

Bachelorthesis zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Handbuch zur „pH-BB“-Toolbox

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

im Rahmen des EIP-AGRI-Projektes
„Präzise Kalkung in Brandenburg (pH-BB)“



Autor: Jakob Walch
Matrikelnummer: 19212630
Studiengang: Ökolandbau und Vermarktung
Fachbereich: Landschaftsnutzung und Naturschutz
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
E-Mail: Jakob.Walch@hnee.de

07.06.2022

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer
Zweitgutachter: Dipl.-Geoökol. Ingmar Schröter


**Hochschule
für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde**

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Zusammenfassung.....	VI
Abstract	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung	3
2 Theoretische Grundlagen	6
2.1 Digital Soil Mapping.....	6
2.2 Einführung in die Nahbereichssensorik	8
2.3 Einführung in die Usability	9
3 Stand der Forschung.....	10
3.1 Naherkundung	10
3.2 Präzise Kalkung (Prozesskette des Projektes „pH-BB“).....	11
3.2.1 Grundsätzliches	11
3.2.2 Sensordatenaufbereitung und Interpolation	12
3.2.3 Referenzproben	15
3.2.4 Kalibrierung und Bodenkartenerstellung	16
3.2.5 Ableiten von Applikationskarten auf Basis von Bodenkarten	17
3.3 Usability von Handbüchern.....	19
4 Material und Methodik.....	22
4.1 Untersuchungsgebiet	22
4.2 Verwendete Daten	22
4.3 Arbeitsablauf	23
4.3.1 Handbuch	23
4.3.2 Kalkdüngungsszenarien	27
5 Ergebnisse	30
5.1 Handbuch	30
5.2 Kalkdüngungsszenarien	30
6 Diskussion	33

1.1	Handbuch	33
1.2	Kalkdüngungsszenarien	34
7	Fazit und Ausblick	38
8	Literaturverzeichnis.....	39
9	Anhang	46
	Anhang 1: Handbuch.....	46
	Anhang 2: Kalkdüngungsszenarien.....	127
	Bodengruppenkarten	127
	Humuskarten	128
	pH-Karten.....	130
	Tonkarte	131
	Berechnete CaO-Bedarfskarten.....	132
	Danksagung.....	134
	Eidesstattliche Erklärung.....	135

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Prozesskette der präzisen Kalkung (nach“ pH-BB“ 2021)	4
Abbildung 2 Sensorplattform (MSP3) von Veris Technologies, http://ph-bb.com/	8
Abbildung 3 Prozesskette präzise Kalkung (nach“ pH-BB“ 2021)	12
Abbildung 4 Beispiel eines Variogramms für pH-Sensormessdaten (Quelle: „pH-BB“-Toolbox).....	13
Abbildung 5 VDLUFA Rahmenschema pH-Wert-Klassen (VDLUFA (2000))	18
Abbildung 6 Beispiel für den Entwurf des Handbuchs mit einem abgegrenzten Boxenelement und Screenshots in Word.....	26
Abbildung 7 CaO-Streukarte mit flächeneinheitlichen Werten der kalkungsrelevanten Parameter.....	35
Abbildung 8 CaO-Streukarte mit Teilflächen nach LAB	35
Abbildung 9 CaO-Streukarte Szenario III diskret 2x2 m Auflösung.....	36
Abbildung 10 CaO-Streukarte Szenario III diskret 12x12 m Auflösung.....	37
Abbildung 11 CaO-Streukarte Szenario III stufenlos 2x2 m Auflösung	37
Abbildung 12 CaO-Streukarte Szenario III stufenlos 12x12 m Auflösung	37

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Bodeneingangsgrößen der verschiedenen Kalkdüngungsszenarien in Kartenform; (1) Uniform, (2) Definierte Teilflächen, (3) Sensorbasiert, (A) Bodengruppen, (B) Humusgehalt, (C) pH-Wert, (D) Tongehalt (Nur für Szenario 3)	5
Tabelle 2 Auswertung der Kalkdüngungsszenarien	30
Tabelle 3 CaO-Streukarten Oben: Szenario I (li.); Szenario II (re.); Mitte: Szenario III diskreter Algorithmus 2x2 m (li) und 12x12 m (re); Unten: Szenario III stufenloser Algorithmus 2x2 m (li) und 12x12 m (re)	32

ZUSAMMENFASSUNG

Die Kalkversorgung landwirtschaftlich genutzter Böden hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und Bodenqualität und steht im Zentrum des Projektes „präzise Kalkung in Brandenburg (pH-BB)“. Die herkömmliche Praxis zur Kalkung in Deutschland berücksichtigt Bodenheterogenitäten nur unzureichend und es wurde daher eine standortspezifische Kalkungsstrategie entwickelt. Hierfür werden die kalkungsrelevanten Parameter pH-Wert, Bodentextur sowie Humusgehalt unter Verwendung hochauflösender Bodensensoren zunächst erfasst und anschließend bewertet, um die Kalkdüngung ressourcenschonender zu gestalten und die Erträge zu optimieren. Die vorliegende Arbeit entstand in Kooperation mit dem „pH-BB“-Projekt und hat zum Ziel, LandwirtInnen mit Hilfe eines Handbuches zur Kalkungssoftware einen einfachen Einstieg in die präzise Kalkung zu bieten.

Durch die WebGIS-Anwendung („pH-BB“-Toolbox) soll die Digitale Bodenkartierung einem größeren Anwenderpublikum bereitgestellt werden. Das hierfür entwickelte Handbuch macht die immer noch recht komplexe Onlineanwendung für PraktikerInnen verständlich und soll die Akzeptanz des Softwarepaketes erhöhen. Anhand eines Beispielschlages im Osten Brandenburgs, wurde die gesamte Prozesskette der präzisen Kalkung erläutert und in einem umfangreichen Tutorial mit anschaulichen Abbildungen verständlich dargelegt. Dabei lag der Fokus auf der Gebrauchstauglichkeit (Usability), das heißt es soll intuitiv nutzbar sein und die AnwenderInnen effektiv und effizient zu ihrem Ziel führen.

Zudem wurden mit Daten aus dem „pH-BB“-Projekt drei reale und mögliche Kalkdüngungsszenarien mit verschiedenen Eingangsgrößen entwickelt und bewertet. Die Berechnungen wurden mit der „pH-BB“-Toolbox durchgeführt und der Vergleich stellte die Vorzüglichkeit der präzisen Kalkung im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren heraus. Die Kalkbedarfe schwanken je nach verwendeten Eingangsgrößen stark und herkömmliche Beprobungsmethoden können zu schwerwiegenden Fehleinschätzungen führen. Räumlich hochauflöste, sensorbasierte Bodenkarten weisen die höchste Genauigkeit auf und stellen eine gute Lösung für bedarfsgerechte Kalkung dar. Dabei wird nicht grundsätzlich Dünger eingespart, doch mit steigender Auflösung der Streukarten sinkt die Aufwandmenge. Mit der sensorbasierten Bodenkartenerstellung und Streukartberechnung lässt sich weniger Kalk ausbringen, ohne dabei Unterversorgungen zu provozieren.

ABSTRACT

The supply of lime to agricultural soils has a decisive influence on soil fertility and soil quality and is the focus of the project "precise liming in Brandenburg (pH-BB)". Conventional liming practice in Germany does not take soil heterogeneities sufficiently into account and a site-specific liming strategy was therefore developed. For this purpose, the liming-relevant parameters pH-value, soil texture as well as humus content are first recorded using high-resolution soil sensors and then evaluated in order to make lime fertilization more resource-conserving and to optimize yields. The present work was developed in cooperation with the "pH-BB" project and aims to provide farmers with a simple introduction to precise liming with the help of a liming software manual.

Through the WebGIS application of "pH-BB" the Digital Soil Mapping shall be made available to a larger user audience. The manual developed for this purpose makes the still rather complex online application understandable for practitioners and should increase the acceptance of the software package. Using an example field in eastern Brandenburg, the entire workflow of precise liming was explained and presented in a comprehensive tutorial with clear illustrations. The focus was on usability, i.e., it should be intuitively usable and lead the users effectively and efficiently to their goal.

In addition, using data from the "pH-BB" project, three real and possible lime fertilization scenarios with different input variables were developed and evaluated. The comparison highlighted the excellence of precision liming as opposed to conventional methods. Lime requirements vary widely depending on the input variables used. Spatially high-resolution, sensor-based soil maps have the highest accuracy and represent a good solution for precise liming. Fertilizer is not always saved, but with increasing resolution of the spreading maps, the application rate decreases. With sensor-based soil mapping and spreading map calculation, less lime can be applied without provoking undersupply.

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Mit der steigenden Weltbevölkerung aber auch der zunehmenden Nachfrage nach erneuerbaren Rohstoffen steigt der Druck auf die Landwirtschaft, noch effizienter und produktiver zu wirtschaften. Auch wenn in den letzten Jahrzehnten bereits eindrucksvolle Erfolge im Hinblick auf Ertragssteigerungen erzielt werden konnten, so wird das Potential der landwirtschaftlich genutzten Böden oft noch nicht ausgeschöpft. Ein Grund hierfür ist, dass es sich bei Böden um Naturgüter handelt, die sich in ihren Eigenschaften stark unterscheiden können. Erst in den letzten Jahren gewann die Präzisionslandwirtschaft, aufgrund von technischen Innovationen, zunehmend an Bedeutung. Dadurch wird ermöglicht, besser auf Bodenheterogenitäten, wie etwa kleinräumig schwankende pH-Werte einzugehen und bei verbesserter Effizienz höhere Erträge zu erzielen (GE et al., 2011; SAHU et al., 2019).

In Deutschland befinden sich nur 35 % der ackerbaulich genutzten Flächen hinsichtlich des pH-Wertes im optimalen Bereich der Gehaltsklasse C nach VDLUFA (JACOBS et al., 2018; VDLUFA, 2000). Im Land Brandenburg liegt der Anteil der Gehaltsklasse C nach ZIMMER und ELLMER (2012) mit 26 % sogar noch niedriger. Dies bedeutet, dass etwa 1/3 der Böden unter- oder überversorgt und es kommt zu Ertragseinbußen, da die Bodenfruchtbarkeit, beziehungsweise die Bodenqualität nicht optimal ist. Für die Praxis ist das Thema daher von hoher Relevanz. Dies zum Anlass nehmend, befasst sich das EIP-AGRI-Projekt „Präzise Kalkung in Brandenburg (pH-BB)“ mit der Verbesserung des pH-Managements auf Ackerflächen. Hierfür werden die kalkungsrelevanten Parameter pH-Wert, Bodentextur sowie Humusgehalt unter Verwendung hochauflösender Bodensensoren zunächst erfasst und anschließend bewertet, um die Kalkdüngung ressourcenschonender zu gestalten und die Erträge zu optimieren (EIP-AGRI, 2022; SCHRÖTER et al., 2018).

