- 10 dt CaO/ha in relevanten Flächenanteilen und oft gleichzeitig auf einer Fläche ermittelt wurden.

Empfehlungen für die Praxis

Um eine Über- bzw. Unterversorgung mit CaO langfristig zu vermeiden, ist eine bedarfsgerechte Kalk-

applikation anzustreben, die exakte Bodensensordaten berücksichtigt. Die in den Betrieben vorhandene Streutechnik kann nicht mit der hohen Genauigkeit einer Bodensensorkarte Düngemittel verteilen. Jedoch führt die Übersetzung in eine CaO-Bedarfskarte zur Zuordnung von pH-Werten zu sehr viel kleineren Teilflächen und zur präziseren Kalkung als in der bisherigen Praxis. (vgl. pH-BB-Praxisblatt 10: „Erstellung von Streukarten für die Kalkung“).

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass nicht sensorbasierte Bodentexturkarten sukzessive mit solchen ersetzt werden sollten. Die Auflösung der verwendeten Kartendaten sollte kleiner als 20 x 20 m sein, um der Variabilität gerecht zu werden. Außerdem wird eine zusätzliche Reklassifizierung der Bodenarten entsprechend der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) empfohlen. Die Umstellung kann schrittweise erfolgen: (1) Kartierung der Flächen, zu denen bisher keine plausiblen Bodeninformationen vorliegen und (2) Ersetzung von Texturkarten, die bisher auf Basis der Fingerprobe (und/oder Bodenschätzung) erstellt wurden.

Entscheidungsträgern wird empfohlen, die Erstellung hochauflösender Texturkarten als strategisch planerische Grundlage für eine nachhaltige, effektive und effiziente standortangepasste Landbewirtschaftung zu unterstützen. Dies kann geschehen durch die Unterstützung der Bodensensoranschaffung sowie durch landwirtschaftliche Beratungs-, Dienstleistungs- und Investitionsförderung. Zukünftige öffentliche Kartenwerke sollten ebenfalls den aufgezeigten Anforderungen entsprechen.

Hauptverantwortlich

pH BB GbR c/o HNE Eberswalde
Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer
Schicklerstr. 5, 16225 Eberswalde
ekramer@hnee.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Leitfaden zur präzisen Kalkdüngung

Ausgangslage und Zielsetzung

Die Produktivität landwirtschaftlicher Böden wird stark durch deren Versauerungsgrad und Pufferkapazität gesteuert. Zur Bodenversauerung kommt es durch natürliche Prozesse (z.B. Atmung von Organismen, Wurzelausscheidungen), aber auch durch managementbedingte Eingriffe ins Boden-ökosystem (z.B. Düngung, Nährstoffabfuhr durch Ernte). Daher sollten Böden, die keine natürlichen Karbonate enthalten, regelmäßig gekalkt werden, um deren Bodenfruchtbarkeit zu erhalten (**siehe pH-BB-Praxisblatt 1 (PB 1)**). Obwohl Sensoren zur Bestimmung der kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften (pH-Wert, Bodentextur und Humusgehalt) sowie technische Möglichkeiten zur Umsetzung von teilflächendifferenzierter Kalkdüngung existieren, gibt es keine etablierten Leitfäden zum Einsatz dieser Hilfsmittel in der Praxis. Daher war es das Ziel des durch die Europäische Innovations-Partnerschaft für Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit (EIP-AGRI) geförderten Projekts „pH-BB – Präzise Kalkung in Brandenburg“, Empfehlungen zu erarbeiten, die die Umsetzung ortsspezifischer und bedarfsgerechter Kalkung auf Basis von Bodensensoren in der Praxis voranbringen. Als Ergebnis für die Praxis wurde ein Werkzeugkasten (pH-BB Toolbox) entwickelt, durch den die Arbeitsschritte zur Umsetzung der präzisen Kalkung in der praktischen Landwirtschaft realisiert werden können (Abb. 1).

Präzise Kalkung mit der pH-BB-Toolbox

Die pH-BB-Toolbox besteht im Wesentlichen aus zwei Teilmodulen. Im Teilmodul A (Bodenkartierung) werden mittels sensor-basierter Bodenkartierung hochauflösende Bodenkarten der Bodentextur (**PB 3**), des Boden-pH-Wertes (**PB 4**), und des Humusgehalts (**PB 5**) erstellt. Anhand der interpolierten Sensordaten werden dann mithilfe eines Referenzprobenalgorithmus (**PB 6**) repräsentative

Punkte identifiziert, an denen wenige Bodenproben im Feld entnommen und im Labor mit Standardanalysen auf die kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften hin analysiert werden. Mithilfe dieser Referenzpunkte wird dann ein Regressionsmodell zwischen den Labor- und Sensordaten erstellt, mit dem alle Sensordaten auf die Zielgrößen kalibriert werden können (**PB 3-5**). Diese Bodenkarten können dann in die VDLUFA-Bodengruppen, Zustandsstufen und Humusklassen umgerechnet werden.

Im Teilmodul B werden die hochauflösenden pH-, Textur- und Humuskarten entweder mit dem klassischen VDLUFA-Algorithmus oder dem in pH-BB entwickelten stufenlosen Kalkungsalgorithmus (**PB 8**) verschnitten, um den CaO-Bedarf hochaufgelöst zu errechnen. Anschließend wird die CaO-Bedarfskarte in eine für jeden Düngerstreuer lesbare Streukarte umgewandelt. Dieser Schritt beinhaltet die Fahrspurausrichtung, die Berücksichtigung der Bearbeitungsbreite und die Aggregation auf im Feld umsetzbare Rastergrößen. Im letzten Schritt wird eine Applikationskarte erstellt, indem der CaO-Bedarf in die Menge des auszubringenden Kalkdüngers umgerechnet wird (**PB 10**).

Empfehlungen für die Praxis

Bodentexturkarten die durch Sensorkartierungen und Kalibration an Labormesswerten generiert wurden, geben die schlaginterne Bodenvariabilität genauer wieder als Karten der Bodenschätzung, die auf der sehr subjektiven Fingerprobe beruhen. Da die Bodentextur über Jahrzehnte weitgehend konstant bleibt, können diese einmal erstellten Karten immer wieder für die Kalk- und Grunddüngung verwendet werden. Auf diese Weise tragen sie somit dauerhaft zur Ertragssicherung, zur Erhöhung der Nährstoffausnutzung und zur Steigerung des Betriebsergebnisses bei (**PB 11**).

Hauptverantwortlich

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)
Ingmar Schröter
Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde
Ingmar.schroeter@hnee.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

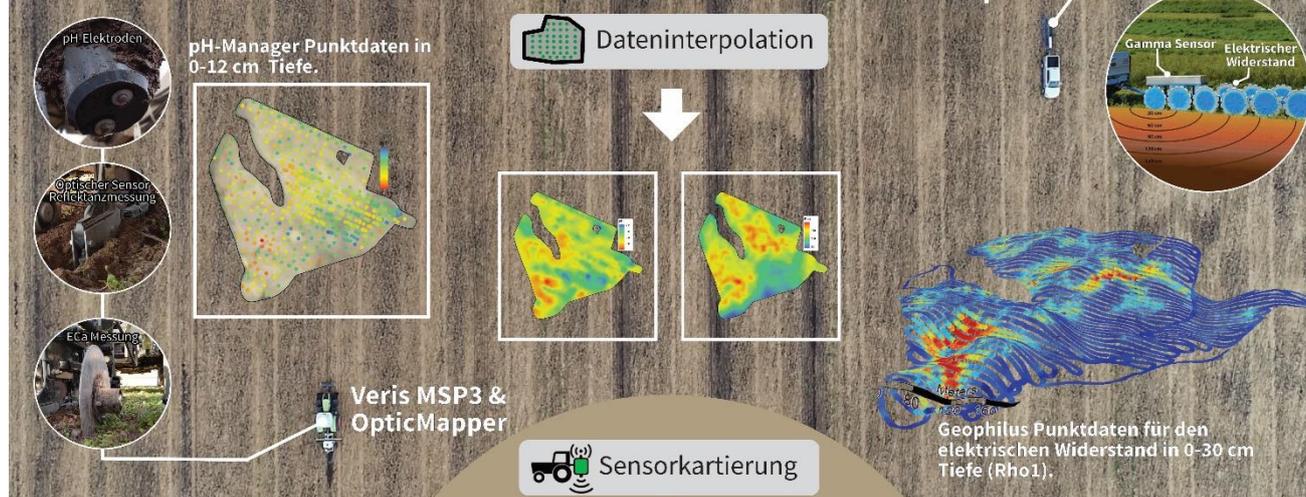
Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Die pH-BB Toolbox

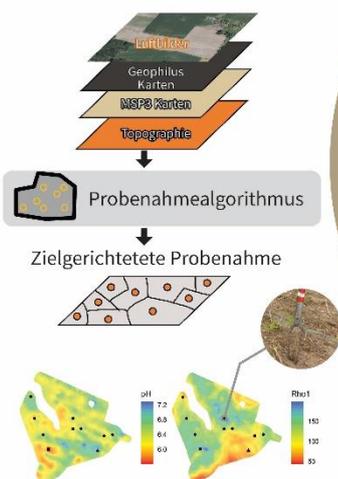
Ein Werkzeugkasten für die Erstellung von Bodenkarten und zur einfachen Umsetzung der präzisen Kalkung



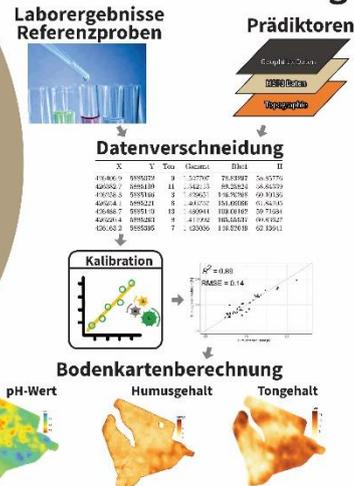
Sensorkartierung und Dateninterpolation



Referenzbeprobung



Datenkalibrierung



Applikationskartenerstellung

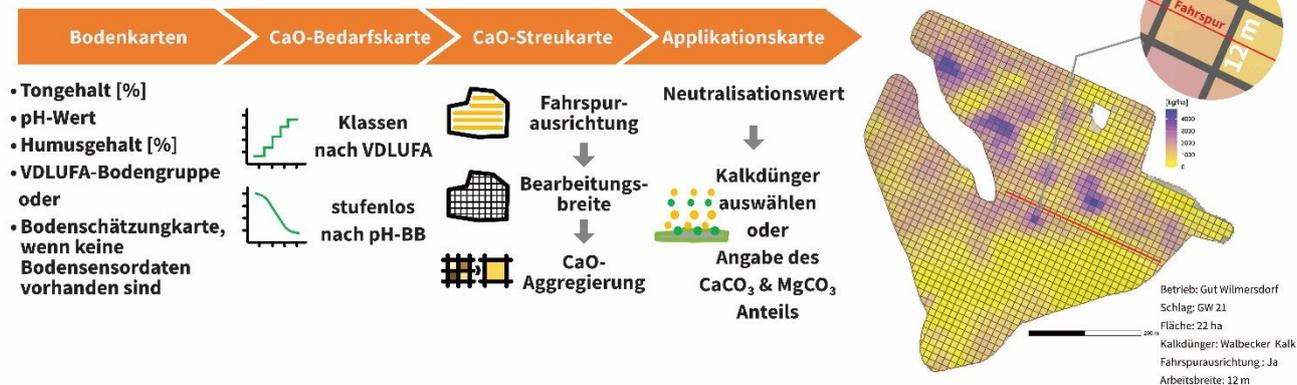


Abb. 1: Die im EIP Projekt pH-BB entwickelte Prozesskette zur Umsetzung der präzisen Kalkung (mittlere Graphik). Mithilfe der pH-BB Toolbox (Web-GIS-Anwendung) können alle Arbeitsschritte entlang der Prozesskette einfach in die praktische Landwirtschaft überführt werden. Weiterführende Informationen zu den einzelnen Arbeitsschritten erhalten Sie in den Praxisblättern PB3 bis PB12.

Bestimmung der Bodenart mittels mobiler Bodensensoren

Ausgangslage und Zielsetzung

Von der Bodentextur (Korngrößenzusammensetzung) hängen neben einer Vielzahl von physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften insbesondere auch die anzustrebenden optimalen Nährstoffgehalte im Boden und die entsprechenden Düngemengen ab. Die Bodentextur wird in der Praxis überwiegend mittels der Fingerprobe bestimmt oder aus historischen, fingerproben-basierten Karten, wie denen der sogenannten Bodenschätzung abgeleitet. Das Ergebnis der Fingerprobe hängt allerdings stark von den ausführenden Personen ab und kann damit sehr variabel ausfallen. Deshalb sollte die Fingerprobe langfristig nicht mehr als Grundlage für die Düngungsbemessung genutzt werden. In der Praxis wird bereits von verschiedenen Dienstleistern die sensorbasierte Ermittlung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit angeboten - allerdings oft ohne Zuordnung zur Bodentextur und ohne Korrektur des Bodenfeuchteinflusses. Die derzeit genaueste Möglichkeit zur Ableitung der Bodenart (auch Textur oder Korngrößenverteilung) für die Praxis ist die im pH-BB Projekt entwickelte Methode, die auf dem Geophilus Sensorsystem basiert.

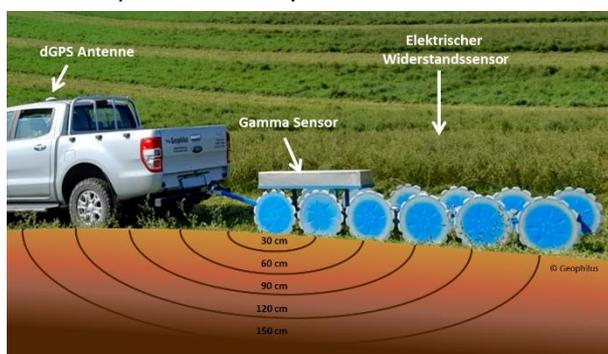


Abbildung 1: Die Geophilus Sensorplattform. Die Messtiefe nimmt mit größer werdenden Elektroden- (Rad-) Abständen zu.

Vorgehen zur Ableitung der Bodentextur mittels Bodensensoren

Das im pH-BB Projekt zur Kartierung der Bodenart verwendete Messsystem ist die Geophilus Multi-Sensorplattform (Abb. 1), die bei 18 m Spurbstand je Hektar 150-200 Messpunkte aufnimmt. Sie besteht aus zwei geophysikalischen Messkomponenten: einer Gamma-Sonde zur Messung der natürlichen Gammaaktivität des Bodens (0- 30 cm Tiefe) und sechs Paar rollende Elektroden, die den scheinbaren elektrischen Widerstand des Bodens in fünf Tiefenstufen bis zu 1.5 m Tiefe messen. Die Messsignale stehen indirekt mit der Bodenart in Zusammenhang. Die Übersetzung (Kalibrierung) der Messsignale in die Bodentextur erfolgt über die Ergebnisse der Korngrößenanalyse aus dem Labor (Abb. 2).

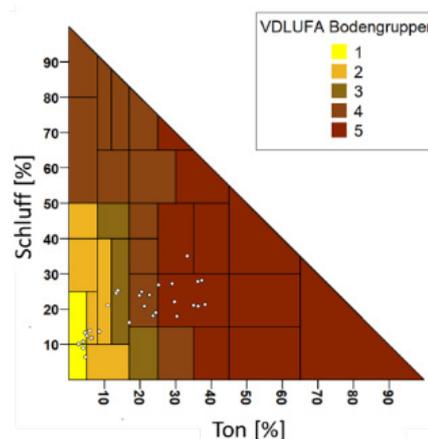


Abbildung 2: Im Labor auf Ton, Schluff und Sand untersuchte Bodenproben und Einordnung in Bodengruppen nach VDLUFA

Für das jeweilige Feld werden mittels eines Algorithmus ausgewählte Referenzpunkte ermittelt (Abb. 3, links), an denen Bodenproben entnommen

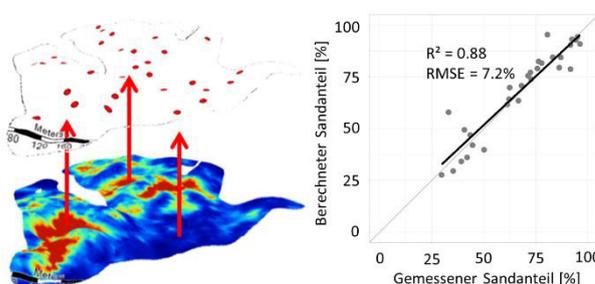


Abbildung 3: Kalibrierung der Sensordaten mit den an den Referenzpunkten entnommenen Bodenproben (links) und Einstufung der Qualität der durch mathematische Modelle **berechneten** Kornfraktionsanteile im Vergleich zu den **gemessenen** Anteilen (hier: Sandfraktion) (rechts). R^2 =Anpassungsgüte (Maximum=1); RMSE=Modellfehler (hier in % Sandanteil).

und mittels Sieb- und Schlämmanalyse auf ihren Ton-, Schluff- und Sandgehalt untersucht werden.

Zur Kalibrierung der Sensordaten, d.h. zu ihrer Übersetzung in die Bodentextur, werden mathematische Modelle genutzt, die die Laborergebnisse zu den Sensordaten an den Referenzprobenpunkten in Bezug setzen (Abb. 3, rechts).

Das finale Modell wird auf den kompletten Datensatz angewendet und somit die Ton-, Schluff- und Sandgehalte für 2 x 2 m Pixel berechnet (Abb. 4).

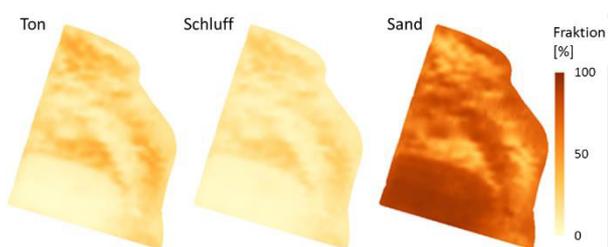


Abbildung 4: Karten für die Kornfraktionsanteile Ton (links), Schluff (Mitte) und Sand (rechts) für einen Beispielschlag des Projektes.

Ergebnisse

Mit der angegebenen Pixelgröße weisen diese sensorbasierten Karten eine deutlich feinere räumliche Auflösung auf als z.B. Bodenschätzungskarten (Abb. 5, links). Werden aus den Korngrößenkarten (Abb. 4) Bodengruppen nach VDLUFA abgeleitet, wird eine höhere räumliche Auflösung und eine höhere Texturauflösung (5 Texturklassen VDLUFA vs. 3 Klassen Bodenschätzung) erreicht (Abb. 5, Mitte).

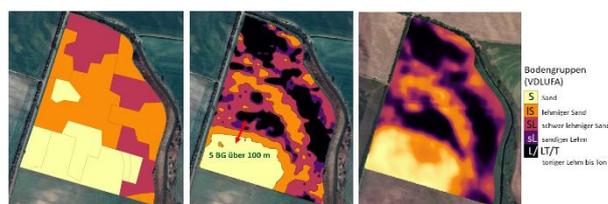


Abbildung 5: Einteilung in VDLUFA Bodengruppen auf Basis der Reichsbodenschätzung (links), mittels sensorgestützter Berechnungen der Ton-, Schluff- und Sandfraktionen (Mitte) und über den Mittleren Korngrößendurchmesser (MKD) (rechts).

Am genauesten werden die räumlichen Unterschiede widerspiegelt, wenn die Änderungen der Korngrößenzusammensetzung kontinuierlich abgebildet werden. Dazu wird für jeden einzelnen Kartenpixel aus den jeweiligen Ton-, Schluff- und Sandgehalten ein mittlerer Korngrößendurchmesser (MKD) berechnet (Abb. 5, rechts). Die Wiedergabe von Körnungsunterschieden innerhalb der

Karte erfolgt also nicht stufenweise nach Bodenarten, sondern stufenlos entsprechend des jeweiligen MKD.

Im Projektzeitraum wurden ca. 2500 ha Ackerfläche sensorbasiert kartiert. Im Vergleich wurden in den betrieblichen, fingerprobenbasierten Karten 50% der Flächen überbewertet. Überbewertet bedeutet, dass der Boden „schlechter“ ist, als angenommen. Daraus folgt, dass dort über Jahrzehnte hinweg die höheren, für „bessere“ Böden geltenden anzustrebenden Bodennährstoffgehalte für die Bemessung der Grunddüngung genutzt wurden und der heute vorzufindende pH-Wert häufig den VDLUFA Versorgungsstufen D und E entspricht.

Tabelle 1: Bewertung der Bodentextur in betrieblichen, fingerprobenbasierten Karten im Vergleich zu sensorbasierten Karten.

Betrieb	Kartierte Fläche [ha]	Einordnung der Flächen [%]		
		richtig	überbewertet	unterbewertet
PP Booßen	830	38	45	17
Komturei Lietzen	1470	27	67	6
Gut Wilmersdorf	220	56	40	4
Mittelwert		40	50	10

Empfehlungen für die Praxis

Ergebnisse bodennaher Sensorkartierungen liefern in Kombination mit Texturdaten aus dem Labor die Grundlage für eine neue Qualität von Bodentexturkarten. Diese Karten geben Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung sowohl in hoher räumlicher Auflösung als auch mit hoher Qualität der Ton-, Schluff- und Sandgehaltsbestimmung wieder. Werden diese Bodentexturkarten mit neuen, stufenlosen Düngungsalgorithmen kombiniert, erhält man die bislang exakteste Form der Düngebedarfsermittlung für Grundnährstoffe.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)
Dr. Jörg Rühlmann, Dipl. Geogr. Eric Bönecke & Dr. Swen Meyer
Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren
ruehlmann@igzev.de, boenecke@igzev.de, meyer@igzev.de

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen unter <http://ph-bb.com>

Bestimmung des Boden- pH-Wertes mittels mobi- ler Bodensensoren

Ausgangslage und Zielsetzung

Der aktuelle pH-Wert des Bodens ist neben der Textur die wichtigste Einflussgröße bei der Bestimmung des Kalkbedarfs. Aus diesem Grunde sind hochauflösende pH-Daten eines Schlages unerlässlich für eine teilflächenspezifische und bedarfsgerechte Kalkdüngung. Diese hohe räumliche Auflösung kann aus Zeit- und Kostengründen mit einer klassischen Beprobung und anschließender Standardlaboranalyse nicht erzielt werden. Deshalb ist eine sensorbasierte pH-Wert-Erfassung direkt im Feld eine schnelle und kostengünstige Alternative.

Der Wissenschaft und Praxis stehen verschiedene Bodensensoren zur Verfügung, die direkt oder indirekt Informationen zum Boden-pH-Wert liefern können.

Indirekte Methoden messen eine Bodeneigenschaft, die mit dem pH-Wert im Zusammenhang steht. Dazu zählen z.B. Eigenschaften aus der optischen Spektroskopie, d.h., dem visuellen (Vis), nahen (NIR) oder mittleren Infrarotbereich (MIR). Zur indirekten Ermittlung ist es notwendig, eine möglichst große Anzahl an Bodenproben ausgewählter Referenzpunkte zu nehmen und im Labor mithilfe der Standardmethode auf den pH-Wert zu analysieren. Erst dann kann mit statistischen Verfahren der Zusammenhang zwischen den Sensordaten und den Labor-pH-Werten hergestellt und die Sensorwerte feldspezifisch kalibriert werden. Im Labor gemessen, erzielt die MIR-Spektroskopie in der Regel die beste pH-Vorhersage, im Vergleich zur Vis-NIR-Spektroskopie. Da sie aber eine umfangreiche Probenvorbereitung erfordert (z.B. Trocknen, Sieben und Mahlen), ist sie bisher noch nicht für den Feldeinsatz geeignet. Für die Vis-NIR-Spektroskopie gibt es dagegen bereits feldtaugliche Sensorlösungen, die den Boden während der Überfahrt messen können.

Bei **direkten Messmethoden** wird der pH-Wert vom Sensor dagegen unmittelbar ausgegeben. Beispiele hierfür sind ionenselektive pH-Elektroden (pH-ISE). Diese produzieren ein potentiometrisches Signal, welches auch eng mit dem pH-Wert im Zusammenhang steht. Für den Feldeinsatz sind z.B. pH-ISE aus dem Halbmetall Antimon bzw. aus Glas, beschichtet mit Epoxid-Harz, geeignet, was die Sensoren robuster macht. Die Messungen sind hinreichend genau, um verwertbare Ergebnisse zu liefern. Allerdings ist auch hier eine feldspezifische Kalibrierung auf den Standardlabor-pH-Wert notwendig. Dafür sind jedoch deutlich weniger Referenzproben (6-10) und einfachere statistische Berechnungen nötig als bei indirekten Methoden, da ein klarer linearer Zusammenhang zwischen den Sensor- und Labor-pH-Werten besteht.

Vorgehen zur pH-Sensorkartierung

Derzeit ist im Handel nur ein automatisiertes pH-Sensorsystem – der „Soil pH Manager“ auf der mobilen Sensorplattform (MSP3) von Veris Technologies (Salina, USA; Abb. 1) – für die kontinuierliche fahrzeuggebundene Feldkartierung erhältlich.



Abbildung 1: Mobile Sensorplattform (MSP 3) von Veris technologies (Salina, USA) mit Geoelektrik (1), optischem Sensor (3) und pH-Messsystem (Wassertank (3), pH-Probenehmer (4), Bodenprobe (5), pH-Elektroden (6) und Sprühdüsen (7) zur Reinigung.

Der pH-Manager misst den pH-Wert während der Überfahrt mit zwei Antimon-pH-ISE an feldfrischem Bodenmaterial. Während der Kartierung wird der Probenehmer ca. 0,12 m tief in den Boden eingelassen wobei Boden von vorn durch eine Öffnung in den Probenehmer fließt. Anschließend wird der Probenehmer aus dem Boden herausgehoben und die Probe für die Messung gegen die beiden ionenselektiven Antimonelektroden gepresst. Ist die Messung innerhalb einer maximalen Zeit von 20 s ausreichend stabil, zeichnet ein Datenlogger die Daten zusammen mit den dGNSS-Koordinaten auf. Zusätzlich wird eine Online-Konvertierung der Spannungsdaten in pH-Werte, basierend auf einer vorhergehenden Basiskalibrierung mit pH 4 und 7 Standardlösungen durchgeführt. Nach der Messung wird der Probenehmer wieder zurück in den Boden gelassen, wobei die von vorn einfließende neue Probe, die alte Probe hinten aus dem Probenehmer drückt. In der Zwischenzeit werden die pH-Elektroden durch zwei Sprühdüsen mit Leitungswasser gereinigt, um sie für den nächsten Messzyklus vorzubereiten. Im Durchschnitt werden so pH-Werte alle 10–12 s aufgenommen. Bei einer mittleren Geschwindigkeit von 7,5 km/h, einer pH-Messung alle 10 s und einem Spurabstand von 12 m, ergeben sich ungefähr 30 Messungen pro Hektar (Abb. 2).