Auch wenn Calcium als essentieller Pflanzennährstoff für viele Funktionen in der Pflanze, wie etwa Wachstum und Stabilität, von Bedeutung ist, steht vor allem die Wirkung von Calcium auf den Boden im Vordergrund (WENDLAND, 2014). Eine ausreichende Kalkversorgung ist entscheidend für eine optimale Bodenreaktion. Diese wiederum ist die Voraussetzung für eine Maximierung der Nährstoffverfügbarkeit und eine langfristige Verbesserung der physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Böden tendieren unter hiesigen

Klimabedingungen zur Versauerung, weswegen eine regelmäßige, ordnungsgemäße Kalkdüngung für die Ertragsstabilisierung und Ertragssicherung von zentraler Bedeutung ist (KERSCHBERGER und PREUSKER, 2014).

Für ein optimiertes Kalkmanagement ist zu berücksichtigen, dass je nach Standort die Kalkbedarfe stark schwanken können. Die VDLUFA teilt dafür sechs Bodenartengruppen und fünf Kalkversorgungsklassen ein (VDLUFA, 2000), da die Parameter Bodentextur und Humusgehalt entscheidend für den Ziel-pH-Wert und somit auch für die Höhe der auszubringenden Kalkmenge sind. In der gängigen Praxis werden zur Ermittlung der kalkungsrelevanten Parameter drei bis fünf ha große Teilflächen gebildet und innerhalb der Teilflächen Mischproben gezogen. Insbesondere in Gebieten mit kleinräumig wechselnden Bodeneigenschaften (starker Bodenheterogenität), wie beispielsweise den eiszeitlich geprägten Jungmoränengebieten des norddeutschen Tieflands, können so innerhalb eines Schlagens die pH-Werte in Distanzen von unter 100 m zwischen pH 4 und pH 7,5 schwanken. Aber auch andere Bodeneigenschaften können sich signifikant verändern (MCBRATNEY und MULLA, 2001; VOGEL et al., 2019).

Zwar ist die Sensormesstechnik bereits vorhanden, welche der schlaginternen Bodenheterogenität Rechnung trägt und eine differenzierte Beprobung zulässt, doch für PraktikerInnen ist diese meist zu kosten- und zeitintensiv. Zudem ist die Sensormesstechnik in Deutschland noch nicht etabliert und wird nicht vollumfänglich von Dienstleistungsunternehmen angeboten, die sich häufig lediglich auf die Bodentextur beschränken und dabei pH-Wert und Humusgehalt unberücksichtigt lassen.

Eine Alternative zur bisherigen Kalkungspraxis nach VDLUFA ist das im „pH-BB“-Projekt durchgeführte indirekte Erfassen von Bodenparametern. Dabei werden über die Nahbereichssensorik direkt messbare Größen, die sogenannten Proxies gemessen und daraus die kalkungsrelevanten Parameter Humus, Ton, Textur und pH-Wert abgeschätzt. Empirische Zusammenhänge werden mithilfe von statistischen Methoden und Referenzproben beschrieben wodurch sich hochauflöste digitale Bodenkarten erstellen lassen, welche weitaus präziser die kalkungsrelevanten Parameter ermitteln als beispielsweise auf Basis der Bodenschätzung oder der Teilschlagseinteilung nach VDLUFA (BEHRENS et al., 2017). Es handelt sich dabei um ein absätziges Verfahren, bei dem die Sensordaten erst später im sogenannten Post-processing kalibriert werden und in Karten übertragen werden (WELTZIEN und GEBBERS, 2016). Durch die in „pH-BB“ entwickelte Toolbox (WebGIS-Anwendung) werden die Werkzeuge und

Methoden aus dem Bereich der „Digitalen Bodenkartierung“ (engl. DSM) einem größeren Anwenderpublikum bereitgestellt.

Viele der DSM-Methoden sind in Fachkreisen schon längere Zeit etabliert und stehen als Bibliotheken für Statistikprogramme (z.B. R-Software) zur Verfügung, doch für PraktikerInnen ist hierfür umfangreiches Vorwissen und Einarbeitung erforderlich (MALONE et. al, 2016). Die „pH-BB“-Toolbox vereinfacht die DSM-Anwendungen und präzise Kalkdüngung, ist aber weiterhin recht komplex, weshalb hierfür ein Handbuch erstellt werden soll. Der Einsatz von Multisensorplattformen erlaubt die zeitgleiche Erfassung von verschiedenen geophysikalischen Messgrößen. Die Sensordaten beschreiben die Heterogenität des Schlasses und durch den Einbezug aller Daten können mithilfe statistischer Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens Muster und Korrelationen für die jeweiligen Bodenkennwerte beschrieben werden. Die Fusion dieser Daten und die Kalibrierung anhand von gezielt ausgewählten Referenzprobenpunkten ermöglichen es, mithilfe statistischer Methoden, die aus dem Bereich des maschinellen Lernens stammen, hochauflöste Bodenkarten zu erstellen.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung eines Tutorials, das einen schnellen Einstieg in die präzise Kalkung ermöglichen soll, wobei die ganze Prozesskette (Abb. 1) von der Sensordatenverarbeitung zu kalibrierten Bodenkarten, die Ausweisung von geeigneten Probenahmepunkten und die finale Kalkapplikationskartenerstellung behandelt werden. Anhand von Beispieldaten und ausführlichen Hintergrundinfos werden die einzelnen Funktionen nutzerfreundlich erklärt und ein sicherer Umgang mit der Software ermöglicht. Die nutzerorientierte Anleitung soll zur Anwenderfreundlichkeit und damit Akzeptanz des Softwarepaketes beitragen.

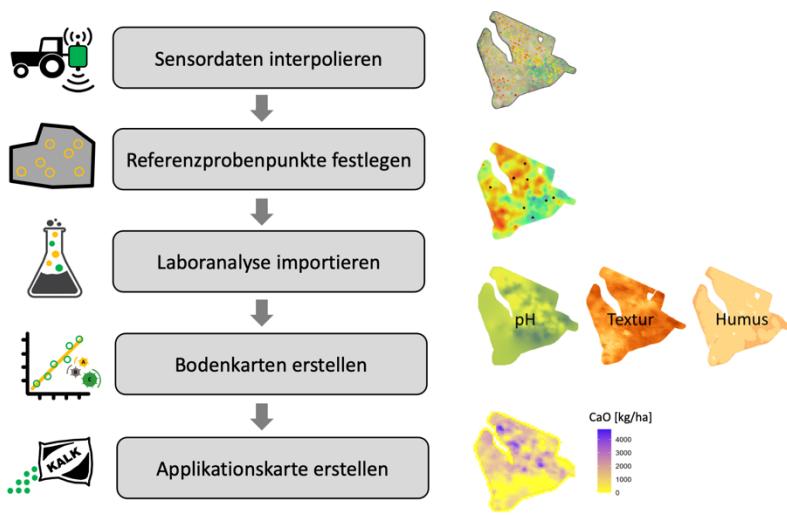
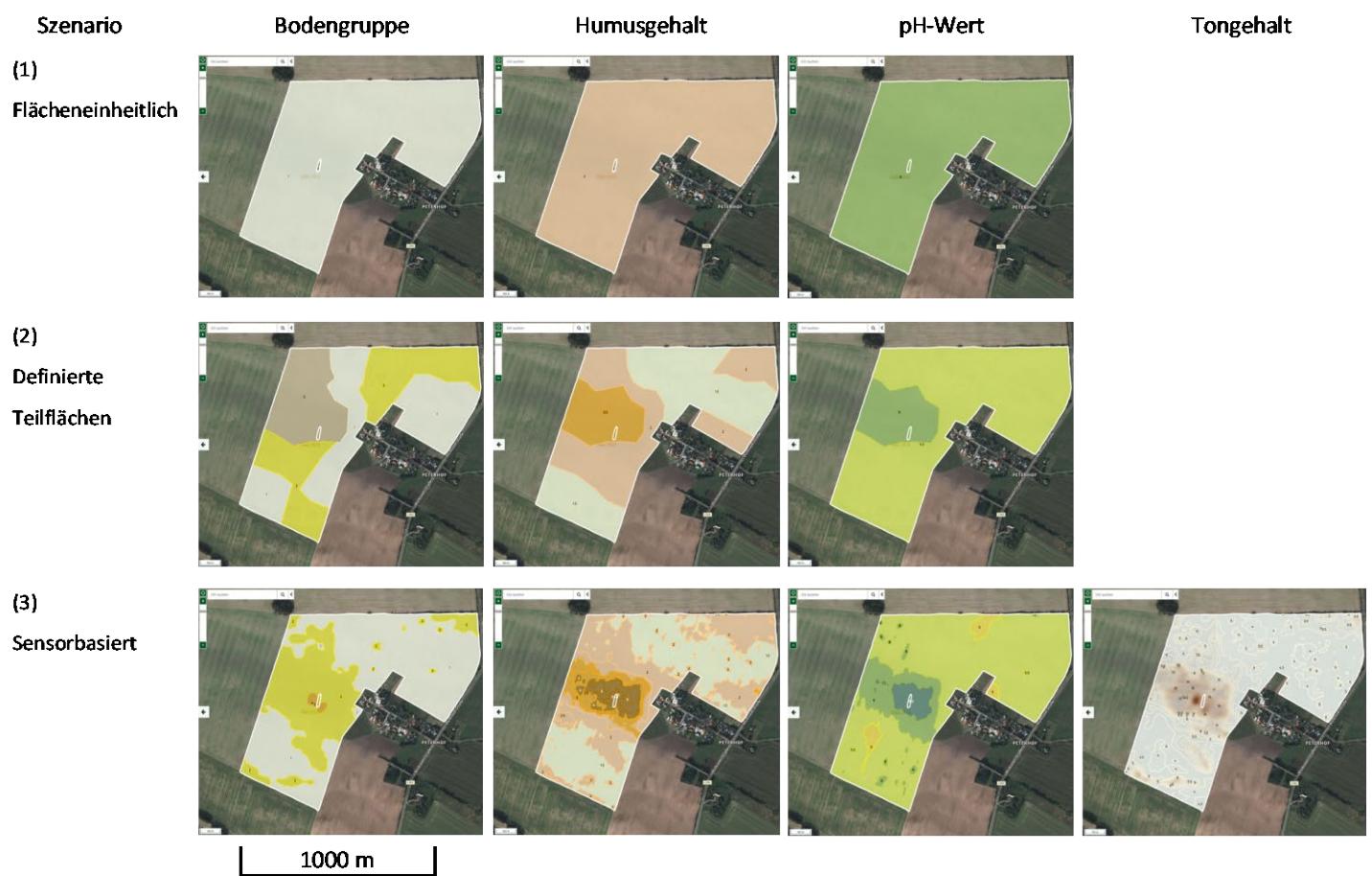


Abbildung 1 Prozesskette der präzisen Kalkung (nach „pH-BB“ 2021)

Weiterhin werden verschiedene Kalkdüngungsszenarien, die sich hinsichtlich der Bodeneingangsgrößen unterscheiden, entwickelt und bewertet (siehe **Tabelle 1**). Diese Kalkdüngungsszenarien bilden drei mögliche und reale Vorgehensweisen bei der Anwendung der „pH-BB“-Toolbox ab. Hierbei wird zunächst in der Kalkungssoftware mit Schlagmittelwerten für pH-Wert, Bodengruppe und Humusgehalt eine Kalkbilanzierung nach VDLUFA Rahmenschema (VDLUFA, 2000) erstellt. In einem weiteren Szenario werden diese Eingangsdaten dann verändert und es wird mit den Mittelwerten für definierte Teilschläge nach LAB gearbeitet. Zuletzt werden die Bodensensordaten der Veris Multisensorplattform (MSP3) von Veris Technologies (USA) und des Geophilus Electricus (Geophilus GmbH, Deutschland) zur Berechnung hochaufgelöster Bodenkarten verwendet und (1) mithilfe des herkömmlichen VDLUFA Rahmenschemas und (2) des im „pH-BB“-Projekt entwickelten stufenlosen Algorithmus der Kalkbedarf ermittelt.