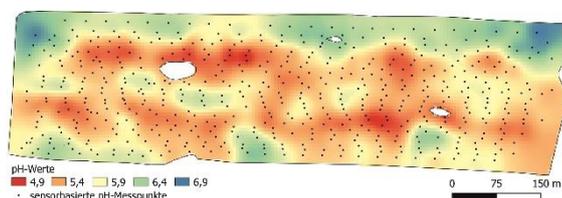


Abbildung 2: Sensorbasierte Boden-pH-Karte eines Testschlages in der Uckermark. Die Punkte entsprechen den tatsächlich gemessenen pH-Werten der Veris-MSP.

Ergebnisse

Im Anschluss an die pH-Kartierung werden die noch punkthaften Sensordaten auf fehlerhafte Daten untersucht und bereinigt, um sie durch Interpolation in flächenhafte Sensor-pH-Karten umzuwandeln. Anschließend werden anhand der Sensorkarten und mithilfe spezieller Beprobungsalgorithmen repräsentative Positionen für die Referenzbeprobung ermittelt. Nach der GPS-gestützten Referenzbeprobung werden die pH-Werte standardmäßig im Labor in einer 0.01 M CaCl₂-Lösung mit einer konventionellen Glaselektrode gemessen. Anschließend werden die Labor- und Sensor-

pH-Werte der Referenzproben in einem Streudiagramm gegenübergestellt und mithilfe der linearen Regression ein schlagspezifisches Kalibrationsmodell erstellt (Abb. 3). Dieses aus nur wenigen Labordaten ermittelte Modell dient dann der Kalibration aller im Feld gemessenen Sensor-pH-Werte. Die Vorhersagequalität kann z.B. über die mittlere Abweichung zwischen den Sensor- und Labor-pH-Werten (RMSE – Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung) in der Maßeinheit der betrachteten Bodeneigenschaft angegeben werden. Zusätzlich kann das Bestimmtheitsmaß (R^2) herangezogen werden, das zwischen 0 und 1 liegt und einen Zusammenhang zwischen Labor- und Sensor-pH von 0 bis 100% wiedergibt.

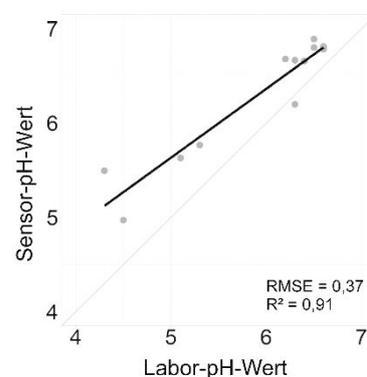


Abbildung 3: Lineares Regressionsmodell zwischen Sensor- und Labor-pH-Werten.

Empfehlungen für die Praxis

Die pH-Wertkartierung sollte idealerweise vor jedem neuen Kalkungszyklus (nach 3-4 Jahren) wiederholt werden, um zu kontrollieren, wie sich die teilflächenspezifische Kalkung auf die pH-Variabilität innerhalb des Schlages ausgewirkt hat. Im Idealfall kann ein Schlag damit ins pH-Optimum (pH-Klasse C) gebracht werden, sodass nur noch eine Erhaltungskalkung vor jedem Zyklus durchgeführt werden muss.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Dr. Sebastian Vogel
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
svogel@atb-potsdam.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstau
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Flächendeckende Ermittlung des Humusgehalts mittels Bodensensoren

Ausgangslage und Zielsetzung

Der Humusgehalt im Boden ist ein wichtiger Bodenfruchtbarkeitsindikator, da er neben seiner unmittelbaren Ertragswirkung eine Vielzahl wichtiger physikalischer, chemischer und biologischer Bodeneigenschaften sowie den Kohlen- und Stickstoffkreislauf direkt oder indirekt positiv beeinflusst. Hochauflösende Informationen, die die räumliche Variabilität des Humusgehalts beschreiben, sind für die Präzisionslandwirtschaft von essenzieller Bedeutung, um Bodenmanagementmaßnahmen und die Kalkdüngung effizient und ressourcenschonend zu gestalten. Da offiziell vorhandene Bodenkarten häufig nur qualitative Informationen liefern, erfolgt die Abschätzung des Humusgehalts zunehmend über boden- als auch luftgestützte spektraloptische Sensoren (Vis-NIR-Spektroskopie, multispektrale Fernerkundung), die sich als zuverlässige Proxies (Hilfsvariablen) erwiesen haben.

In diesem Praxisblatt präsentieren wir eine Auswahl von Sensordaten, die zur flächenhaften Kartierung des Bodenhumusgehalts auf der Feldskala geeignet sind.

Mobile Bodensensoren

Als robuste und kontinuierliche Methode zur Feldkartierung des Humusgehalts ist der **OpticMapper** von Veris Technologies (Salina, USA), als Teilmodul der mobilen Sensorplattform (MSP3) im Handel erhältlich. Der OpticMapper ist ein optischer Sensor. Er besteht aus einer Lichtquelle und einem Detektor, der über ein Saphirglasfenster die Reflektanz des Bodens im roten (Red; 660 nm) und nahen infraroten (IR; 940 nm) Wellenlängenbereich misst. Die Messtiefe ist einstellbar und beträgt etwa 4-8 cm unter der Bodenoberfläche. Die Messfrequenz

beträgt 1 Hz, so dass bei einem Spurabstand von 15 bis 20 m und einer Geschwindigkeit von 10-15 km/h eine Messpunktdichte von 150-200 Datenpunkten pro Hektar gemessen werden kann. Die Flächenleistung pro Tag beträgt je nach Geschwindigkeit und Spurabstand 60 bis 80 ha.

Eine weitere und in der Praxis erprobte Multi-Sensorplattform ist der **Geophilus**. Er besteht aus zwei geophysikalischen Messkomponenten: einer Gamma-Sonde zur Messung der natürlichen Gammaaktivität des Bodens (0-30 cm Tiefe) und sechs rollende Elektrodenpaare, die den scheinbaren elektrischen Widerstand des Bodens in fünf Tiefenstufen bis zu 1,50 m Tiefe messen. Die Messsignale des Geophilus weisen einen starken Zusammenhang zur Bodentextur auf, die indirekt auch die Humusverteilung beeinflusst. Aus diesem Grund können Geophilusdaten auch als ergänzende Informationsquelle herangezogen werden, um die Verteilungssystematik des Humusgehalts zu erklären. Als Alternative zum Geophilus kann auch das Messsignal des **Veris V3100** verwendet werden, welcher die scheinbare elektrische Leitfähigkeit in zwei Tiefenstufen misst.

Luftbildaufnahmen

In Abhängigkeit vom Aufnahmezeitpunkt können Luft- und Satellitenbilder zusätzliche wichtige Informationen liefern. Insbesondere die Bodenfärbung bei Aufnahmen von unbewachsenen Boden liefert wichtige Hinweise auf Humus- und Texturunterschiede innerhalb der Ackerfläche. Eine Vielzahl von räumlich hochauflösenden Fernerkundungsdaten steht für die Praxis kostenfrei zur Verfügung. Besonders erwähnenswert sind dabei Satellitendaten von Sentinel-2 oder RGB-Luftbildaufnahmen von Webkartendiensten wie GoogleMaps, Bing Maps oder ESRI. In Brandenburg werden zusätzlich hochaufgelöste Orthofotos über den Geobroker zum kostenlosen Download zur Verfügung gestellt.

Humuskartenerstellung

Für die flächenhafte Ermittlung des Humusgehalts kommen erprobte Methoden aus dem Bereich der digitalen Bodenkartierung zum Einsatz. Die in pH-BB entwickelte Prozesskette (siehe pH-BB-Praxisblatt 2: „Leitfaden zur präzisen Kalkdüngung“) beinhaltet dabei drei wesentliche Arbeitsschritte. Im

ersten Schritt werden die mobilen Sensorpunktdaten durch geostatistische Interpolation zu flächhaften Karten verrechnet und ein Satz geeigneter Sensordaten ausgewählt. Im nächsten Schritt werden auf Basis der Sensordaten optimale Beprobungsstandorte ermittelt. Dies geschieht durch Einsatz eines komplexer Probenahmealgorithmus pH-BB-Praxisblatt 6: „Referenzbeprobung und Probenahme-strategie“. Nach der Referenzbeprobung wird der organisch gebundene Kohlenstoff im Boden standardmäßig im Labor nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse) (ISO 10694:1995) bestimmt und mit dem Umrechnungsfaktor 1.724 der Humusgehalt ermittelt. Im letzten Schritt wird durch Einsatz multivariater Regressionsverfahren ein Prognosemodell erstellt, welches den Zusammenhang zwischen gemessenem Humusgehalt und den verwendeten Sensordaten beschreibt. Neben einfachen linearen Regressionsmethoden stehen unterschiedlichste Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens zur Verfügung, um nicht-lineare Zusammenhänge abzubilden.

Ergebnisse

Die in pH-BB erzielten Ergebnisse zeigen, dass mithilfe der entwickelten Prozesskette und einer schlagspezifischen Kalibrierung von 10 bis 12 Referenzprobenpunkten hochauflösende Humuskarten erstellt werden können. Der kombinierte Einsatz aus Geophilusdaten (Gamma und Rho1) in Verbindung mit einer vegetationsfreien Luftbilddaufnahme liefert bereits sehr gute Modellergebnisse, so dass die zusätzliche Feldkartierung mit dem OpticMapper oft entbehrlich ist. Die erstellten Humusmodelle weisen ein mittleres R^2 von 0.62 und einen Fehler (RMSE) von 0.3% auf. Die im Projekt entwickelte Methodik liefert demnach hinreichend genaue digitale Bodenhumuskarten. Eine geringe Modellgüte erzielten v.a. Schläge, mit einer sehr geringen schlaginternen Humusvariabilität (Standardabweichung $< 0.3\%$). Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass bei geringer Humusvariabilität eine sensorbasierte Kartierung des Bodenhumusgehalts nicht notwendig erscheint, da die Sensoren nicht in der Lage sind so kleine räumliche Unterschiede im Humusgehalt zu erfassen.

Empfehlungen für die Praxis

Frei verfügbare Luftbilddaufnahmen von Sentinel-2 oder Webkartendiensten eignen sich bei Verwendung vegetationsfreier Szenen als gute Datenbasis zur Abschätzung der räumlichen Verteilung des Humusgehalts. Die Kombination mit Geophilusdaten (Gamma und Rho1) liefert sehr robuste und hinreichend genaue Humuskarten für die teilflächenspezifische und bedarfsgerechte Kalkdüngung (PB), die zusätzlich für weitere Bodenmanagementmaßnahmen oder dem Humusmonitoring eingesetzt werden können.

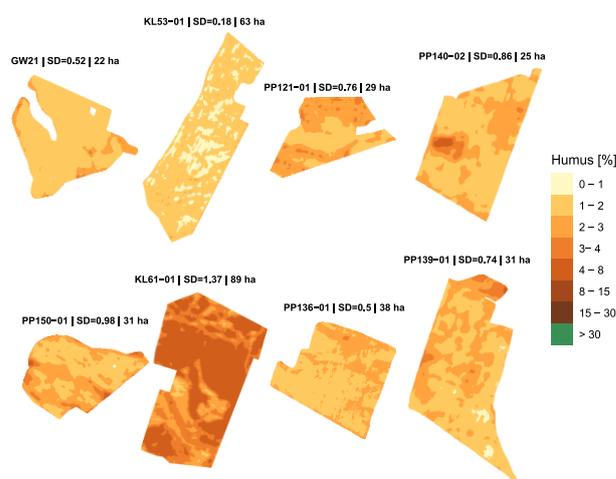


Abbildung 1: Prognostizierte Humusgehalte im Oberboden. Parameter: RGB Luftbilder und Geophilusdaten.