Die zu untersuchenden Kalkdüngungsszenarien, sowie das Tutorial werden anhand einer Ackerfläche in Ostbrandenburg, die Teil des Projektes „pH-BB“ ist, exemplarisch durchgeführt und veranschaulicht.

Tabelle 1 Bodeneingangsgrößen der verschiedenen Kalkdüngungsszenarien in Kartenform; (1) Uniform, (2) Definierte Teilflächen, (3) Sensorbasiert, (A) Bodengruppen, (B) Humusgehalt, (C) pH-Wert, (D) Tongehalt (Nur für Szenario 3)



2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1 Digital Soil Mapping

Digital Soil Mapping (DSM), zu Deutsch Digitale Bodenkartierung, hat die Erstellung von Bodeneigenschaftskarten und Bodenkarten zum Ziel und umfasst die methodischen Ansätze der Pedo-Transferfunktionen, der Geostatistik und der Analyse von Bodenfaktoren nach dem Scropan-Konzept. DSM ist dabei der angewandte Teil der Pedometrie, welche wiederum ein Teilgebiet der Bodenkunde darstellt und sich mit der Anwendung mathematischer und statistischer Methoden zur Untersuchung der Verteilung und Genese von Böden und ihren Eigenschaften beschäftigt (BEHRENS et al., 2017).

LAMP und KNEIB (1981) entwickelten den Ansatz der Pedo-Transferfunktionen, mit der gewisse Bodeneigenschaften durch andere, leichter zu ermittelnde Eigenschaften bestimmt werden können. Die von KRIGE, (1951) und MATHERON (1962) entwickelte Geostatistik macht es möglich, punktuell aufgenommene Daten auf einer Fläche zu interpolieren und somit Bodeneigenschaften an unbekannten Punkten vorherzusagen. Das Scropan-Konzept¹ nach MCBRATNEY et al. (2003), welches das Clorpt-Konzept² von JENNY (1941) weiterentwickelt, nutzt Regressionen, Klassifikationen oder Fuzzy-Set-Theorien, um Bodeneigenschaftskarten zu erstellen (BEHRENS und SCHOLTEN, 2006; MCBRATNEY et al., 2003).

Der Vorteil des DSM liegt unter anderem darin, dass es integriert werden kann, um subjektive Komponenten in der Kartierung zu minimieren und mangelnde Erfahrung auszugleichen. Je nach Anwendungsfall kann DSM sowohl eigenständig als auch in Kombination mit einer klassischen Kartierung verwendet werden, was durch die gleichen Arbeitsschritte bei beiden Verfahren möglich wird:

1. Sammlung und Aufbereitung von Grundlagendaten (Umwelt- und Bodendaten)
2. Erstellung einer Konzeptkarte
3. Ausweisung von Beprobungsstandorten
4. Erhebung von Bodeneigenschaften und Qualitätsmanagement
5. Kartenerstellung und Produkte.

¹ SCORPAN = SOIL, CLIMATE, ORGANISMS, RELIEF, PARENT MATERIAL, AGE, SPATIAL OR GEOGRAPHIC POSITION

² CLORPT = CLIMATE, ORGANISMS, RELIEF, PARENT MATERIAL, TIME

Im Gegensatz zur klassischen Kartierung, bei der hauptsächlich topographische und geologische Karten als Basismaterial dienen, kommen im Bereich des DSM weitere Datenquellen aus Nah- und Fernerkundung hinzu. Auf der Feldskala sind dies beispielsweise Reflexionsspektroskopie, elektromagnetische Messungen oder die Gamma-Spektroskopie (BEHRENS et al., 2017) (siehe Kap. 2.2.).

Die Konzeptkarte enthält, unabhängig davon ob digital oder analog vorliegend, überlagerte Informationen zu Grundlagendaten, wie Relief, Geologie und anderen maßgeblichen Quellen. Somit kann bereits eine erste Einteilung des Raumes in voraussichtlich homogene Bereiche vorgenommen werden. Das Erstellen einer Konzeptkarte wird bei dem DSM-Ansatz häufig übersprungen, da im Rahmen der Prognostik aufgebaute Regressionen oder Klassifikationen unmittelbar zu Bodenkarten, bzw. Bodeneigenschaftskarten entwickelt werden können (ebd.).

Auf Basis der Konzeptkarten werden mithilfe von mathematischen und statistischen Verfahren Stichprobenstandorte ausgewiesen. Dies ermöglicht eine vollständige Abdeckung der gesamten inhaltlichen Spannweiten durch die Stichproben bei gleichzeitig minimiertem Stichprobenumfang. Die Standorte werden zugleich auch so verteilt, dass die räumliche Abdeckung des zu untersuchenden Gebietes gewährleistet ist (ebd.).

Die Erhebung der Bodeneigenschaften unterscheidet sich zwischen DSM und herkömmlicher Kartierung nicht. Es empfiehlt sich aber insbesondere die Verwendung von schnellen und günstigen Analyseverfahren, wie „on-the-go“-Messungen, zu nutzen (ebd.; ROSSITER, 2005).

Verglichen mit der klassischen Kartierung bietet DSM den Vorteil, dass Bodenkarten nicht nur aus Polygonen mit weitestgehend homogenen Eigenschaften bestehen müssen, sondern Bodendaten zusätzlich in Form von Rasterdaten dargestellt werden können. Dies führt laut BEHRENS et al. (2017) zu genaueren Darstellungen und Ergebnissen, da sich Klassifizierungen je nach Fragestellung neu wählen lassen. Als weiterer Vorteil sei außerdem die Möglichkeit genannt, die Modellgüte und somit die Belastbarkeit der Karteninformationen anzugeben. Bei DSM ist allerdings auch zu beachten, dass meist Kontextinformationen zu Punktdaten fehlen, die in der klassischen Kartierung durch die Erfahrung und Ortskenntnis der KartiererInnen gegeben ist. Vorteilhafter ist jedoch, dass DSM ohne subjektive Ansätze auskommt, die in der herkömmlichen Kartierung mit mehreren KartiererInnen oft zu verschiedenen Ergebnissen führen.

2.2 Einführung in die Nahbereichssensorik

Nahbereichssensoren sind ein essentieller Bestandteil der Prozesskette „präzise Kalkung“, da sie die Basis der Datenakquise darstellen und sich auf der Feldskala ideal eignen, um räumlich hoch aufgelöste Bodeneigenschaften zu erfassen (BEHRENS et al., 2017). Dabei werden in den meisten Fällen die Sensoren in regelmäßigen Bahnen mithilfe von Trägerfahrzeugen über die zu untersuchende Fläche geführt (siehe Abb. 2).

Viele der Verfahren messen dabei nicht direkt die bewirtschaftungsrelevanten Parameter. Stattdessen werden diese über sogenannte Proxies abgeschätzt und anschließend über empirische Beziehungen und Kalibrierungsmodelle an die Bodenparameter approximiert (WELTZIEN und GEBBERS, 2016). Trotz der hohen Messdichte von 150 bis 180 Messpunkten pro Hektar (im Falle der Sensorkampagnen des „pH-BB“-Projektes) müssen die Daten im Nachgang interpoliert werden, um ein flächiges Gesamtbild zu erhalten. Anhand dessen wird ein Messnetz aufgebaut, das die Verteilung der Referenzprobenpunkte bestimmt, die zur Kalibrierung der Sensordaten benötigt werden. Die Regionalisierung der Sensordaten erfolgt mittels Prognoseverfahren und den interpolierten Sensordaten (BEHRENS et al., 2017). Nach ADAMCHUK et al. (2004) werden vor allem folgende Techniken eingesetzt:

- Elektrische und elektromagnetische Sensoren messen den elektrischen Widerstand, die Leitfähigkeit, die elektrische Kapazität oder Induktivität
- Optische und radiometrische Sensoren nutzen elektromagnetische Wellen, um die von den Bodenpartikeln absorbierte/reflektierte Energie zu messen
- Mechanische Sensoren messen die Kräfte, die durch den Boden übertragen werden
- Akustische Sensoren registrieren den Schall, der durch die Interaktion eines Instruments mit dem Boden entsteht
- Pneumatische Sensoren messen die Kapazität, bis zu der Luft in den Boden injiziert werden kann
- Elektrochemische Sensoren verwenden ionenselektive Membranen, die eine Spannung als Reaktion auf die Aktivität ausgewählter Ionen (H^+ , K^+ , NO_3^- , Na^+ , usw.) erzeugen



Abbildung 2 Sensorplattform (MSP3) von Veris Technologies, <http://ph-bb.com/>

Die meistverwendeten Sensoren, die auch im pH-BB-Projekt eingesetzt werden, erfassen die kalkungsrelevanten Bodenparameter **Textur**, **organischer Kohlenstoffgehalt** und aktueller **pH-Wert** (WELTZIEN und GEBBERS, 2016).

Es werden zwei mobile Multisensor-Plattformen eingesetzt:

Um Informationen über die Bodentextur zu erhalten, werden die Daten des Geophilus-Systems (Geophilus GmbH, Deutschland) ausgewertet, das den elektrischen Widerstand (ERa) in 6 Tiefen bis zu 1,5 m und die Gesamtzahl der natürlichen Gamma (γ)-Aktivität im Boden misst. Die von Veris Technologies (USA) hergestellte mobile Sensorplattform (MSP3) wird verwendet, um den aktuellen Boden-pH-Wert mit dem Boden-pH-Manager räumlich abzuleiten und mittels optischer Verfahren den Humusgehalt zu bestimmen. Außerdem misst die MSP3 die elektrische Leitfähigkeit, welche Informationen über die Textur liefert (KWEON et al., 2013; LUND et al., 2005; MEYER et al., 2019).

2.3 Einführung in die Usability

Der Begriff der Usability bezeichnet die Gebrauchstauglichkeit eines Produktes (DIN EN ISO 9241-11, 2018). Bei der Entwicklung von neuen Produkten, wie beispielsweise Software oder anderen digitalen Produkten, liegt in vielen Fällen der Fokus auf der technischen Umsetzung. Es wäre jedoch von zentraler Bedeutung, die NutzerInnen in den Mittelpunkt zu stellen und somit eine bestmögliche, intuitive Anwendung des Produkts zu ermöglichen (MOHS et al., 2006). Nach der Norm DIN EN ISO 9241-11 (2018) soll es weniger um die Bedürfnisse des Unternehmens gehen, sondern vielmehr um die effektive, effiziente und zufriedenstellende Erreichung von festgelegten Zielen der NutzerInnen in einem bestimmten Nutzungskontext. Dies wirkt sich unmittelbar auf den Entwicklungsprozess aus und beeinflusst ein weiteres, eng mit der Usability verzahntes Element, die User Experience (UX).