Hauptverantwortlich

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)
 Ingmar Schröter
 Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde
ingmar.schroeter@hnee.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
 Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
 Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
 FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
 LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
 iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
 Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
 Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
 Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Referenzbeprobung und Probenahmestrategie

Ausgangslage und Zielsetzung

Hochaufgelöste Bodenkarten, die die kalkungsrelevanten Parameter pH-Wert, Bodentextur und Humusgehalt beschreiben, sind unverzichtbar, um den Kalkbedarf eines Ackerschlages teilflächenspezifisch zu ermitteln. Öffentlich verfügbare Bodenkarten (z.B. Bodenschätzungskarte) und traditionelle Bodenprobenahmeverfahren (Mischprobenahme von 3 bis 5 ha großen Teilflächen), sind jedoch nicht in der Lage, die vielerorts hohe Bodenvariabilität innerhalb eines Schlages hinreichend abzubilden. Eine flächeneinheitliche Kalkdüngung, wie sie konventionell üblich ist, führt im Ergebnis zu einer Überversorgung eher leichter bzw. einer Unterversorgung eher schwerer Böden (siehe **PB11**), wodurch das pH-Optimum nicht erreicht und das Ertragspotenzial nicht ausgeschöpft wird. Für die Praxis ist es daher dringend erforderlich, dass neue Verfahren und Methoden aus dem Bereich der digitalen Bodenkartierung zum Einsatz kommen, um Bodenkarten in einer für die Präzisionslandwirtschaft erforderlichen Auflösung bereitstellen zu können. Der Wissenschaft und Praxis stehen verschiedene mobile Bodensensoren und Satellitendaten zur Verfügung, die bestimmte Bodeneigenschaften schnell, kostengünstig und in hoher räumlicher Auflösung im Feld georeferenziert messen (z.B. elektrische Leitfähigkeit/Widerstand, Reflexionsvermögen, Ionenaktivität, natürliche Gammaaktivität). Allerdings messen die meisten verfügbaren Sensoren die Zielgrößen nicht direkt, weshalb sie schlagspezifisch mithilfe von Referenzproben kalibriert werden müssen. Diese Referenzproben werden dazu an repräsentativen Standorten im Feld entnommen und die Bodenprobe im Labor mittels Standardmethoden auf die Zielgrößen hin analysiert. Die Sensordaten fungieren dabei als Hilfsvariablen (Prädiktoren), um Zusammenhänge (Modelle) zu den analysierten Zielgrößen zu beschreiben. Dabei kommen geostatistischen Verfahren und Regressionsverfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens zum Einsatz.

Die Kombination verschiedener Sensortechniken kann dabei die Qualität der Bodenkarte verbessern. Tabelle 1 gibt einen Überblick, welche direkten und indirekten Beziehungen zwischen den kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften und den gemessenen Sensordaten existieren. Neben der Auswahl geeigneter Sensoren ist die optimale Referenzbeprobung ein ebenso wichtiger Faktor, da sie einen großen Einfluss auf die Genauigkeit und Güte der prognostizierten Bodenkarten hat.

Tabelle 1: Übersicht der in pH-BB verwendeten Sensoren zur Prognostik der kalkungsrelevanten Bodenparameter.

Sensoren [Einheit]	Bodenkennwert		
	pH	Bodentextur	Humusgehalt
Geophilus			
Gammaaktivität [Total Counts]		x	x
scheinbarer elektrischer Widerstand [Ohm m]		x	x
Veris V3150/V3100			
scheinbare elektrische Leitfähigkeit [mS/m]		x	x
Veris pH Manager			
pH-Wert (Ionenlektroden) []	x		
Veris OpticMapper			
Reflektanzmessung Red (660 nm) und IR (940 nm) []			x
multispektrale Luftbilder (offen bzw. vegetationslos)			
DOP 20 (20 cm Auflösung) Geobroker Brandenburg			x
DOP 40 (40 cm Auflösung) Geobroker Brandenburg			x
RGB Luftbilder (Google Maps, Bing Maps, ArcGIS Online)			x
Sentinel-2 (Satellitendaten Copernicus)			x

Probenahmestrategie

Um den Arbeitsaufwand und Kostendruck in begrenztem Rahmen zu halten, besteht der Anspruch in der Praxis so wenig Referenzproben wie möglich zu nehmen. Für bestmögliche Kalibrationsmodelle besteht gleichzeitig der Anspruch, dass bei vorgegebener Probenanzahl, der Variablenraum der Sensordaten optimal abgedeckt wird, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Bodenkarten zu garantieren. Für die effiziente Ausweisung von Beprobungsstandorten empfiehlt sich die Durchführung einer selektiven und geschichteten Probenahmestrategie. Im pH-BB Projekt wurde ein Probenahmealgorithmus entwickelt, welcher über verschiedene Einstelloptionen verfügt, um den verschiedenen Praxisansprüchen gerecht zu werden. Der Beprobungsplaner ist Teil der pH-BB Toolbox (**PB2**) und kann als Web-GIS-Anwendung verwendet werden. Der Algorithmus ermittelt für einen Satz ausgewählter Sensordaten und einer gewünschten Probenanzahl, die optimalen Beprobungsstandorte im Feld. Die repräsentativen Probenahmepunkte werden mithilfe einer fuzzy c-means Clusteranalyse ermittelt, welche folgende Kriterien berücksichtigt: (1) eine möglichst große Abdeckung des multivariaten Merkmalsraumes der Sensordaten, (2) eine möglichst geringe räumliche Varianz im Bereich der Beprobungspunkte und (3)

eine gute Abdeckung der Extremwertbereiche der Sensordaten. Um den Feldgegebenheiten Rechnung zu tragen und um Probenahmepunkte im Vorgewende zu vermeiden, kann optional eine Pufferdistanz zur Feldgrenze angegeben werden. Eine weitere Besonderheit im Algorithmus ist zudem, dass optional auch eine Sensorvariable bei der Probenahme stärker gewichtet (favorisiert) werden kann. Diese Einstellung ermöglicht, dass Probenahmepunkte besonders in den Extremwertbereichen dieser Variable berücksichtigt werden. Diese Option ist besonders sinnvoll bei der Bestimmung von Punkten für pH-Referenzproben. Der Beprobungsalgorithmus liefert das Planungsergebnis in weniger als einer Minute. Die Beprobungsstandorte inklusive vorgegebener Probennummern können als Shape-Datei heruntergeladen werden und für die Navigation auf ein beliebiges GPS-Gerät gespielt werden.

Bodenprobenahme

An den ausgewiesenen Standorten erfolgt die georeferenzierte Bodenprobenahme im Feld. Dazu wird eine Mischprobe aus 4-5 Einstichen aus dem Oberboden (0-25 cm) entnommen. Die Einstiche werden im 50 cm-Radius um den Messpunkt vorgenommen, das Material in einem geeigneten Gefäß gut durchmischt und eine Teilprobe von ca. 300 – 500 g für das Labor abgefüllt. Die anschließende Analyse erfolgt in einem zertifizierten Labor nach Standardmethoden. Die Bestimmung der Bodenart erfolgt dabei ausschließlich analytisch mittels Schläm- oder Sedimentationsanalyse, die des Humusgehaltes mittels Elementaranalyse. Für dynamische Bodenparameter, wie pH, empfiehlt sich eine rasche Probenahme direkt im Anschluss nach der Sensorbefahrung. Für die Untersuchung von pH-Wert wird empfohlen, die Bodenuntersuchung in die Fruchtfolge zu integrieren und alle 3 bis 4 Jahre zu wiederholen. Für Humus empfehlen wir die Untersuchung nach etwa 12 Jahren zu wiederholen. Da sich die Bodentextur an Standorte ohne Bodenerosion kaum verändert, ist die Erstellung einer digitalen Bodentexturkarte eine einmalige Investition.

Empfehlungen für die Praxis

Die in pH-BB gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass mithilfe des pH-BB Probenahmealgorithmus ein Umfang von 12 bis 15 Referenzproben ausreichend ist, um die Bodensensordaten optimal und

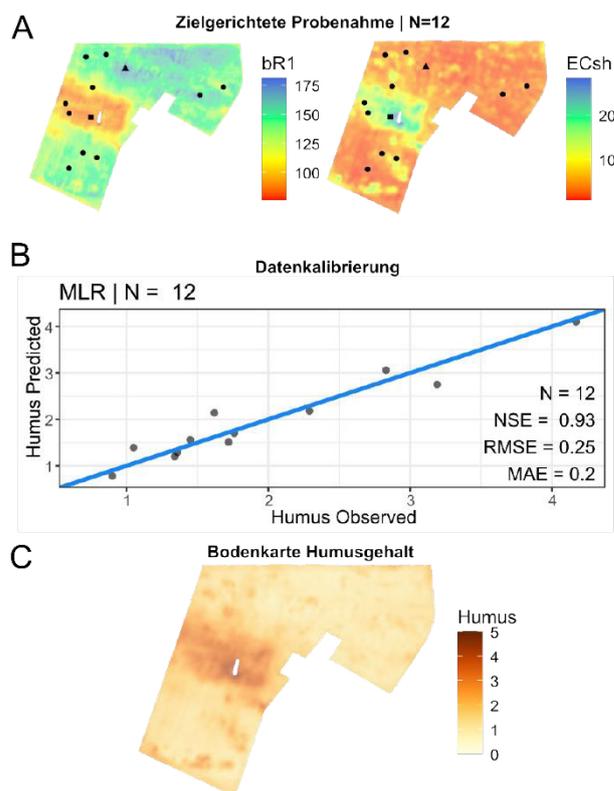


Abbildung 1: (A) Mit dem pH-BB Algorithmus ermittelte Probenahmestandorte für 12 Humusreferenzproben unter Berücksichtigung eines RGB Luftbilds und Veris ECa Daten. (B) Kalibrierungsergebnis der multiplen linearen Regression und (C) abgeleitete regionalisierte Humuskarte.

robust zu kalibrieren. Der Stichprobenumfang ermöglicht zusätzlich die Durchführung einer unabhängigen Validierung (Leave-One-Out-Kreuzvalidierung), um die Genauigkeit der Bodenkarten zu überprüfen. Die Verrechnung der Daten von maximal zwei bis drei verschiedener Sensoren (Prädiktoren) ist dabei ausreichend, um genaue Bodenkarten für die kalkungsrelevanten Parameter abzuleiten.

Hauptverantwortlich

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)
 Ingmar Schröter
 Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde
 ingmar.schroeter@hnee.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
 Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
 Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
 FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
 LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
 iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
 Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
 Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
 Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Generierung standort-differenzierter Bodenkarten

Ausgangslage und Zielsetzung

Geophysikalische Bodensensoren haben aktuell das größte Potential Bodeneigenschaften auf Ackerschlägen zu charakterisieren – werden in der Praxis aber noch zu wenig eingesetzt. Ihr Vorteil ist, kleinräumige Übergänge genauer kartieren zu können, als diese z.B. durch Abgrenzungen in Bodenschätzungskarten möglich ist. Außerdem können die aufgenommenen Messsignale direkt mit physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens, z.B. Textur, pH oder Humus, in Bezug gesetzt werden. Es hat sich außerdem gezeigt, dass der Einsatz verschiedener Sensoren die Vorhersagekraft von Bodeneigenschaften verbessert. Im Projekt kamen zwei Multisensorplattformen zum Einsatz: Die Veris-MSP der Firma Veris Technologies und das gemeinsam vom Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) und der Uni Potsdam entwickelte Geophilus Messsystem (Abb. 1).

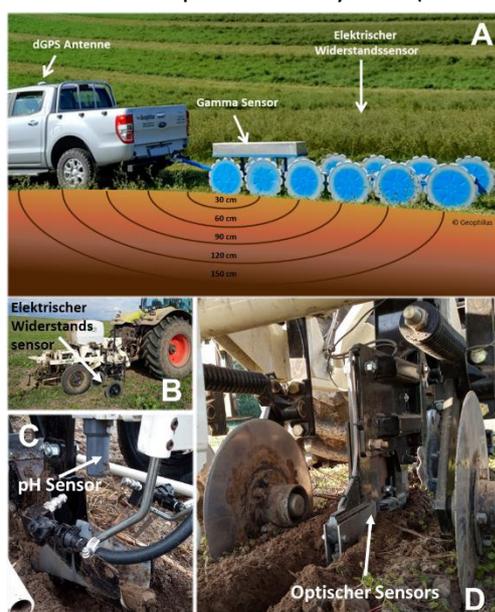


Abbildung 1: Geophilus Messsystem mit Gamma und Widerstandssensoren (A) und Veris-MSP mit Widerstandsmesser (B), pH-Manager (C) und den optischen Sensoren (D).

Vorgehen zur Generierung hochauflösender Bodenkarten

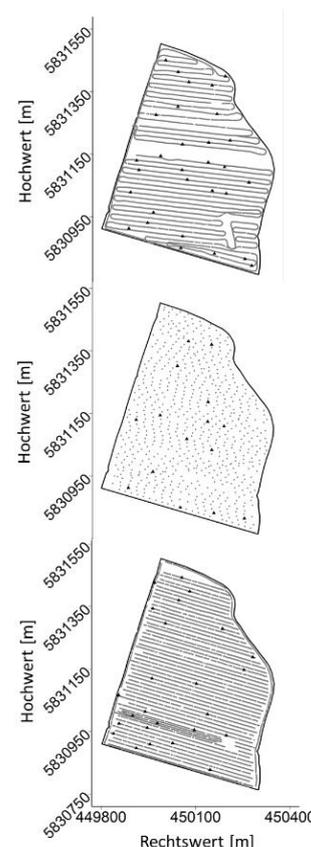


Abbildung 2: Räumliche Auflösung der gemessenen Bodenmerkmale mit dem Geophilus (oben), dem pH-Sensoren (Mitte) und den optischen Sensoren (unten).