Nach HASSENZAHL (2008) wird die User Experience von positiven Emotionen bestimmt, welche sich mit der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse einstellen. Diese unterscheiden sich von den „User Needs“, welche die Wünsche der NutzerInnen an ein Produkt darstellen. Während sich die Usability also im Wesentlichen direkt mit dem Nutzerverhalten während der Benutzung von Produkten beschäftigt, ist die User Experience weiter gefasst und berücksichtigt ebenfalls die subjektiven Eindrücke vor, während und nach der Nutzung (DIN EN ISO 9241-11, 2018).

3 STAND DER FORSCHUNG

3.1 Naherkundung

Es gibt im Bereich der sogenannten „on-the-go“-Messungen bereits verschiedene kommerziell verfügbare Produkte, wie die Mobile Sensor Platform (MSP3) von Veris Technologies (USA). Dieses Gerät wird auch im „pH-BB“-Projekt eingesetzt, um Humusgehalte und pH-Werte zu ermitteln. Weiterhin kommt der Geophilus Electricus (Geophilus GmbH, Deutschland) zum Einsatz, der ebenfalls eine mobile Sensorplattform darstellt. Indem der scheinbare elektrische Widerstand und die Gammaaktivität des Bodens gemessen werden, kann das Gerät für die Ermittlung Bodentextur verwendet werden. Zusammen eingesetzt, ergibt sich die Datenbasis für eine präzise Bodenkartenerstellung. Parallel werden zu den Messpunkten die GNSS-Koordinaten, respektive DGNSS-Koordinaten aufgezeichnet, welche durch ein Korrektursignal nochmals eine höhere Genauigkeit aufweisen (MEYER et al., 2019). Dieses Verfahren erreicht eine sehr hohe Genauigkeit in Verbindung mit einer arbeitswirtschaftlich und ökonomisch hohen Effizienz, da die Art der Datenerhebung große Flächenbeprobungen zulässt und Aufwand und Ertrag in einem guten Verhältnis stehen. Die Verfahren sind relativ günstig und gut skalierbar mit Flächenleistungen von bis zu 100 ha/Tag (ADAMCHUK et al., 2011; LUECK und RUEHLMANN, 2013).

Andere Systeme, die auch bereits kommerziell verfügbar sind, wären etwa der „Topsoil Mapper“ (Geoprospectors GmbH, Österreich) und das „EM 38-MK2“ (Geonics, Kanada). Allerdings erreichen Sensoren, wie etwa das „EM 38-MK2“ nicht die benötigten Genauigkeiten für eine verlässliche Vorhersage von Bodenparametern.

Laut VOGEL et. al. (2021) hat sich die Kombination von verschiedenen Sensoren bewährt und erreicht eine bis zu 31 % höhere Genauigkeit in der Vorhersage von pH-Werten (LUND et al., 2005). Im Fall des Geophilus wird die Kartierung der Bodentextur über die Kombinierung zweier Sensoren durchgeführt. Die Leitfähigkeitsmessung wird durch einen Gamma-Sensor ergänzt, der weniger sensibel auf die Bodenfeuchte reagiert was dazu beiträgt, unverfälschtere Messergebnisse zu erhalten (MEYER et al., 2019; RODRIGUES et al., 2015). Bei der Anwendung der Kalkungssoftware werden die Sensordaten für pH-Wert, Tongehalt, Humusgehalt und Textur verwendet.

3.2 Präzise Kalkung (Prozesskette des Projektes „pH-BB“)

3.2.1 Grundsätzliches

Im Rahmen des „Digital Soil Mapping“ (DSM) werden Bodeneigenschaftskarten und Bodenkarten aus vorliegenden bodenkundlichen Feld- oder Labordaten in Verbindung mit flächendeckenden Umweltdaten generiert. Für den Bereich des „Precision Farming“ (PF) ist hier vor allem die Erstellung von Bodeneigenschaftskarten interessant. Verfahren der digitalen Bodenkartierung sind mittlerweile etablierte Methoden, um diese Karten zu erstellen. Wenn sie im Rasterdatenformat vorliegen, sind sie klassischen Bodenkarten überlegen, da sie verschiedene kontinuierliche Informationen liefern, die je nach Fragestellung neu klassifiziert werden können. Abhängig von der Quantität und Qualität der Sensordaten können so sehr präzise chemische und physikalische Bodeneigenschaften regionalisiert werden (BEHRENS et al., 2017).

Viele DSM-Methoden sind bereits etabliert und in Softwarepaketen implementiert, wie der Software „R“ (R Core Team, 2022) oder „Python“ (“The Python Software Foundation,” 2022). Auf diese Weise lassen sich Regressionsanalysen durchführen und Bodeneigenschaften, wie Humusgehalt oder Korngrösse abschätzen. Durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren werden vorverarbeitete Sensordaten in die Fläche übertragen und es entsteht ein flächendeckendes und einheitliches Raster, mit dem weitergearbeitet werden kann (BEHRENS et al., 2017; BÖNECKE et al., 2021; MALONE et. al, 2016). Zudem können über die Sensordaten hinaus auch Karten der Bodenschätzung und Fernerkundungsdaten als Altdaten miteingesetzt werden. Der neue Ansatz des „pH-BB“-Projektes ist hierbei, die bereits existierenden Verfahren zusammenzuführen und mit der Software ein relativ einfach zu nutzendes Tool für die präzise Kalkung zur Verfügung zu stellen (siehe Prozesskette in **Abb. 3**). Komplexe Verfahren wie Regressionsanalysen, Variogrammanalysen und Kriging werden so auch einem breiteren Publikum zugänglich. Mit dem entwickelten „stufenlosen“ Algorithmus ist es gelungen, im Vergleich zum VDLUFA-Algorithmus, noch genauer räumlich aufgelöste Kalkbedarfskarten zu erstellen.

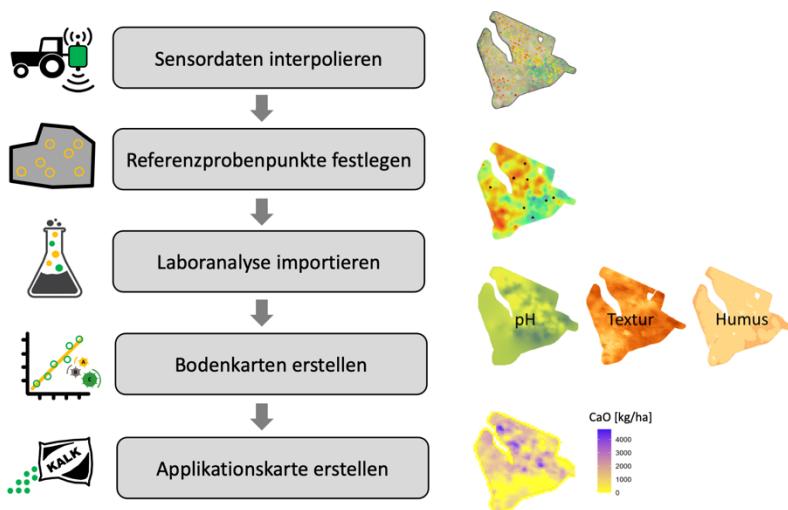


Abbildung 3 Prozesskette präzise Kalkung (nach „pH-BB“ 2021)

3.2.2 Sensordatenaufbereitung und Interpolation

In der Prozesskette der „präzisen Kalkung“ ist nach dem Erheben der Naherkundungsdaten eine Aufbereitung und Bereinigung der Sensorrohdaten notwendig. Die mobilen Sensorplattformen können zu Messfehlern neigen, welche durch unzureichende Anbindung der Sensoren an den Boden oder Aufzeichnungsprobleme im Zusammenhang mit der Handhabung entstehen (BÖNECKE et al., 2021; SCHIRRMANN et al., 2012). Vor der Interpolation werden die Sensorrohdaten daher visuell begutachtet und offensichtliche Messfehler bei Bedarf entfernt, etwa, wenn einzelne Punkte starke Abweichungen von den umgebenden Messungen aufweisen. Beispielsweise nimmt der „OpticMapper“ auch noch während des Aushebens des Sensorschuhs aus dem Boden am Vorgewende Messungen vor, welche nicht für die Interpolation genutzt werden können und aus dem Gesamtdatensatz entfernt werden müssen. Ebenso werden Messungen mit identischen Positionen in Hinblick auf das anschließende Kriging erkannt und entfernt (BÖNECKE et al., 2021).

Die Geostatistik - respektive das Interpolationsverfahren Kriging - ist ein nach dem Bergbauingenieur D.G. Krige benanntes Verfahren in der Mathematik. Der ursprüngliche Ansatz wurde stetig weiterentwickelt und um weitere Methoden, Theorien und Techniken ergänzt (WACKERNAGEL, 2010). Mit Kriging ist es möglich, aufgrund von bereits existierenden Informationen, wie beispielsweise Sensorpunktdata, auf Punkte oder Raster dazwischen zu schließen, diese also vorherzusagen. Dies ist nur möglich, wenn zwischen den

Messwerten ein räumlicher Zusammenhang nachweisbar ist (BEHRENS et al., 2017). Nach dem „Gesetz der Geographie“ von TOBLER (1970) weisen nahe beieinander liegende Beobachtungen (Werte) eine größere Ähnlichkeit auf als weit entfernte und werden daher auch bei der Interpolation stärker gewichtet. Die räumlichen Beziehungen der Daten lassen sich formal definieren und die Vorhersagegenauigkeit kann abgeschätzt werden. Dies geschieht mit einem Variogramm (MALONE et. al, 2016).

Variogramme (siehe **Abb. 4**) zeigen die relativen Werteunterschiede zwischen benachbarten Punkten über deren Entfernung voneinander. Dies hat zum Ziel, eine Funktion an die gemessenen Daten anzupassen, mit derer die räumlichen Zusammenhänge möglichst genau beschrieben werden. Der Vorteil des Variogramms ist, dass keine willkürlich gewählte, deterministischen Funktion über das Interpolationsergebnis entscheidet. Die Funktion wird aus den Daten abgeleitet und durch die Daten gesichert. An das experimentelle Variogramm, welches die räumliche Abhängigkeit der Daten bestimmt (siehe Punkte in **Abb. 4**), wird das theoretische Variogramm (siehe Kurve in **Abb. 4**) angepasst (BEHRENS et al., 2017; BILL, 2016).