Beide Plattformen verorten die gemessenen Eigenschaften geographisch über ein differentielles GPS. Die Geophilus Plattform kann bei Geschwindigkeiten von 10 km/h und einer Fahrspurdistanz von 18 m ca. 200 Datenpunkte je Hektar kartieren (Abb. 2, oben). Die optischen Sensoren detektieren bei 10-12 km/h und 12 m Fahrspurdistanz bis zu 260 Messsignale je Hektar und der pH-Manager ca. 30 Messungen je Hektar (Abb. 2, Mitte und unten).

Nach der Kartierung der Fläche werden die Daten aus den Loggern ausgelesen, bei einer Erstbegutachtung auf Plausibilität

überprüft und fehlerhafte Daten aus den Datensätzen gelöscht. Dies geschieht z.B., wenn die Messgeräte beim Wenden aus dem Boden gehoben werden müssen und dennoch weitere Messsignale aufgenommen werden.

Um lückenlose Informationen für die gesamte Fläche zu generieren, werden die Punktdaten über geostatistische Verfahren analysiert und regionalisiert. Bei der Regionalisierung werden über mathematische Modelle Beziehungen zwischen den Messpunkten hergestellt und mit plausiblen Werten interpoliert. Gängige Interpolationsverfahren für Geodaten sind z.B. die Inverse Distanzgewichtung (IDW) oder Kriging. Letzteres Verfahren ermöglicht es, räumlich verteilte Daten so zu analysieren, dass z.B. ihre räumliche Variabilität (Varianz), Kontinui-

tät und Richtungsunabhängigkeit mit Hilfe von Semivariogrammen berücksichtigt wird. Im pH-BB Projekt wird im Wesentlichen auf das Kriging-Verfahren zu Regionalisierung gesetzt, da es sich gegenüber einfachen räumlichen Autokorrelationsmethoden durchgesetzt hat.

Ergebnisse

Als Ergebnis entstehen flächenhafte – also lückenlose Sensorkarten, die abhängig von ihrer Messeigenschaft unterschiedliche räumliche Muster erzeugen (Abb. 3). Neben den gewonnenen Sensorkarten lassen sich die verschiedenen Daten miteinander fusionieren, um neue Informationen zu gewinnen. So wird z.B. aus den optischen Werten des Rot- und Infrarot-Kanals das Infrarot-Rot-Verhältnis als zusätzliche Größe gewonnen, welches bei der Kalibrierung von Humusdaten genutzt wird (Abb. 4, links). Um den Einfluss der Bodenfeuchte auf den elektrischen Widerstand zu bestimmen, kann dieser mit den Gammadaten verschnitten werden und über den so erzeugten Geophilus-Feuchte-Index (GFI) beschrieben werden (Abb. 4, rechts).

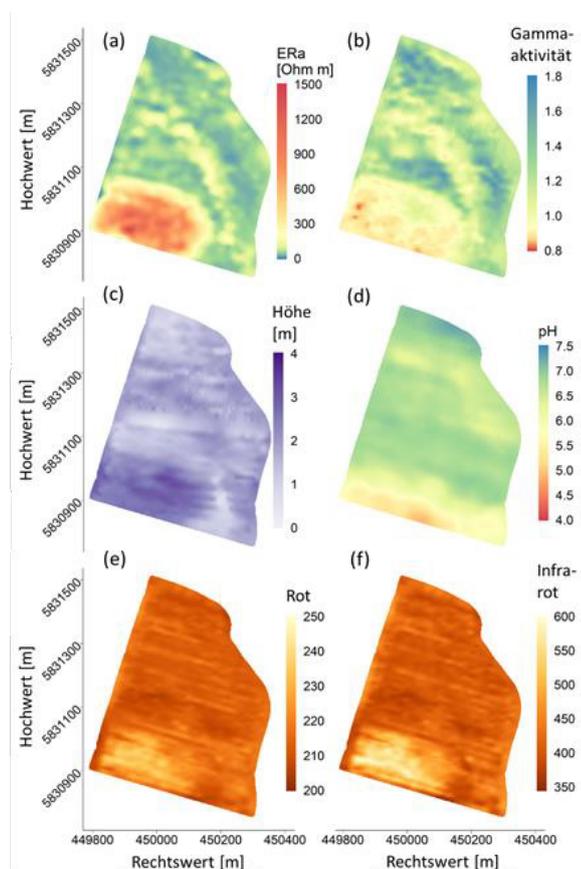


Abbildung 3: Interpolierte Geodaten des elektrischen Widerstandes (a), der Gamma-aktivität (b), der Geländehöhe (c),

des Boden-pH-Wertes (d), des rot-Wertes (e) und des Infrarot-Wertes (f).

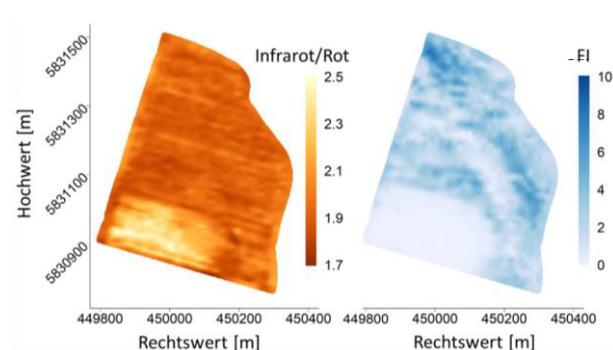


Abbildung 4: Zusätzlich gewonnene Bodeninformation aus der Datenfusion von Infrarot und Rot für die Humuskalibrierung (links) und zur Einschätzung des Einflusses der Bodenfeuchte auf das Widerstandssignal im Verhältnis zur Gamma-aktivität abgebildet als Geophilus Feuchte Index (GFI) (rechts).

Um landwirtschaftlich und bodenkundlich relevante Eigenschaften aus den interpolierten Sensordaten zu gewinnen, werden diese mit im Labor analysierten Referenzproben (vgl. pH-BB-Praxisblätter 3 bis 5) kalibriert.

Empfehlungen für die Praxis

Hochaufgelöste Bodenkarten eignen sich hervorragend, um lückenlose Informationen über die Bodenvariabilität eines Schläges zu gewinnen. Diese können durch Regionalisierung von Punktdaten aus Sensorsystemen gewonnen werden, bei denen eine relativ hohe Punktdichte je Hektar gewährleistet ist. Die Sensorkarten können nach erfolgreicher Kalibrierung über Regressionsverfahren zu agronomisch relevanten Bodeninformationen weiterverarbeitet oder zur Abgrenzung von Teilflächen genutzt werden.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)
Dr. Jörg Rühlmann, Dipl. Geogr. Eric Bönecke & Dr. Swen Meyer
Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren
ruehlmann@igzev.de, boenecke@igzev.de, meyer@igzev.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstein
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Stufenlose Bestimmung der Kalkbedarfsmenge

Ausgangslage und Zielsetzung

Bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit spielt der pH-Wert eine zentrale Rolle. Seine Regulierung erfolgt über die Kalkung. Generell sollten die für das Nährstoffmanagement des Bodens erforderlichen Düngermengen sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen bestmöglich an die standörtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Die für die pH-Regulierung erforderliche Kalkmenge wird in Deutschland überwiegend auf Grundlage des VDLUFA-Standpunktes „Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden“ ermittelt. Darin ist ein klassenbasiertes Tabellensystem enthalten, aus dem die jeweilige Kalkdüngungsempfehlung unter Berücksichtigung des aktuellen pH-Wertes, der Bodentextur und des Humusgehaltes abgelesen werden kann. Der gemessene aktuelle pH-Wert des Bodens ist umso aussagekräftiger für die Düngungsbestimmung, je homogener der Boden des Teils des Schläges ist, aus dem die Probe entnommen wurde. Vielfach werden dazu Mischproben aus 3-5 ha großen Teilstücken entnommen. Moderne Messtechnik macht es nun möglich, den pH-Wert des Bodens mittels eines mobilen Bodensensorsystems flächenhaft zu bestimmen (siehe pH-BB-Praxisblatt 4: „Bestimmung des Boden-pH-Wertes mittels mobiler Bodensensoren“). Auch für die Kartierung der Bodentextur steht mit dem Geophilus Messsystem eine sensorbasierte Lösung für die Generierung räumlich hochaufgelöster Karten zur Verfügung (siehe pH-BB-Praxisblatt 3: Bestimmung der Bodenart mittels mobiler Bodensensoren). Im Ergebnis der Sensoranwendung entstehen Karten, die sehr feine Unterschiede in den Bodentexturwerten abbilden. Im o.g. VDLUFA Tabellenwerk wird die Bodentextur jedoch nur vergleichsweise grob in Form von 5 Texturklassen (Bodengruppen 1-5) berücksichtigt. Entsprechend grob sind auch die ausgewiesenen Stufen der Kalkmengen für die 5 Bodengruppen differenziert: z.B. 6, 10, 14, 17 und 20

dt CaO/ha für die Erhaltungskalkung (Versorgungsstufe C). Daher war es unser Ziel, einen Kalkdüngungsalgorithmus zu entwickeln, der feine Unterschiede im aktuellen pH-Wert, der Bodentextur und im Humusgehalt bei der Berechnung der Kalkdüngungsempfehlung berücksichtigen kann.

Vorgehen zur stufenlosen Berechnung von Kalkbedarfsmengen

Um den Kalkbedarf für jede existierende Kombination aus pH, Textur und Humus zu ermitteln, wurde am Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) ein Algorithmus entwickelt, der die Kalkbedarfsbestimmung aus dem konventionellen Ansatz der VDLUFA in einen stufenlosen überführt (Abb. 1).

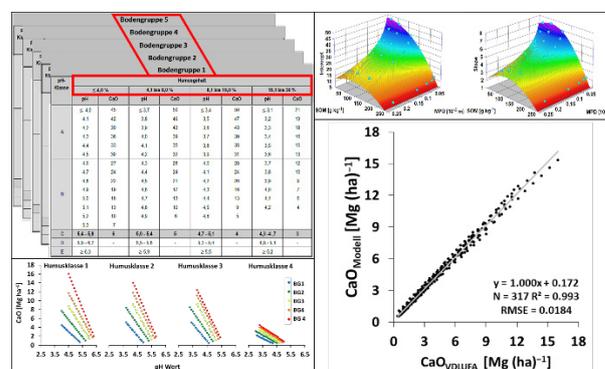


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Ableitung des Kalkbedarfs (CaO) unter Berücksichtigung des aktuellen Boden-pH, der Bodentextur, ausgedrückt als mittlerer Korndurchmesser (MKD), und des Humusgehaltes. Rechts unten: N=Anzahl der verglichenen Düngungsempfehlungen; R²=Anpassungsgüte des Modells (Maximum=1); RMSE=Modellfehler (hier: CaO in Tonnen je Hektar).

Zunächst wurden die im VDLUFA Tabellenwerk enthaltenen Kalkdüngungsempfehlungen (Abb. 1, links oben) digitalisiert. Für jede der 20 Kombination aus den vier Humusklassen und fünf Bodengruppe wurde die Funktion berechnet, die die Abhängigkeit der empfohlenen CaO-Menge vom pH-Wert abbildet (Abb. 1, links unten, 20 farbige lineare Funktionen). Dann wurden jeder Humusklasse und jeder Bodengruppe ein mittlerer Humusgehalt bzw. ein zentraler mittlerer Korndurchmesser (MKD) zugeordnet. Schließlich ermöglichten es komplexe mathematische Modelle (Abb. 1, rechts oben), den CaO-Bedarf für jede x-beliebige Kombination aus aktuellem pH-Wert, Humusgehalt und MKD zu berechnen. Dabei sollten die im VDLUFA

Tabellenwerk enthaltenen 317 CaO-Düngungsempfehlungen bestmöglich durch das finale Modell wiedergegeben werden (Abb. 1, rechts unten).

Innerhalb des pH-Wertbereiches der Versorgungsstufe C (optimaler pH-Wert) werden nach dem Stufenlosalgorithmus, anders als beim klassenbasierten VDLUFA-Ansatz, unterschiedliche CaO-Mengen empfohlen. Die im VDLUFA Tabellenwerk ausgewiesenen CaO-Mengen für die Erhaltungskalkung werden im Stufenlosalgorithmus nur an der pH-Wertgrenze zu Versorgungsstufe B empfohlen. Bei steigenden pH-Werten sinken die CaO-Bedarfsmengen bis auf den Wert 0, wenn die pH-Wertgrenze zur Versorgungsstufe D erreicht wird.

Die im VDLUFA Tabellenwerk für jede der fünf Bodengruppen ausgewiesenen Höchstmengen für eine einzelne Kalkgabe werden im Stufenlosalgorithmus auch stufenlos in Abhängigkeit vom MKD berechnet.

Ergebnisse

Auf Basis der kalibrierten Sensordaten kann der stufenlose Algorithmus spezifische Kalkbedarfsmengen für jede Kombination aus Boden-pH, Textur und Humus in einer Auflösung von 2 x 2 m berechnen (Abb. 2, links). Neben Kalkbedarfskarten werden außerdem Übersichtskarten für die Kalkversorgungsstufen ausgegeben (Abb. 2, rechts).