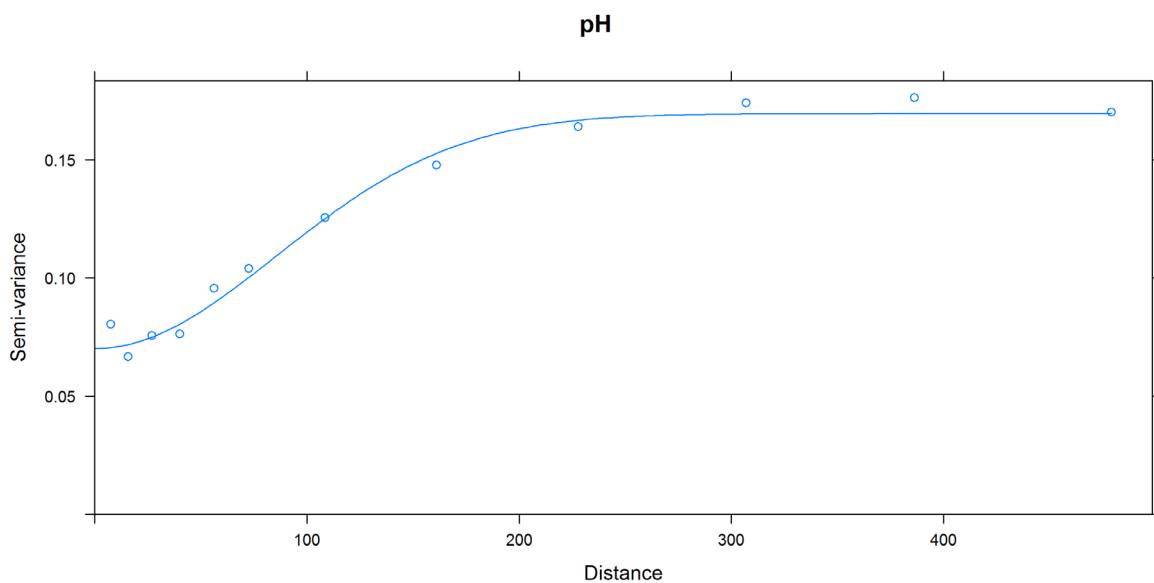


Abbildung 4 Beispiel eines Variogramms für pH-Sensormessdaten (Quelle: „pH-BB“-Toolbox)

Variogramme messen die räumliche Autokorrelation von Phänomenen wie Bodeneigenschaften (MCBRATNEY und PRINGLE, 1999). Die durchschnittliche Varianz

zwischen einem beliebigen Paar von Probenahmestellen (berechnet als Semivarianz) für eine Bodeneigenschaft an einem beliebigen Punkt kann so durch eine Formel geschätzt werden. Gemäß dem „Gesetz der Geographie“ weisen daher näher beieinander liegende Punkte eine geringere Semivarianz (höhere Korrelation) auf, während weiter voneinander entfernte Punktpaare eine größere Semivarianz aufweisen. Ein Variogramm wird erstellt, indem die durchschnittliche Halbvarianz gegen den Abstand aufgetragen wird. An das Variogramm können verschiedene Modelle angepasst werden, wovon nach BURROUGH (1993) das Lineare Modell, das Sphärische Modell, das Exponentielle Modell und das Gauß'sche Modell die gebräuchlichsten sind. Nach der Modellierung eines passenden Variogramms an die Datengrundlage wird dieses für die entfernungsgewichtete Interpolation (Kriging) verwendet (MALONE et. al, 2016).

Zu geostatistischen Verfahren sei interessierten LeserInnen an dieser Stelle weiterführende Literatur empfohlen, wie beispielsweise von CLARK und HARPER (2002).

Es gibt verschiedene Varianten des Krigings, die über die Zeit aus der Originalidee entwickelt wurden. Insbesondere das Ordinary-Kriging, Universal-Kriging und das Block-Kriging kommen bei der Interpolation von Bodensensordaten zur Anwendung (BÖNECKE et al., 2021). Die Sensordaten des Geophilus-Systems werden mittels Ordinary-Kriging interpoliert. Für die pH-Daten und Reflektanz-Daten der MSP3-Plattform kommt Block-Kriging zum Einsatz. Beim Block-Kriging werden Rasterblöcke mit gemittelten Werten gebildet, welche an Stelle der Originalwerte verwendet werden. Damit wird das Schätzproblem aufgeteilt, räumliche Ausreißer werden eliminiert und Kanten geglättet (BILL, 2016; BÖNECKE et al., 2021).

In der Praxis gilt es mit der Herausforderung umzugehen, ein angemessenes Verhältnis zwischen der Vorhersage realer, kleinräumiger Muster und der Eliminierung fehlerhafter Sensordaten herzustellen. Dies wird durch die Blockgröße erreicht, die den geringsten mittleren Quadratwurzelfehler aufweist (RMSE). Je geringer der RMSE ist, desto besser stimmen prognostizierte Werte mit den Ist-Werten überein, somit ist er ein Maß für die Effizienz des Modells. Laut BÖNECKE et al. (2021) hat sich im Falle des „pH-BB“-Projektes eine Blockgröße von 20x20 m als ideal erwiesen, da so auch Sensordaten von benachbarten Beprobungslinien einbezogen werden. Aufgrund der hohen Messdichte werden im Ordinary-Kriging die maximale Entfernung auf 100 m und die maximale Zahl der umgebenden Sensordatenpunkte auf 100 festgelegt. Dies führt zu einer schnelleren Rechenzeit und

erleichtert die Automatisierung des Verfahrens. Die finalen Rasterdatensätze liegen für jeden einzelnen Parameter in einer Auflösung von 2x2 m vor und werden an die Schlaggrenzen angepasst.

3.2.3 Referenzproben

Laut VOGEL et al. (2019) wird nach der Interpolation der Sensordaten lediglich eine geringe Anzahl von Referenzproben benötigt. Durch die Kalibrierung erhöht sich die Güte der auf Basis der Bodensensordaten erstellten Bodeneigenschaftskarten. Zudem erfolgt die Umrechnung der gemessenen physikalischen Größen im Feld in die Zielgrößen (beispielsweise Humusgehalt, pH-Wert oder Tongehalt) mittels Kalibrierung. Durch Regressionsanalysen werden statistische Zusammenhänge zwischen den Sensordaten und den Labordaten ermittelt, was mit einer linearen Regressionsgerade dargestellt werden kann. Dafür werden verschiedene Messwerte der Sensoren den Messwerten aus den Laborergebnissen gegenübergestellt, wodurch sich die Kalibrierfunktion ermitteln lässt (NOACK, 2019). Die Referenzprobenpunkte werden nach einer speziellen Referenzbeprobungstrategie bestimmt.

Nach ADAMCHUK et al. (2011) müssen Referenzproben folgende Kriterien erfüllen:

1. Sie sollten den gesamten Variablenbereich der Sensormessungen abdecken
2. Der Standort sollte räumlich homogen sein
3. Die Probenstandorte müssen gut über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sein
4. Hohe und niedrige Sensordatenwerte für eine breite Datenbasis verwenden
5. Um die Erfassung von Ausreißern oder fehlerhaften Sensormessungen zu vermeiden, sollten hohe und niedrige Werte in einem Radius von 30 m um den Referenzmesspunkt gebündelt werden

Dabei ist das Ziel, eine optimale räumliche Verteilung der Referenzpunkte für die Probenahme und anschließende Kalibrierung zu erreichen, sowie die Minimierung des Stichprobenumfangs bei gleichzeitig optimaler und vollständiger inhaltlicher Abdeckung der Basisdaten zu erreichen (BEHRENS et al., 2017). Ein geeigneter Ansatz ist das konditionierte Latin-Hypercube-Sampling von MINASNY und MCBRATNEY (2006). Dabei werden Stichprobenpunkte gleichmäßig über das Feld verteilt, indem der Abstand zwischen ihnen maximiert wird. Es ist die effektivste Methode, um die Verteilung der Variablen zu replizieren.

SCHRÖTER et al. (2015) haben für diese Anwendung bereits eine Fuzzy-C-Means-Sampling- und Schätzmethode vorgestellt, der in leicht modifizierter Form auch in der „pH-BB“-Software implementiert ist.

3.2.4 Kalibrierung und Bodenkartenerstellung

Anhand der durch Laboruntersuchungen bestimmten Bodenparameter pH, Humus und Textur (Ton) werden die durch die Bodensensoren gemessenen Proxies an diese approximiert. Da sich die Kalibrierung der pH-Sensordaten ausschließlich auf die im Labor analysierten pH-Werte bezieht, wird ein univariates lineares Regressionsmodell (ULR) erstellt (BÖNECKE et al., 2021). Die Vorhersagen für die drei Bodentexturfraktionen und die Organische Substanz basieren dagegen auf den Geophilus- (ERa, γ , DEM, SWI), bzw. OpticMapper-Daten (Red, IR). Daher werden multivariate lineare Regressionsmodelle (MLR) wie folgt angewendet:

$$z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \epsilon \quad (1)$$

Dabei ist z die abhängige Variable am i-ten Standort; X_1, X_2, \dots, X_n sind die am selben Standort gemessenen Zusatzdaten; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ sind die $n + 1$ Regressionskoeffizienten; und ϵ ist die Regressionskonstante. Vor der Anwendung der MLR-Modellierung werden die interpolierten Sensordaten auf ihre Vorhersagekraft überprüft. Wenn der Pearson-Korrelationskoeffizient (R) zweier Variablen größer als 0,65 ist, wird die Variable ausgewählt, die am besten mit der angestrebten Bodeneigenschaft korreliert. Auf der Grundlage des reduzierten Datensatzes unabhängiger Variablen wird eine schrittweise Rückwärtsauswahl (R-Paket "caret"; (KUHN et al., 2022)) durchgeführt, um den besten Satz prädiktiver Variablen für das MLR-Modell zu finden (ebd.).

Ton, Schluff und Sand werden als Fraktionen betrachtet, die sich zu 100 % oder 1 kg summieren und nicht-negative Werte aufweisen (DE GRUIJTER et al., 1997). Wenn die Bodenfraktionen einzeln aus MLR-Modellen geschätzt werden, gelten für die vorhergesagten Werte Regeln für die Zusammensetzung der Daten (HUANG et al., 2014; MUZZAMAL et al., 2018). Um diese Anforderungen zu erfüllen, wird im Fall der Texturfraktionen eine additive log-ratio (ALR)-Transformation durchgeführt (R-Paket "compositions") (VAN DEN BOOGAART und

TOLOSANA-DELGADO, 2008). In der ALR wird keine Fraktion als isoliert von den anderen interpretiert. Die beiden Vorteile dieses Ansatzes sind (1.) die Beseitigung von Closure-Effekten und (2.) die Gewinnung geeigneter Daten für klassische statistische Analysen wie MLR, da die transformierten Werte durch Perturbation näher an einer Normalverteilung liegen können als die untransformierten Daten (ODEH et al., 2003). Für die Vorhersage des Humusgehaltes wird keine ALR angewandt.