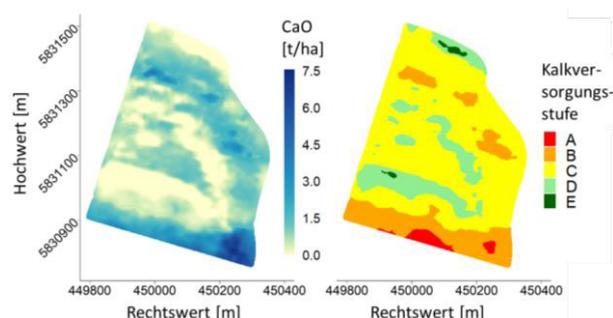


Abbildung 2: Über den Stufenlosalgorithmus berechnete Kalkbedarfsmengen in einer Auflösung von 2 x 2 m (links) sowie die entsprechenden Kalkversorgungsstufen auf Basis der aktuell gemessenen pH-Werte (rechts).

Auch heute werden in der Praxis noch viele Felder flächeneinheitlich gedüngt, wobei je Feld eine mittlere Bodengruppe zugrunde gelegt wird. Nachfolgend wird dargestellt, wie sich dieses Vorgehen auf den Düngestatus auswirkt. In Abbildung 3 wurde unterstellt, dass der gesamte Schlag der Bodengruppe 1 (BG1) (links), BG2 (Mitte) oder BG3

(rechts) zuzuordnen ist. Die auf dieser Grundlage unter Verwendung des VDLUFA Tabellenwerkes ermittelten CaO-Bedarfsmengen wurden denen gegenübergestellt, die basierend auf den Sensordaten und dem Stufenlosalgorithmus bestimmt wurden. Im Ergebnis ergibt sich der Düngestatus – über- oder unter- oder adäquat gedüngt.

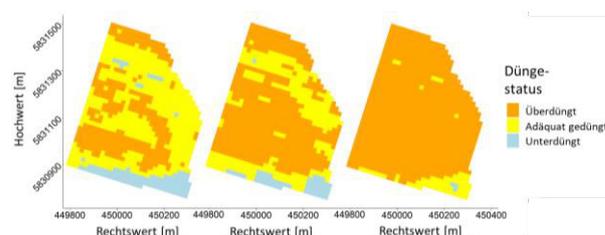


Abbildung 3: Verteilung von über-, adäquat und unterdüngten Flächenanteile bei einer einheitlichen Düngung nach Bodengruppe BG1 (links), BG2 (Mitte) und BG3 (rechts).

Während bei Zugrundelegung von BG1 mehr als 50% der Fläche adäquat versorgt würden, würden bei BG2 mehr als 60% und bei BG3 mehr als 90% der Fläche überdüngt werden.

Empfehlungen für die Praxis

Eine an die Bodenbedingungen angepasste Kalkbedarfsermittlung ist für ein modernes pH-Management unerlässlich. Bei Verfügbarkeit hochaufgelöster pH-Wert, Textur- und Humuskarten reicht die herkömmliche Methode mittels einfacher klassenbasierter Ableitung der Kalkmengen nicht mehr aus. Eine stufenlose Ermittlung der Bedarfsmengen wird notwendig. Dafür wurde im pH-BB Projekt ein Algorithmus entwickelt, der diesen Anforderungen gerecht und zur Bestimmung des Kalkbedarfs empfohlen wird.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)
Dr. Jörg Rühlmann, Dipl. Geogr. Eric Bönecke & Dr. Swen Meyer
Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren
ruehlmann@igzev.de, boenecke@igzev.de, meyer@igzev.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Basenneutralisationskapazität – eine direkte Bestimmung des Kalk- und Versauerungsbedarfs

Ausgangslage und Zielsetzung

Die VDLUFA-Methode zur Schätzung des Kalkbedarfs basiert auf einer Messung der aktuellen Azidität (aktueller pH-Wert) des Bodens sowie seiner potenziellen Azidität über die Bodentextur und den Humusgehalt (Ziel-pH-Wert). Die Beziehungen zwischen diesen 3 Eigenschaften und dem Kalkbedarf eines Bodens wurde in jahrzehntelangen Feldversuchen empirisch ermittelt und bilden die Grundlage der aktuell verwendeten VDLUFA-Tabellenwerke. Im Gegensatz zu dieser indirekten Schätzmethode, lässt sich der Kalkbedarf auch direkt und individuell für jede Bodenprobe über die Basenneutralisationskapazität (BNK) ermitteln.

Bestimmung der Basenneutralisationskapazität

Die BNK ist eine Titrationsmethode, bei der einer Bodenprobe eine Base (z.B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$) in steigender Konzentration zugegeben und der sich nach einer Einwirkzeit von mehreren Stunden einstellende pH-Wert gemessen wird. Diese pH-Änderung wird dann mit der hinzugefügten Basenkonzentration als Titrationskurve als mathematische Funktion dargestellt (Abb. 1, oben).

Eine Besonderheit des aus der BNK ermittelten Kalkbedarfs besteht darin, dass sich über die Titrationskurve auch negative Kalkbedarfe abbilden lassen, wenn der gegenwärtige pH-Wert einer Bodenprobe bereits über dem gesetzten Ziel-pH-Wert liegt. Damit ließe sich zusätzlich zum Kalkbedarf ein Versauerungsbedarf quantifizieren, der sich bei basischen Böden ergibt (Abb. 1, unten).

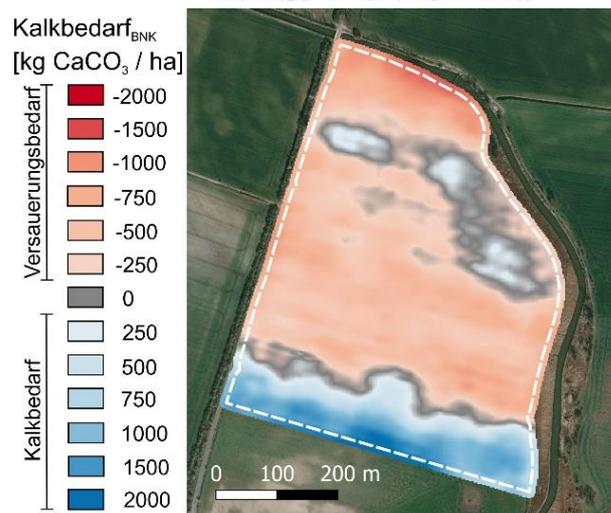
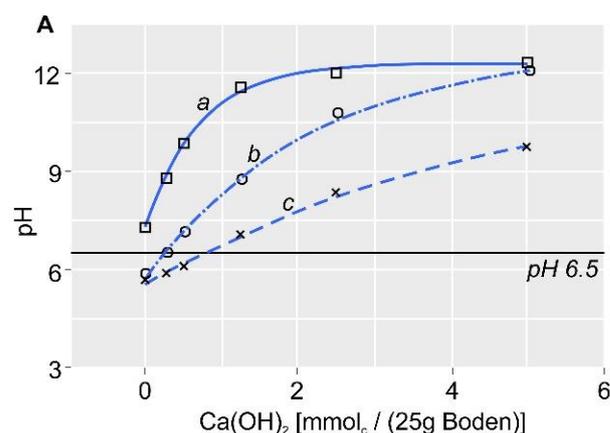


Abbildung 1: Beispiele für BNK-Titrationskurven: Unterschiedliche Verläufe von BNK-Titrationskurven (a, b, c) je nach Bodeneigenschaften (z.B. pH-Pufferkapazität). Die durchgezogene schwarze Linie zeigt den Ziel-pH-Wert von 6,5 an (oben). Ortsspezifischer Kalkbedarf nach der Basenneutralisationskapazität für einen landwirtschaftlichen Schlag in Brandenburg (unten).

Ergebnisse

Wenn man den VDLUFA-Kalkbedarf mit dem BNK-Kalkbedarf vergleicht (Abb. 2), fällt auf, dass beide Werte zusammenhängen. Diese Korrelation verbessert sich, wenn statt eines festen Ziel-pH-Wertes von z.B. 6,5 die VDLUFA-Ziel-pH-Werte berücksichtigt werden. Aus den Diagrammen ist gut zu erkennen, dass das VDLUFA-Schema ein kategoriales System ist, während der BNK-Kalkbedarf kontinuierlich abgebildet wird. Deshalb sind z.B. BNK-Kalkbedarfe von -289 bis 420 $\text{kg CaCO}_3 / \text{ha}$ mit einem einzigen VDLUFA-Kalkbedarfswert von 1.786 $\text{kg CaCO}_3 / \text{ha}$ assoziiert (Abb. 2, oben). Die im pH-BB Projekt erfolgte Entwicklung eines kontinuierlichen und stufenlosen VDLUFA-Algorithmus ermöglicht eine genauere Kalkbedarfsberechnung, die besonders für die ortsspezifische Kalkdüngung wichtig ist

(siehe pH-BB **PB8**: Stufenlose Bestimmung der Kalkbedarfsmenge).

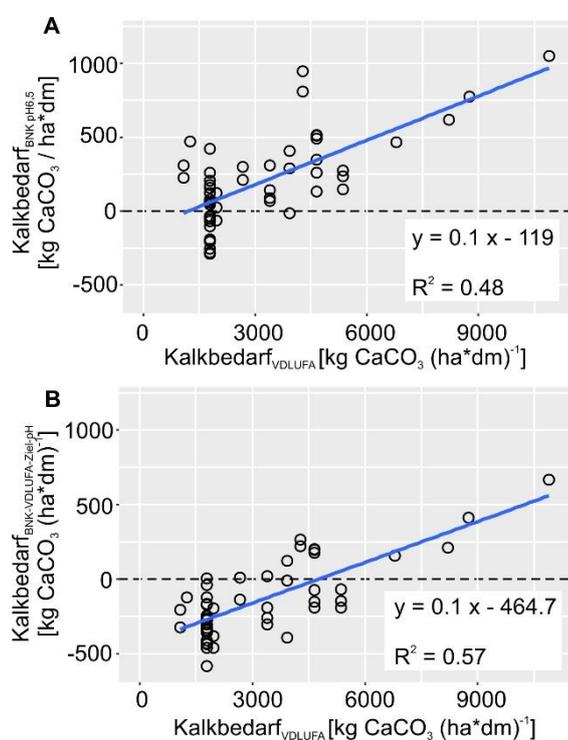


Abbildung 2: (A) Vergleich zwischen VDLUFA- und BNK-Kalkbedarf für einen festen Ziel-pH-Wert von 6,5, (B) VDLUFA- und BNK-Kalkbedarf berechnet für variable Ziel-pH-Werte gemäß VDLUFA.

Der VDLUFA-Kalkbedarf ist im Endergebnis um eine Größenordnung höher als der BNK-Kalkbedarfs (Abb. 2). Darüber hinaus gibt es einen konstanter Zuschlag von 119 bzw. 465 kg CaCO₃ / ha. Dafür gibt es zwei Hauptgründe: Das VDLUFA-Schema beinhaltet das Konzept der Erhaltungskalkung, das eine Kalkung auch dann empfiehlt, wenn sich der pH-Wert bereits im optimalen Bereich befindet. Das Ziel ist, Calciumverluste durch Bodenversauerung wie Auswaschung, Nährstoffentzug sowie Säureeinträge auszugleichen und somit den pH-Wert bis zum nächsten Kalkungszyklus in 3 bis 6 Jahren zu halten. Die BNK-Methode hingegen bestimmt nur den Kalkbedarf, der zur momentanen Erreichung des Ziel-pH-Wertes notwendig ist.

Ein zweiter Grund ist, dass die VDLUFA-Methode unter realen Feldbedingungen entwickelt wurde und daher natürliche bodenversauernde Prozesse, die zu einer Minderung der pH-Wirksamkeit des Kalkes beitragen, berücksichtigt. Die BNK hingegen wurde ausschließlich auf Basis von Laboranalysen unter standardisierten Bedingungen entwickelt,

d.h. Prozesse wie Auswaschung von Basen, saurer Regen oder Nährstoffaufnahme durch Pflanzenwurzeln werden nicht berücksichtigt.

Empfehlungen für die Praxis

Der Kalkbedarf nach der BNK kann eine wertvolle Ergänzung zum VDLUFA-Kalkbedarf sein, da er Informationen über die direkte Reaktion des Boden-pH-Wertes auf die Kalkanwendung liefert und zusätzlich Angaben zum potenziellen Versauerungsbedarf zulässt. Um beide Ansätze auch unter Praxisbedingungen vergleichen zu können, sind jedoch Feldversuche erforderlich.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Dr. Sebastian Vogel
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
svogel@atb-potsdam.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstauf
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Erstellung von Streukarten für die Kalkung

Ausgangslage und Zielsetzung

Im pH-BB-Projekt standen die sensorbasierte und kleinräumige Erfassung der Bodenmerkmale pH-Wert, Bodentextur und Humusgehalt im Mittelpunkt, um das pH-Management auf landwirtschaftlichen Böden zu verbessern. Die genannten drei Bodenmerkmale sind die Grundlage für die Berechnung des CaO-Bedarfs auf Grundlage des VDLUFA-Rahmenschemas. Auf Basis der kalibrierten Sensordaten ergeben sich Bodenkarten, die sehr feine Unterschiede in den Bodenmerkmalen abbilden können, weshalb ein stufenloser Algorithmus entwickelt wurde, der spezifische Kalkbedarfsmengen für jede Kombination aus Boden-pH, Textur und Humus in einer Auflösung von 2 x 2 m berechnen kann (siehe pH-BB-Praxisblatt 8: „Stufenlose Bestimmung der Kalkbedarfsmenge“).

Für die Durchführung der Düngungsmaßnahme sind die für 2 x 2 m Pixel berechneten Kalkbedarfsmengen in Streukarten zu überführen, die sowohl den Anforderungen des Kalkdüngers und der Streutechnik entsprechen als auch an die ackerbaulichen Voraussetzungen angepasst sind.

Vorgehen zur Erstellung von Applikationskarten für die Kalkung

Die Erstellung von Kalkapplikationskarten aus CaO-Bedarfskarten wurde im Rahmen der im pH-BB Projekt entwickelten Software (pH-Toolbox) umgesetzt (siehe pH-BB-Praxisblatt 2), die folgende Faktoren bei der Düngplanung berücksichtigt:

- Applikationstechnik: Arbeitsbreite und Umschaltgeschwindigkeit bei Mengenwechsel
- Fahrspurausrichtung
- Kalkungsintervall
- Zeitpunkt der Bodenuntersuchung
- Höchstmengen je Kalkung
- Art des verwendeten Kalkdüngers

Ergebnisse

Applikationstechnik: Um die Streukarte an die vorhandene Streutechnik anzupassen, wird das 2 x 2 m Raster der Kalkbedarfskarte in ein Raster übergeführt, das der Arbeitsbreite des Kalkstreuers entspricht. Je größer diese Arbeitsbreite ist, desto schlechter können kleinräumige Kalkbedarfsunterschiede bei der Düngung berücksichtigt werden. Zusätzlich unterscheiden sich die Applikationsmengen mit größerer Arbeitsbreite an den Pixelübergängen stärker, weshalb sich folglich auch die Ausbringungsmengen je Feld erhöhen.

Die zur Kalkung häufig eingesetzten Zentrifugalstreuer arbeiten mit einem dreieckigen Streubild, so dass 100% der gewünschten Ausbringung über die gesamte Arbeitsbreite erst durch die Überlappung der beiden benachbarten Fahrspuren realisiert werden. Eine exakte Ausrichtung der Streukarte entlang der **Fahrspur** vermindert Ungenauigkeiten in der Ausbringung (Abb. 1).

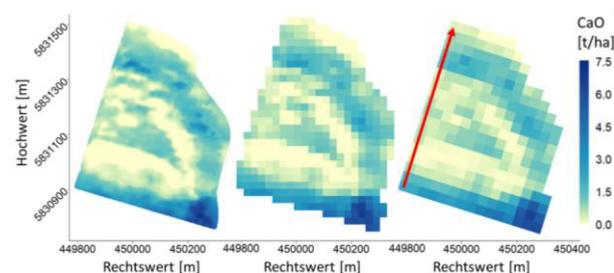


Abbildung 1: Aggregation der berechneten hochaufgelösten Kalkbedarfsmenge von 2 x 2 m (links) auf eine ausbringungsgerechte Breite von z.B. 12 x 12 m (Mitte). Ausrichtung der Streukarte parallel zur gewünschten Fahrtrichtung als Shape-Datei (rechts).

Streukarten können als Shape-Datei (.shp) oder im ISO-XML-Format (.xml) gelesen werden, wobei ISO-XML auf 250 unterschiedliche Applikationsmengen bzw. 15000 Pixel pro Schlag/Auftrag begrenzt ist. Eine Applikationskarte im ISO-XML-Format wird vom Bordcomputer generell als Raster in Nord-Süd-Ausrichtung umgerechnet und abgearbeitet. Entsprechend kann für dieses Format keine Spuranpassung vorgenommen werden.

Kalkungsintervall: Die für ein Kalkungsintervall berechneten CaO-Mengen sind so bemessen, dass nach 4 Jahren die Versorgungsstufe C erreicht ist. Ist das Kalkungsintervall länger ($x > 4$ Jahre), erfolgt je zusätzlichem Jahr (x) ein Zuschlag in Höhe von $\frac{x}{4}$

mal der benötigten Menge für die erforderliche Erhaltungskalkung. Ist das Intervall kleiner, wird nur $\frac{x}{4}$ der berechneten Kalkbedarfsmenge gekalkt.

Probenahmezeitpunkt der pH-Wert-Bestimmung: Beträgt der Abstand zwischen pH-Bodenprobenahme und Düngerausbringung mehr als ein Jahr, wird je Jahr (x) ein Zuschlag in Höhe von $\frac{x}{4}$ mal der erforderlichen Erhaltungskalkung berechnet.

Höchstmengen je Kalkung: In Abhängigkeit von der Bodentextur (siehe pH-BB Praxisblatt 8) unterscheiden sich die Höchstmengen an Kalk, die in einer jährlichen Gabe nicht überschritten werden sollten. Bei zu hohen Ausbringungsmengen ist unter Umständen eine Gabenteilung erforderlich. Die Kalkmenge wird in diesem Fall gesplittet und in zwei aufeinander folgenden Jahren appliziert.

Art des verwendeten Kalkdüngers: Für die Berechnung der Streukarte werden die auf CaO-Basis berechneten Werte in die Düngermenge umgerechnet. Hierbei wird die Neutralisationswirkung des Kalkdüngers berücksichtigt (Abb. 2), die sich aus den Ca- und Mg-Gehalten (angegeben in CaO und MgO oder CaCO₃ und MgCO₃) berechnet.

CaO	x	1,785	→	CaCO ₃	CaCO ₃	x	0,560	→	CaO
Ca	x	2,497	→	CaCO ₃	CaCO ₃	x	0,400	→	Ca
Ca	x	1,399	→	CaO	CaO	x	0,715	→	Ca
MgO	x	2,092	→	MgCO ₃	MgCO ₃	x	0,478	→	Mg
Mg	x	3,468	→	MgCO ₃	MgCO ₃	x	0,288	→	Mg
Mg	x	1,658	→	MgO	MgO	x	0,603	→	Mg

Abbildung 2: Umrechnungsfaktoren basisch wirksamer Bestandteile.

Die pH-Wirkung eines Kalkdüngers ist zudem von seinem Mahlgrad abhängig. Mengenanpassungen sind optional möglich, um auf die Nutzerbedürfnisse und Anforderungen der Streutechnik einzugehen. Bei Düngerstreuern mit Kratzboden sollten Null-Mengen vermieden werden, andere Streuer setzen mindestens 300 kg Kalk/ha voraus.

Empfehlungen für die Praxis

Die pH-Bodenprobenahme sollte an das Kalkungsintervall angepasst und in die Fruchtfolge integriert werden. Aufgrund von pH-Schwankungen innerhalb eines Jahres sollten Bodenproben immer zur gleichen Jahreszeit genommen werden. Nur so ist ein langfristiges und repräsentatives Monitoring der Entwicklung der pH-Klassen möglich.

Für eine präzise Kalkausbringung ist es wichtig, die Anforderungen seitens der Streutechnik und des verwendeten Düngers zu berücksichtigen. Als Naturprodukt sind chargenspezifische Unterschiede üblich (Korndurchmesser, Feuchtigkeit etc.). Mit einem chargenspezifischen Streugutachten und der Überprüfung der Querverteilung mit Streuschalen oder Prüfmatten kann die Einstellung der Streutechnik optimiert werden. Die Dosierung sollte vor jeder Ausbringung mit einer Abdreprobe kalibriert werden. Durch den Einsatz von granuliertem Kalk können höhere Wurfweiten (ca. 18 m) und eine höhere Präzision in der Längs- und Querverteilung erreicht werden.

Bei der Wahl des Kalkes sollten zusätzlich die Mg-Gehaltsklassen berücksichtigt werden und je nach Bedarf gezielt Kalkarten mit und ohne Magnesium gewählt werden.

Hauptverantwortlich

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)
 Dr. Jörg Rühlmann, Dipl. Geogr. Eric Bönecke & Dr. Swen Meyer
 Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren
ruehlmann@igzev.de, boenecke@igzev.de, meyer@igzev.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
 Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
 Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
 FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
 LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
 iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstau
 Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
 Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
 Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>

Ökonomische Effekte teilflächendifferenzierter Kalkung

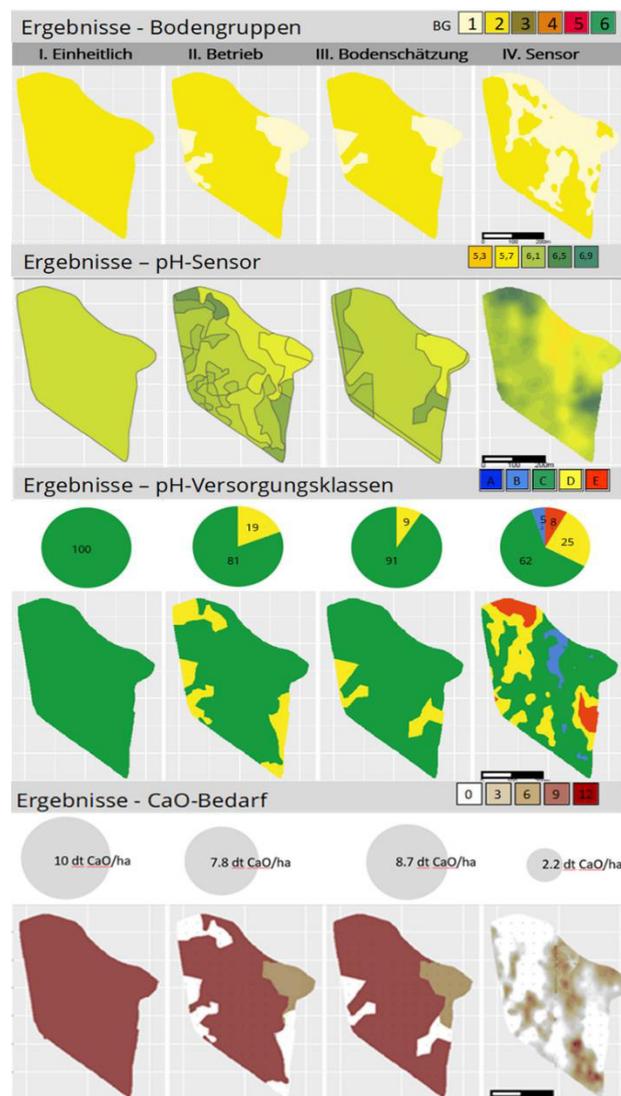
Ausgangslage und Zielsetzung

Liegen die pH-Werte nicht im optimalen Bereich (Versorgungsstufe C (Vst. C), sind damit negative Effekte auf Bodenfruchtbarkeit, Ertrag und Nährstoffeffizienz verbunden. Im Mittel sind pH-bedingte Ertragsverluste von 20% (Vst. B) bis 40% (Vst. A) bzw. bei Überversorgung 5% (Vst. D) bis 10% (Vst. E) zu erwarten. Nach dem LKV-Jahresbericht 2020 ist die Kalkversorgung auf 33% der untersuchten Ackerflächen zu niedrig, auf 35% der Flächen zu hoch und entsprechend nur 32% im Optimum. Demnach werden allein aufgrund zu niedriger und zu hoher Kalkversorgung nur 83-92% des Ertragspotentials in ganz Brandenburg erreicht. Im pH-BB Projekt wurden praxistaugliche innovative Komplettlösungen entwickelt und getestet, die das pH-Management auf Ackerböden verbessern. Mithilfe mobiler Bodensensoren werden die kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften pH-Wert, Textur und Humus räumlich hoch aufgelöst, schnell und kostengünstig erfasst, um eine teilflächenspezifische Kalkdüngung zu ermöglichen

Vorgehen zur Ableitung der Bodentextur mittels Bodensensoren

Im pH-BB-Projekt wurde die pH-Wert-, Textur- und Humusbestimmung sensorbasiert und kleinräumig durchgeführt (siehe pH-BB Praxisblätter 3 bis 5). Am Beispiel eines 17 ha Schlages wurden vier Varianten zur Teilflächenbildung verglichen:

- I. **Einheitliche Einteilung:** gesamter Schlag in Bodengruppe 2
- II. **Betriebsspezifische Einteilung:** 0,1 - 3,1 ha große Teilflächen (< 3-5 ha lt. VDLUFA)
- III. **Einteilung nach Bodenschätzung:** 0,2 - 11,2 ha
- IV. **Einteilung nach Sensorbeprobung:** 4 m² Raster.



Ergebnisse

Abbildung 1: Arbeitsablauf: Von der sensorbasierten Datenerfassung bis zur CaO-Bedarfskarte für die o.g. 4 Varianten.

Je nach Variante (1-4) ergeben sich in den einzelnen Karten unterschiedliche Flächenanteile (Abb. 2) - die Sensorvariante zeigt die größten Differenzierungen bei geringstem CaO Bedarf; in den anderen Varianten sind Areale mit zu Über- bzw. Underdüngung vorhanden (Abb. 3). Gegenüber einheitlicher Düngung entstehen in der Sensor-Variante Kosten von 2040 € für Kartierung; Streukarte und Ausbringung (Tab. 1). Demgegenüber stehen 2074 € Mehrerlös durch Ausgleich von Ertragseinbußen bei nicht optimalen pH-Werten und von 1045 € durch Einsparung von Kalkkosten. Im Beispiel macht sich die sensorgestützte Kalkung somit bereits im 1. Kalkungsintervall mit einem Plus von 1080 € bezahlt, wobei die Kosten für die Texturkarten hier voll der Kalkung zugerechnet wurden.