3.2.5 Ableiten von Applikationskarten auf Basis von Bodenkarten

Eines der Hauptziele im „pH-BB“-Projekt ist die Erstellung hochauflöster Kalkapplikationskarten. Die Bodenkarten für pH, Ton und Humus bilden dabei die Basis für die teilflächenspezifische Kalkung (EIP-AGRI, 2022). Dafür wird ein empirischer Kalkbedarfsalgorithmus verwendet, der an die Bedürfnisse hochauflösender Bodendaten angepasst ist. Der herkömmliche VDLUFA-Ansatz besteht aus einem System von Nachschlagetabellen. LandwirtInnen in Deutschland können damit sehr einfach den Kalkbedarf als die Menge an CaO bestimmen, die ausgebracht werden muss, um den pH-Wert des Bodens auf das optimale Niveau einzustellen und dieses Niveau bis zum nächsten Düngzyklus zu halten (VON WULFFEN et al., 2008). Dieser Ansatz definiert für Ackerland fünf pH-Klassen (siehe **Abb. 5**) für fünf mineralische Bodentexturklassen und für eine Moorbodenklasse sowie vier Humus-Klassen ($\leq 4 \text{ g kg}^{-1}$, $4,1\ldots 8 \text{ g kg}^{-1}$, $8,1\ldots 15 \text{ g kg}^{-1}$, $15,1\ldots 30 \text{ g kg}^{-1}$). Die aktuellen pH-Werte der Klassen A und B sind weiter in Zehntel pH-Einheiten-Schritte unterteilt.

Bodengruppe	pH-Klasse	pH-Werte Humusgehalt $\leq 4,0\%$	pH-Werte Humusgehalt 4,1 bis 8,0%	pH-Werte Humusgehalt 8,1 bis 15,0%	pH-Werte Humusgehalt 15,1 bis 30,0%
BG 1	A	$\leq 4,5$	$\leq 4,2$	$\leq 3,9$	$\leq 3,6$
	B	4,6 - 5,3	4,3 - 4,9	4,0 - 4,6	3,7 - 4,2
	C	5,4 - 5,8	5,0 - 5,4	4,7 - 5,1	4,3 - 4,7
	D	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8	5,2 - 5,4	4,8 - 5,1
	E	$\geq 6,3$	$\geq 5,9$	$\geq 5,5$	$\geq 5,2$
BG 2	A	$\leq 4,8$	$\leq 4,5$	$\leq 4,1$	$\leq 3,7$
	B	4,9 - 5,7	4,6 - 5,3	4,2 - 4,9	3,8 - 4,5
	C	5,8 - 6,3	5,4 - 5,9	5,0 - 5,5	4,6 - 5,1
	D	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3	5,6 - 5,9	5,2 - 5,5
	E	$\geq 6,8$	$\geq 6,4$	$\geq 6,0$	$\geq 5,6$
BG 3	A	$\leq 5,0$	$\leq 4,7$	$\leq 4,3$	$\leq 3,8$
	B	5,1 - 6,0	4,8 - 5,5	4,4 - 5,1	3,9 - 4,7
	C	6,1 - 6,7	5,6 - 6,2	5,2 - 5,8	4,8 - 5,4
	D	6,8 - 7,1	6,3 - 6,7	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8
	E	$\geq 7,2$	$\geq 6,8$	$\geq 6,3$	$\geq 5,9$
BG 4	A	$\leq 5,2$	$\leq 4,9$	$\leq 4,5$	$\leq 4,0$
	B	5,3 - 6,2	5,0 - 5,7	4,6 - 5,3	4,1 - 4,9
	C	¹⁾ 6,3 - 7,0	5,8 - 6,5	5,4 - 6,1	5,0 - 5,7
	D	7,1 - 7,4	6,6 - 7,0	6,2 - 6,5	5,8 - 6,1
	E	$\geq 7,5$	$\geq 7,1$	$\geq 6,6$	$\geq 6,2$
BG 5	A	$\leq 5,3$	$\leq 4,9$	$\leq 4,5$	$\leq 4,0$
	B	5,4 - 6,3	5,0 - 5,8	4,6 - 5,4	4,1 - 5,0
	C	¹⁾ 6,4 - 7,2	5,9 - 6,7	5,5 - 6,3	5,1 - 5,9
	D	7,3 - 7,7	6,8 - 7,2	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3
	E	$\geq 7,8$	$\geq 7,3$	$\geq 6,8$	$\geq 6,4$
Humusgehalt $\geq 30,1\%$					
BG 6 ²⁾		A, B C D, E		$\leq 4,2$ 4,3 $\geq 4,4$	

¹⁾ Auf karbonathaltigen Böden (freier Kalk): keine Erhaltungskalkung

²⁾ Auf sauren organischen Böden wird Ackernutzung nicht empfohlen. Auf einem Großteil der Niedermoore liegen die pH-Werte geogen bedingt $> 6,5$.

Abbildung 5 VDLUFA Rahmenschema pH-Wert-Klassen (VDLUFA (2000))

Dieses grobe Klassifizierungssystem für Bodentextur und Humusgehalt steht im Gegensatz zur Empfindlichkeit und Dichte der Informationen, die mit mobilen Sensorplattformen erfasst werden. Daher wurde der herkömmliche VDLUFA-Ansatz verbessert, indem ein „stufenloser“ Algorithmus abgeleitet wurde, d. h. es werden reale Werte für die drei Bodeneigenschaften anstelle von klassifizierten, ganzzahligen Werten verwendet (BÖNECKE et al., 2021). Diese Anpassung wird im Folgenden kurz zusammengefasst. Zunächst wurde für jede VDLUFA-Bodengruppe (BG) und Humus-Klasse ein zentraler Wert festgelegt. Für die Bodengruppen wurden die mittleren Tongehalte entsprechend den KA5-Klassen berücksichtigt, die den jeweiligen VDLUFA-Bodengruppen in kg-1 zugeordnet sind: BG1: 0,025, BG2: 0,085, BG3: 0,165, BG4: 0,175 und BG5: 0,625. Für die Humus-Klassen wurden die Medianwerte 2, 6, 11,5 und 22,5 als Referenzwerte in g kg⁻¹ festgelegt. Außerdem wurden die pH-Werte der entsprechenden fünf Kalkversorgungsstufen A-E sowohl auf die fünf Tongehalte als auch auf die vier Humusgehalte bezogen. Mit Hilfe von nichtlinearen Regressionen wurden die funktionalen Zusammenhänge berechnet, die eine Abschätzung der jeweiligen

Kalkversorgungsstufe (A-E) für jede Kombination von Ton- und Humusgehalt ermöglichen. Auf Grundlage dessen kann eine Kalkdüngeempfehlung in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem aktuellen und dem angestrebten pH-Wert (Kalkversorgungsstufe C) sowie dem tatsächlichen Ton- und Humusgehalt berechnet werden (BÖNECKE et al., 2021).

3.3 Usability von Handbüchern

Moderne Softwareanwendungen sind nicht mehr allein von Funktionalität geprägt, auch das Benutzererlebnis rückt immer mehr in den Vordergrund, mit dem Ziel Produkte für AnwenderInnen attraktiv zu machen (MOSER, 2012). In diesem Kontext sind die Begriffe der Usability und User Experience (UX) von zentraler Bedeutung (GRÜNWIED, 2017). Die Usability beschränkt sich dabei allerdings nicht nur auf das Produkt, sondern umfasst ebenso dessen Anleitung für die Verwendung. Diese ist beispielsweise im „pH-BB“-Projekt ein Maß dafür, wie gut BenutzerInnen die Informationen der Gebrauchsanleitung nutzen können. Nur ein ganzheitlicher Ansatz, bei dem Produkt und Gebrauchsanleitung (Nutzungsinformationen) zusammen betrachtet werden, ermöglicht ein bestmögliches NutzerInnenerlebnis. User Experience, wie eingangs beschrieben (siehe Kapitel 2.3), beschreibt die subjektiven „Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder erwarteten Benutzung“ eines Produktes, wie beispielsweise Handbüchern, resultieren (DIN EN ISO 9241-11, S. 12 2018).

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) ist ein weltweiter Verbund von nationalen Normungsorganisationen, welche auch für die Usability gewisse Standards setzt. Dem entspricht in Deutschland das Deutsche Institut für Normung (DIN), eine durch die Bundesrepublik anerkannte und beauftragte Plattform, welche für die Standardisierung verantwortlich ist. Für den Bereich der Usability gilt die ISO 9241, eine umfangreiche Normenreihe, die sich mit der Ergonomie der Mensch-System-Interaktion beschäftigt (DIN EN ISO 9241-11, 2018). Der Anwendungsbereich umfasst eine große Spanne von Software und interaktiver Hardware, wie Kommunikationsgeräten, Automaten und Consumer-Geräten (GRÜNWIED, 2017). Laut GRÜNWIED (2017) ist derzeit allerdings noch kein Normenteil der ISO 9241 spezifisch dem Bereich der Anleitungen und Benutzerassistenz gewidmet. Da aber die bestehenden Normenteile laufend aktualisiert werden, ist hier in der Zukunft mit Anpassungen zu rechnen. Dennoch gibt die Normenreihe zur Usability Hinweise, die sich ebenso auf Handbücher übertragen lassen.

Zukünftig wird es für Produktentwickler von steigendem Interesse sein, einen Fokus auf die Usability zu setzen, da das Produkt andernfalls unattraktiv für AnwenderInnen sein kann. Ein Produkt mit hoher Usability ist in der Lage Wettbewerbsvorteile zu generieren, da es auch Personen mit weniger spezialisierten Fähigkeiten anspricht und somit eine größere NutzerInnengruppe erreicht (DIN EN ISO 9241-11, 2018).

Für das Feld der Gebrauchsanleitungen (im Folgenden als Nutzungsinformationen bezeichnet), existiert die Normenreihe DIN-EN 82079, sowie speziell für die Software-Benutzerdokumentation die Normenreihe ISO/IEC 2651x. Sie gibt vor, in welchem Rahmen Nutzungsinformationen für Verbraucherprodukte erstellt werden sollen. Das Ziel der Norm ist eine verbraucherfreundliche Erstellung von Anleitungen, die auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Zielgruppe zugeschnitten sind (DIN e. V., 2012). Dazu gehört beispielsweise das Einbinden von Sicherheitshinweisen und die Wahl des Layouts.

Zu den Prinzipien der Erstellung von Nutzungsinformationen zählen nach GALBIERZ et al. (2014):

- Die Berücksichtigung von Zielgruppen
- Die Betrachtung der Anleitung als Teil des Produktes
- Die Bereitstellung der Anleitungen in geeigneter Weise
- Qualitätssicherung und Risikominimierung

Die Berücksichtigung von Zielgruppen dient dem Zweck, die Anforderungen an die Nutzungsinformation mittels einer Zielgruppenanalyse zu definieren und die Nutzungsinformation den Bedürfnissen und Fähigkeiten der NutzerInnen entsprechend anzupassen (ebd.).

Ohne eine Anleitung ist ein Produkt zudem laut Produkthaftungsgesetz fehlerhaft wodurch das Erstellen einer Anleitung zum bestimmungsgemäßen Gebrauch und zur umfassenden Information zur Benutzung ein essentieller Bestandteil des eigentlichen Produktes wird.

Weiterhin sorgt eine Anpassung der medialen Aufbereitung an den Nutzungskontext dafür, dass die NutzerInnen leichten Zugang zu allen notwendigen Informationen erhalten. Die dafür verwendeten Medien können durch verschiedenste Kommunikationsmittel, wie Symbole, Texte, Videos oder Sprache, gekennzeichnet sein (ebd.). Zudem empfiehlt es sich empirische Untersuchungen durchzuführen, um die Anleitung benutzeroorientiert erstellen und bewerten zu können. Mithilfe von Usability-Tests wird die Verständlichkeit und Nutzbarkeit überprüft.

Eine Möglichkeit der Bewertung der Usability ist die Heuristische Evaluation. Dieses besagt, dass eine geringe Zahl von Gutachtern ausreicht, um die Benutzerschnittstelle eines Produktes zu untersuchen und zu überprüfen, inwieweit diese mit bestimmten Usability Prinzipien (Heuristiken) übereinstimmt (EICHINGER, 1999.). Heuristische Evaluation ist dem Ansatz des Discount Usability Engineering zuzuordnen. Das Ziel dieses Ansatzes ist, den zeitlichen und finanziellen Aufwand zu reduzieren, um Verantwortlichen die Usability-Überprüfung zu erleichtern. Dafür sorgen Prüfmethoden, die sowohl leicht erlernbar als auch schnell durchzuführen sind und geringe Kosten verursachen. Die Heuristische Evaluation erfüllt diese Kriterien. Sie soll so die Hemmschwelle für einen tatsächlichen Einsatz der Usability-Überprüfung senken (ebd.).

Da laut NIELSEN (1994) 53 Faktoren erforderlich sind, um 90 % der Varianz bei Benutzerfreundlichkeitsproblemen zu erklären, wurde eine Reihe von Usability-Heuristiken entwickelt, die die Mehrheit der Usability-Probleme abdeckt. Dabei wurden neun Heuristiken spezifiziert, welche sich auf den Mensch-Computer-Dialog beziehen und zuerst von MOLICH und NIELSEN (1990) veröffentlicht und später von NIELSEN (1994) weiterentwickelt wurden:

1. Einfache und natürliche Dialoge einsetzen
2. Die Sprache der BenutzerInnen verwenden
3. Speicherbelastung der BenutzerInnen minimieren
4. Konsistenz schaffen
5. Feedback bereitstellen
6. Deutlich markierte Ausgänge vorsehen
7. Abkürzungen anbieten
8. Fehlermeldungen bereitstellen
9. Fehler vermeiden

Die Heuristiken bieten eine gute Basis zur Überprüfung der Usability von Mensch-Computer-Dialogen, lassen sich aber auch zur Bewertung von Gebrauchsinformationen heranziehen, insbesondere, wenn diese digital vorliegen.

4 MATERIAL UND METHODIK

4.1 Untersuchungsgebiet

Ziel ist es, ein anwenderorientiertes Handbuch für die Toolbox des „pH-BB“-Projektes zu entwickeln, um PraktikerInnen eine Unterstützung in der Anwendung zu geben und diese einem breiteren Publikum ohne spezielle Vorkenntnisse anzubieten. Dabei wird der gesamte Workflow von den Sensordaten bis zur fertigen Applikationskarte anhand eines Beispielschlags, der Teil des Untersuchungsgebiets des „pH-BB“-Projektes ist, dargestellt.

Der Schlag „PP1392“ umfasst ca. 62,7 ha und liegt im Osten Brandenburgs nahe Booßen auf der Lebusplatte (SCHOLZ, 1962). Der Schlag befindet sich vollständig auf einer Grundmoräne und das vorherrschende Substrat ist nach GÜK 100 sandiger bis stark sandiger Schluff mit Steinen (LGB, 2014). Die bestimmenden Bodenarten setzen sich hauptsächlich aus reinem Sand im Süden und Osten, im übrigen Teil aus schwach lehmigem Sand zusammen. Für das langjährige Mittel der Jahre 1981 bis 2010 hat die etwa 6 km entfernte DWD-Station in Frankfurt (Oder) einen Jahresniederschlag von 592 mm registriert. Die nächstgelegene Wetterstation mit verfügbaren Temperaturdaten befindet sich 18 km entfernt in Manschnow. Dort wurde für die Jahre 1981 bis 2010 eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,3 °C ermittelt (DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD), 2022).

Anhand dieser Ackerfläche, welche unterschiedliche Standorteigenschaften repräsentiert, können die Softwaremodule anschaulich erläutert werden. Für die Eingangsdaten liegen Messwerte aus dem Forschungsprojekt „pH-BB“ vor.

Zudem soll der Nutzen der Toolbox herausgearbeitet werden, indem in drei verschiedenen Szenarien die Eingangsdaten variiert werden. Diese Daten werden vom „pH-BB“-Projekt zur Verfügung gestellt, beziehungsweise sind im Digitalisierten Bodenbeschreibungssystem des Landes Brandenburg abrufbar (ALKIS der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB, 2022)).

4.2 Verwendete Daten

Die für das Handbuch verwendeten Naherkundungsdaten wurden bereits aufbereitet durch „pH-BB“ zur Verfügung gestellt und umfassen Daten verschiedener mobiler Sensorplattformen:

- (1) Veris MSP 3, welche den pH-Manager für die Messung des pH-Werts und das Veris ECa für die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit in 0 bis 30, sowie 0 bis 90 cm unter Geländeoberfläche enthält,
- (2) Veris OpticMapper, der Reflexionen mit Wellenlängen von 660 nm (sichtbares Rot) und 940 nm (NIR) erfasst sowie
- (3) Geophilus, der die Gammaaktivität und den scheinbaren elektrischen Widerstand (Rho) misst.

Die Daten wurden im Rahmen mehrerer Sensormesskampagnen zwischen September 2017 bis September 2021 auf der Fläche „PP1392“ erhoben.

Die Webanwendung, mit der im Rahmen dieser Arbeit gearbeitet wurde, ist von der iXmap GmbH (Deutschland) entwickelt worden, in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern des „pH-BB“-Projektes. Für die Datenverarbeitung und statistischen Analysen, die mit der Webanwendung durchgeführt wurden, kamen Skripte der freien Programmiersprache „R“ (R Core Team, 2022) zum Einsatz.

4.3 Arbeitsablauf

4.3.1 Handbuch

Die Prozesskette der präzisen Kalkung im Forschungs- und Entwicklungsprojekt „pH-BB“ ist bereits fertig ausgearbeitet worden (BÖNECKE et al., 2021). An dieser sollte sich das Handbuch orientieren. Zu Beginn stand daher die selbstständige Einarbeitung in die Toolbox im Vordergrund. Der gesamte Workflow entlang der Prozesskette, angefangen bei den aufbereiteten Sensordaten der Geophilus- und Veris-Plattform über die Bodenkartenerstellung bis hin zur Kalkapplikationskarte wurde anhand des Schlages PP1392 geübt. Außerdem wurde die Anmeldung und Einrichtung der Software dokumentiert. Die einzelnen Module liefen teils noch nicht stabil, da die Einarbeitung während der Entwicklungsphase der Software stattfand. Dafür konnten im Austausch mit den Verantwortlichen Anmerkungen und Verbesserungen implementiert werden, die sich aus der Anwendung ergaben.

Für die Erarbeitung des Handbuchs zur Toolbox wurden Sensordaten des Geophilus-Systems vom September 2017 verwendet. Die pH-Daten stammen aus der Sensorkampagne vom Herbst

2018 und Herbst 2021. Diese konnten später zum anschaulichen Vergleich genutzt werden und somit beispielhaft der pH-Wert vor, sowie nach der teilflächenspezifischen Kalkung dargestellt werden. Da die OpticMapper-Daten für den Rotbereich bei 660 nm fehlerhaft waren, konnten für die Vorhersage der Bodenparameter im Falle des OpticMappers lediglich Daten des Nah-Infrarotbereichs (940 nm) in die Berechnung der Bodenkarten einbezogen werden. Wie die Werte der Veris-Plattform für die elektrische Leitfähigkeit, stammten die OpticMapper-Daten von Messungen der Jahre 2018 und 2021.

Im Rahmen der Arbeit mit der Software wurden bei sämtlichen Prozessschritten Screenshots aufgenommen, um anschließend die einzelnen Schritte für die NutzerInnen aufbereitet im Handbuch bildhaft darstellen zu können. Für die Erstellung des Handbuchs wurde zunächst Microsoft Word verwendet, da so im Entwicklungsprozess leicht von anderen „pH-BB“-Projektteilnehmenden Anmerkungen vorgenommen werden konnten. Das Format „.docx“ ist von den meisten Textverarbeitungsprogrammen, wie beispielsweise auch OpenOffice, problemlos lesbar und so wurden Probleme mit der Kompatibilität bereits im Vorfeld weitestgehend vermieden. Für die professionelle Erstellung eines Handbuchs mit vielen Grafiken, Bildern und unterschiedlichen Textelementen ist Word allerdings weniger gut geeignet und es wurde daher im finalen Layoutschritt auf InDesign von Adobe zurückgegriffen (ADOBE, 2022). Als Branchenstandard für Layout ist es mit InDesign unkompliziert möglich, ein eigenes Design für das Handbuch zu entwerfen und darin flexibel mit Textabschnitten und Abbildungen zu arbeiten. Das Ziel war somit, ein optisch ansprechendes und inhaltlich logisch strukturiertes Handbuch zu erstellen. Basis für die Entwicklung war das erweiterte Wasserfallmodell nach ROYCE (1970) auf welches auch in der Norm ISO/IEC 26514 (2022) Bezug genommen wird. Somit gliederte sich die Entwicklung in mehrere Phasen. Zunächst mussten die Anforderungen der NutzerInnen an das Handbuch definiert werden, damit im zweiten Schritt das Design und die Inhalte danach ausgerichtet werden konnten. Die eigentliche Erstellung des Handbuchs folgte und zum Ende der Bearbeitung wurde das Produkt auf Mängel überprüft, die wiederum in einem iterativen Anpassungsprozess behoben wurden.

In der ersten Phase wurden die notwendigen Informationen, wie der Arbeitsablauf mit der Software und umfangreiche Hintergrundinformationen zur Funktionsweise, für die AnwenderInnen herausgearbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass für eine gute Usability auch Arbeitsschritte außerhalb der eigentlichen Web-GIS-Anwendung dokumentiert werden sollten. Es konnte nicht davon ausgegangen werden, dass AnwenderInnen vollumfängliche

Vorkenntnisse bei der digitalen Kartenerstellung und -verarbeitung besitzen. Somit wurde das Handbuch um einen Anhang erweitert, der Arbeitsschritte außerhalb der „pH-BB“-Toolbox behandelt. Die Erweiterung betraf das Abrufen von Bodenschätzungskarten aus dem Geobroker des Landes Brandenburg und die darauffolgende Bearbeitung in QGIS, wofür die Version 3.22.7 LTR genutzt wurde (LGB, 2022; QGIS, 2022).

Zudem wurde die Zielgruppe festgelegt, für welche das Handbuch bestimmt ist. Dies ist nach BRANDENBURG (2022) einer der wichtigsten Schritte bei der Gestaltung von Handbüchern. Daran angepasst wurden anschließend die Sprache und der Aufbau. Da die Zielgruppe aus landwirtschaftlichen PraktikerInnen und Beratern bestand, konnten gewisse Grundkenntnisse vorausgesetzt werden, was den Umgang mit GIS-Tools betraf. Dennoch handelt es sich bei der Toolbox um ein sehr spezialisiertes und komplexes Softwareprodukt, was Hintergrundinformationen für das Verständnis zwingend erforderlich machte. Auf der anderen Seite waren landwirtschaftliche Begriffe nicht gesondert erkläруngsbedürftig.