Ergebnisse - CaO-Differenz zu Bodensensoren

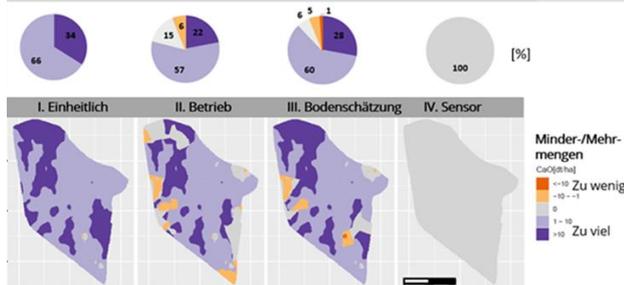


Abbildung 2: Minder- bzw. Mehrgaben von CaO [dt/ha] gegenüber der Sensorvariante - %-Anteile sowie Flächenmuster.

Empfehlungen für die Praxis

Die sensorgestützte Erfassung der kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften pH-Wert, Textur und Humus ermöglicht es, Kalkbedarfskarten mit einer bisher nicht gekannten Auflösung und Präzision zu schaffen. Die zu erwartenden ökonomischen Vorteile werden umso höher, je niedriger die aktuelle pH-Versorgungsstufe ist. Für die Erstellung der teilflächenspezifischen Kalkstreuarten wurde eine Web-GIS-Anwendung, die pH-BB Toolbox, mit dem Projektpartner iXMAP entwickelt (siehe pH-BB-Praxisblatt 2: „Leitfaden zur präzisen Kalkdüngung“).

Tabelle 1: Ökonomische Bewertung der einheitlichen Kalkung im Vergleich zur sensorgestützten Teilflächenkalkung (Beispiel)

Schlaggröße	17 ha	Ertragsverluste je pH-Versorgungsstufe				
Ø Fruchtfolgeertrag	50 dt/ha	A	B	C	D	E
Ø Fruchtfolgeerlös	20 €/dt	-40%	-20%	0%	-5%	-10%
Kosten für die Sensorbefahrung und Streukartenerstellung sind abhängig vom Auftragsvolumen.						
	Kosten/ha	Kosten Praxisschlag	Leistung umfasst			
Texturkarten	35.00 €/ha	598.00 €	Geophilus Befahrung (20 €/ha), Bodenprobenahme (12 €/Probe), Sedimentationsanalyse (31 €/Probe), Kalibrierung und Erstellung der Texturkarten			
pH-Karten	75.00 €/ha	1'275.00 €	Veris-MSP Befahrung durch Dienstleister (Angebot vom 25.05.22), Bodenprobenahme, pH-Analyse (CaCl ₂), Kalibrierung und Erstellung von pH-Karten			
Erstellung der Streukarten	2.25 €/ha	38.25 €	Mittels Software-Entwicklung aus dem pHBB-Projekt			
Ausbringung (0.83 €/dt, 72 dt Konverterkalk, Anfahrt 68 €)	7.52 €/ha	127.84 €	als Dienstleistung			
Kosten insgesamt	119.77 €/ha	2'039.09 €				
Standortangepasste Kalkung kann geringere Gesamtkalkmengen bedeuten.						
	I. Einheitlich	IV. Sensor				
dt CaO/ha	10	2.2				
dt CaO gesamt	170	36				
dt Konverterkalk gesamt (50% basische Bestandteile)	340	72				
Kalkkosten (3,90 €/dt)	1'326.00 €	280.80 €				
Mehrausgaben für Kalk	-1'045.20 €					
Ertragseinbußen einheitlicher Kalkung im Vergleich zur sensorbasierten Teilflächenkalkung (Gesamtschlag in C).						
pH-Versorgungsstufe	I. Einheitlich	IV. Sensor	I. Einheitlich	IV. Sensor	I. Einheitlich	IV. Sensor
	Flächentanteil [%]		Ertrag [dt]		Ertragseinbußen [dt]	
A	0	0	0	0	0	0
B	5	0	34	0	-9	0
C	62	100	527	850	0	0
D	25	0	202	0	-11	0
E	8	0	61	0	-7	0
Summe	100	100	824	850	-26	0
Kalkungsbedingte Erlöseinbußen pro Jahr					-518.50 €	
Kalkungsbedingter Erlöseinbußen über 4 Jahre Kalkungsintervall					-2'074.00 €	

Hauptverantwortlich

Charlotte Kling, Gut Wilmersdorf GbR ckling@hnee.de

Kartin Lück, Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG

Weitere Informationen unter <http://ph-bb.com>

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
 Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
 Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
 FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
 LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
 iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstau
 Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
 Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
 Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Zoneneinteilung zur standort- spezifischen Bewirtschaftung

Ausgangslage und Zielsetzung

Grundlegende Voraussetzung für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung im Feldbau ist eine objektive Abgrenzung von Managementzonen. Die oft kleinräumig wechselnden Bodeneigenschaften müssen über eine exakte Bodenartansprache bestimmt werden, um das jeweilige potentielle Ertragsvermögen durch die gezielt angepasste Bewirtschaftung ausschöpfen zu können. Einer pH-BB-Projektumfrage zufolge haben jedoch erst die Hälfte der Brandenburger Betriebe Erkenntnisse über die Heterogenität ihrer Böden und können geeignete Schlagunterteilungen vornehmen. Bisher wurden zur Bodenartbestimmung und zur zonenbezogenen Kalkulation des potentiellen Ertrages meist nur grobe Schätzungen vorgenommen. Es kamen fast ausschließlich kostengünstige Karten der Bodenschätzung, Luft-/Satellitenbilder und Ertragskarten der Erntemaschinen unterstützend zur Anwendung. Lediglich 4% der Befragten gaben an, Bodensensoren (EM38) zur Bestimmung der Bodenqualität eingesetzt zu haben. Im pH-BB-Projekt wurde das Ziel verfolgt, eine Methode zu entwickeln, die für das Precision Farming vielfältig nutzbare, valide Bewirtschaftungszonen generiert.

Vorgehen zur Ableitung der Bodentextur mittels Bodensensorik



Abbildung 1: Tongehaltskarte des Praxisschlages 1403 (19,8 Hektar)

Zur Bodentexturbestimmung kam das Multisensorsystem „Geophilus“ zum Einsatz, das alle 3 m Messwerte erfasst – bei 18 m Spurbstand ergeben sich **je Hektar 150-200 Messpunkte**. Diese indirekt mit der Bodenart in Zusammenhang stehenden Messsignale werden anhand von Ergebnissen der Korngrößenanalyse aus dem Labor kalibriert und in Ton-, Schluff- und Sandgehalte übersetzt (vgl. Abb. 1). Dieses Verfahren ist detailliert im pH-BB-Praxisblatt 3: „Bestimmung der Bodenart mittels mobiler Bodensensoren“ beschrieben.

Im Vergleich mit der praxisüblichen Methode, Bodenarten von der Bodenschätzung abzuleiten, bei der je Hektar **vier Borstockproben mittels Fingerprobe** bestimmt wurden (vgl. Abb. 2), entstanden bei der pH-BB-Methode Bodenartkarten mit einer bisher nicht gekannten Auflösung und Präzision.

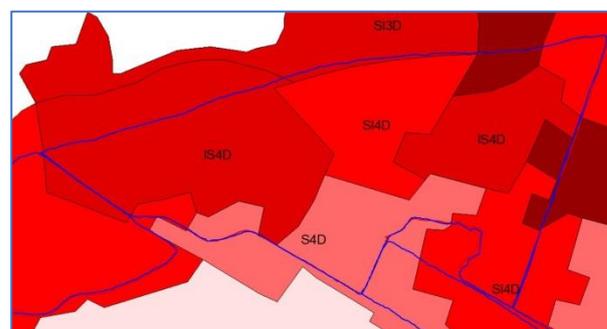


Abbildung 2: Bodenschätzungskarte des Schlages 1403

Vorgehen bei der Zoneneinteilung für das Precision Farming

Zur Festlegung (relativ feststehender) dauerhaft nutzbarer Managementzonen reicht die Bodenartbestimmung allein nicht aus. Weitere Faktoren wie die Hangneigung und/oder die Flächenausrichtung sowie die Grundwassererreichbarkeit für Pflanzen haben grundlegenden Einfluss auf die Ertragsfähigkeit der Teilflächen der Schläge. Hilfreich ist die Rückschau auf den Ertrag vergangener Jahre, da die oben genannten Faktoren in ihrer Summe die Ertragsmuster der Schläge bestimmen. Deshalb wurde im pH-BB-Projekt ein Tool entwickelt, das die Geophilus-Sensordaten mit vorhandenen Ertragskarten der Betriebe verrechnet und für unterschiedliche Precision Farming-Anwendungen Ertragserwartungszonen in geeigneter Auflösung ausgibt.



Abbildung 3: Zoneneinteilung für Schlag 1403

Zwar verfügen viele Betriebe über die Möglichkeit der Ertragskartierung vor allem bei der Getreideernte, oft fehlen jedoch mehrjährige Auswertungen fehlerbereinigter Daten für die unterschiedlichen Kulturen. Seit Bereitstellung der Sentinel-2-Satellitendaten steht alternativ aber eine praktikable Möglichkeit zur Verfügung, den Index der Vegetation für die Jahre 2016 bis heute zu bestimmen (vgl. Abb. 4).

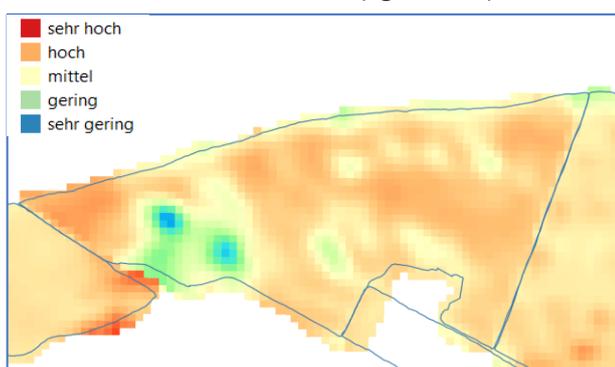


Abbildung 4: Sentinel2- Vegetationsindex

Langzeitmessungen der Lichtreflexion in Kombination der Rot- und NIR- Wellenlängen lassen unspezifische Rückschlüsse auf die Wachstumsbedingungen in den einbezogenen Vegetationsperioden zu und können wie oben beschrieben mit den Bodensensordaten verrechnet werden. In einem EIP-Folgeprojekt prüfen wir, ob sich in Zonen mit ähnlichem mittleren Korndurchmesser und ähnlichem Ertrag auch gleiche pH-Wert-Niveaus einstellen.

Nutzen der sensorbasierten Kartierung für die Kalkung

Im pH-BB-Projekt standen die sensorbasierte, kleinräumige pH-Wert-, Textur- und Humusbestimmung und die Ableitung der optimalen Kalkung im Mittelpunkt. Je nach **Bodenart** (Anteile an Ton, Schluff und Sand), **Humusgehalt** und **Ausgangs-pH-Wert** wird der

jeweilige Kalkbedarf abgeleitet. Angesichts der (bodensensorisch kleinräumig ermittelten) genauen Bestimmung dieser drei Größen konnte der innovative Ansatz verfolgt werden, von einer Bodengruppeneinteilung (wie sie der VDLUFA vorsieht) abzurücken. Die Berechnung des mittleren Korngrößendurchmessers (MKD) und die Entwicklung eines Stufenlosalgorithmus bei der Kalkbedarfsbestimmung macht eine präzise Ableitung der Kalkmengen für jeden Bereich eines Schläges erst möglich (vgl. pH-BB-Praxisblatt 8: „Stufenlose Bestimmung der Kalkbedarfsmenge“).

Empfehlung für weitere Precision Farming-Anwendungen

Die präzise Kalkung sollte von allen Praktikern als wichtigste und erste Precision Farming-Anwendung verstanden werden. Die entstehenden Grundlagen sind für viele weitere Schritte zu nutzen. Die Zonierungen bleiben für die folgende teilschlagangepasste Grund- und N-Düngung die Basis, z.B. für die Vorgabe möglicher Zelerträge. Gleichmaßen dienen die Ertragszonen zur Etablierung mehr oder weniger dichter Pflanzenbestände bei der Aussaat und sind die Basis bei der Bestandsführung. Insbesondere bei nicht bestockenden Pflanzen (wie Mais, Rüben oder Kartoffeln) führen angepasste Pflanzdichten dazu, dass geringe Niederschläge besser verkräftet werden und ein geringerer PSM-Mitteleinsatz zu gleichem Bekämpfungserfolg führen kann. Auch zur Dieseleinsparung entsteht eine wichtige Grundlage. Zunehmend ist die Technikausstattung in den Betrieben dazu in der Lage, die Tiefe der Bodenbearbeitung variabel an eine hinterlegte Bodentexturkarte anzupassen.

Hauptverantwortlich

pH BB GbR c/o HNE Eberswalde
Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer
Schicklerstr. 5
16225 Eberswalde
Tel.: 03334 657 329
E-Mail: ekramer@hnee.de

Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2022

Mitglieder der Operationellen Gruppe

Gut Wilmersdorf GbR
Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG
Landwirtschaft Petra Philipp, Booßen
FGL Handelsgesellschaft mbH, Fürstenwalde
LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH, Müncheberg
iXmap Services GmbH & Co. KG, Regenstein
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Weitere Informationen: <http://ph-bb.com>