Für den Aufbau des Handbuchs wurde sich an dem PAT-Manual von RATCLIFF et al. (2020) orientiert, welches sich mit dem Beschreiben eines Softwarepaketes für QGIS zur Datenanalyse in der Präzisionslandwirtschaft befasst. Für NutzerInnen relevante und zusammengehörige Inhalte wurden in Kapiteln zusammengefasst. Diese Gliederung entsprach gleichzeitig dem Workflow entlang der Prozesskette, sodass eine logische Reihenfolge der Arbeitsschritte gegeben war. Der Klick-Anleitung ist meist ein eigenständiges Kapitel zugeordnet worden, welchem ein allgemeines Einführungskapitel vorausging. So sollte eine konsequente Struktur für die AnwenderInnen ersichtlich werden. Alle Beispiele und Screenshots bezogen sich auf den Schlag PP1392, was zusätzlich die Usability fördern sollte. Für die Ausgestaltung von Details, wie dem Boxensystem, diente das ArcGIS-Handbuch für ArcMap 10.8 von ESRI als Vorlage (ARCGIS, 2022). Durch die Abgrenzung von der reinen Anleitung mithilfe eindeutiger Boxen sollte erreicht werden, dass sich BenutzerInnen gut orientieren können und nur Textpassagen von individuellem Interesse lesen. Die Boxen wurden immer dann eingesetzt, wenn in einer Schritt-für-Schritt-Anleitung wichtige Hinweise oder Zusatzinformationen eingefügt werden mussten (siehe **Abb. 6**). Dafür wurden die drei Kategorien „Hinweis“, „Tipp“ und „Wissenswertes“ festgelegt.

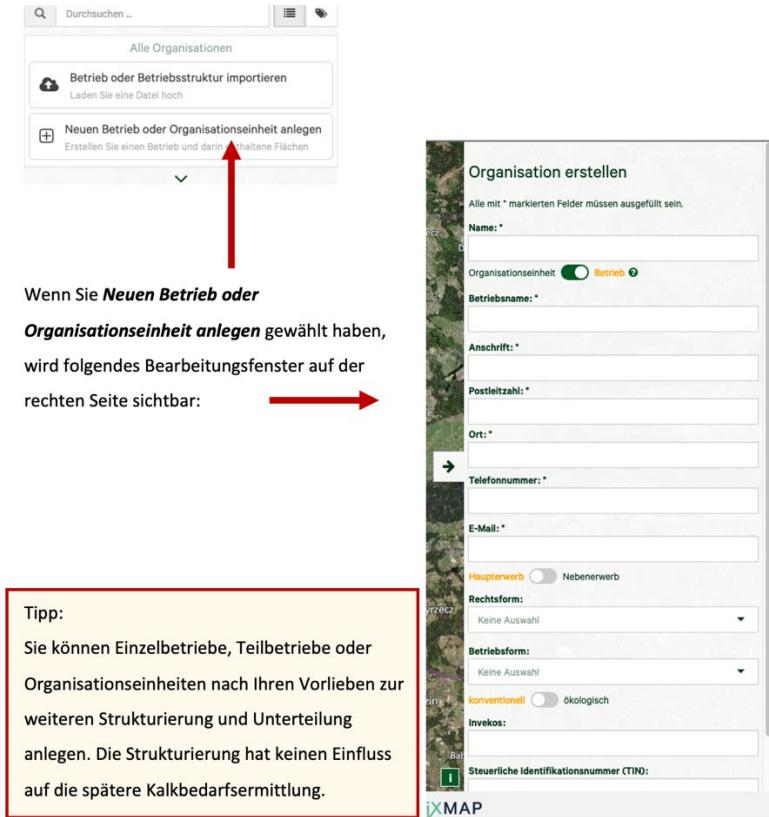


Abbildung 6 Beispiel für den Entwurf des Handbuchs mit einem abgegrenzten Boxenelement und Screenshots in Word

Auch sprachlich musste ein stringente Gestaltung des Handbuchs erfolgen. Gemäß den Vorgaben der technischen Kommunikation sind stets dieselben Begriffe für dieselben Dinge zu verwenden und verschiedene Begriffe für verschiedene Dinge (GRÜNWIED, 2017). Terminologischer Inkonsistenz wurde somit vorgebeugt. Auf die Empfehlungen von BRANDENBURG (2022) wurden Sätze zur besseren Verständlichkeit kurz gehalten und im Idealfall auf ein bis zwei Zeilen mit gleichzeitig möglichst wenigen Satzzeichen beschränkt. Das Design, insbesondere die Farbgebung des Handbuchs, ist an die Software angelehnt

Für die Abstimmung des Handbuchs sind verschiedene Entwürfe des Handbuchs während der Entwicklungsphase mit den Projektteilnehmenden geteilt worden. Diese bekamen damit die Möglichkeit, Anpassungen und Berichtigungen vorzuschlagen, welche in die Arbeit miteingingen. Durch die verschiedenen Spezialisierungen der einzelnen MitarbeiterInnen auf ihre jeweiligen Fachgebiete ergab sich eine konstruktive und wertvolle Zusammenarbeit. Die sowohl aus der Forschung als auch aus den Praxisbetrieben kommenden Rückmeldungen sorgten dafür, dass unterschiedliche Anforderungen an das Handbuch bei der Entwicklung berücksichtigt wurden. Diese Evaluation lief zeitweise parallel zur Arbeit und so ließen sich

vorgenommene Anpassungen erneut überprüfen. Damit sich auch zukünftig Erweiterungen oder Anpassungen am Handbuch vornehmen lassen, um Softwareaktualisierungen gerecht zu werden, ist das Handbuch sowohl als PDF-Datei, als auch als .docx-Datei vorgelegt worden. Dies ermöglicht eine unkomplizierte Fortführung der Arbeit, da sich das InDesign-Dokument nicht mit anderen Programmen öffnen oder bearbeiten lässt.

4.3.2 Kalkdüngungsszenarien

Für den Schlag PP1392 lagen aufgrund mehrerer Sensorkampagnen ausreichend Daten für den Szenarienvergleich vor, wobei die Labordaten aus 2021 ausgewählt wurden. Zudem repräsentieren die standörtlichen Bedingungen von PP1392 die Brandenburgischen Verhältnisse recht gut (siehe Kapitel 4.1). Für den Vergleich der Kalkdüngungsszenarien (KDS) wurden verschiedene mögliche Eingangsgrößen ausgewählt. Das KDS I ergab sich aus der gängigen Praxis, Flächen einheitlich zu bewirtschaften und zu düngen. Dies wird aus eigener Erfahrung immer noch auf Betrieben durchgeführt und bestätigte sich durch eine, im Rahmen des „pH-BB“-Projekts erhobene Studie (SCHEIBE, o. J.). Zunächst mussten die Bodenkarten für die darauffolgende Kalkbedarfsermittlung generiert werden. Die den flächeneinheitlichen Bodenkarten für das KDS I zugrundeliegenden Werte, ergaben sich aus der Berechnung der Durchschnittswerte der Laborergebnisse für pH-Wert und Humusgehalt aus der Kampagne 2021. Für die Bodengruppenkarte wurde der Median der Bodenschätzungsmappe mit dem größten Flächenanteil an der Schlaggesamtgröße ermittelt, da die Einteilung in feste Klassen keine Mittelwertbildung zulässt. Somit lautete für das KDS I die flächeneinheitliche Bodengruppe BG1 nach VDLUFA-Rahmenschema (VDLUFA, 2000). Der Mittelwert für den Parameter pH-Wert lag bei 6,0 und für den Humusgehalt lag das Schlagmittel bei 2 %.

Mit diesen Werten ließen sich die Bodenkarten als Rasterdaten generieren, die ihrerseits in die „pH-BB“-Toolbox importiert werden konnten.

Das KDS II ergab sich aus dem bisherigen betrieblichen Kalkungsverfahren, das von dem projektteilnehmenden Landwirtschaftsbetrieb Petra Philipp, angewandt wurde. Unter dessen Bewirtschaftung stand auch der Schlag PP1392. Der Betrieb arbeitete mit der Landwirtschaftlichen Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH (LAB) zusammen. Aus der Zusammenarbeit entstand eine Einteilung des Schlages in zehn Teilflächen, um den Bodenheterogenitäten auf der Bewirtschaftungsebene gerechter zu werden. Aufgrund der

Bereitstellung der Teilschlagseinteilung nach LAB durch den Betrieb konnte dieses Szenario ebenfalls in den Vergleich mit einbezogen werden. Für die Teilflächen (TF) ließen sich so die Durchschnittswerte der einzelnen Parameter eintragen. Die Mittelwerte für die TF nach LAB wurden auf Basis der sensorkalibrierten Bodenkarten für Humus und pH ermittelt. Aus jeder Teilfläche wurde eine randomisierte Stichprobe für pH und Humus für 10 Punkte gezogen und der Mittelwert aus den zehn Humus- und pH-Werten je TF berechnet.

Die Bodeneingangsgrößen für das KDS III ergaben sich aus der sensorbasierten Beprobung von PP1392 im Herbst 2021. Sie wiesen die höchste räumliche Auflösung auf und die Humus-, pH-Wert- und Bodengruppenkarte wurden zusätzlich um eine Tonkarte ergänzt, welche für die Berechnung mit dem stufenlosen Algorithmus in der „pH-BB“-Toolbox benötigt wurde. Die verschiedenen Bodeneingangsgrößen konnten nach dem Import in die Toolbox zur Berechnung der Bedarfskarten verwendet werden. Dies erfolgte in den KDS I bis III mit dem diskreten Algorithmus nach VDLUFA-Klassen. Außerdem wurde für das KDS III zusätzlich eine Bedarfskarte auf Grundlage des stufenlosen Algorithmus generiert. Im Unterschied zum diskreten Algorithmus verwendete der stufenlose (auch kontinuierliche) Algorithmus reale Werte anstelle von klassifizierten ganzzahligen Werten für die drei Bodeneigenschaften. So bot sich die Möglichkeit, die hohe Informationsdichte, welche mit den mobilen Sensorplattformen bereitgestellt wurde, optimal zu nutzen (BÖNECKE et al., 2021). Das grobe Klassifizierungssystem nach VDLUFA-Rahmenschema würde dem nicht gerecht werden (RUEHLMANN et al., 2021). In der „pH-BB“-Toolbox wurde dieses Nachschlagetabellensystem in einem leicht modifizierten Ansatz mit einem automatisierten R-Script verwendet, um die CaO-Ausbringungsmenge für jedes Pixel der Ergebnis-Rasterdatensätze zu berechnen. Für weitere Informationen sei hier auf RUEHLMANN et al. (2021) verwiesen. Der Algorithmus zur Bestimmung der CaO-Mengen als stufenloser Ansatz ist als R-Skript der freien Softwareumgebung für statistische Berechnungen und Grafiken R (Version 4.0.2) verfügbar.

Mit der „pH-BB“-Toolbox wurden zunächst entsprechend der oben beschriebenen Bodeneingangsgrößen die CaO-Bedarfskarten errechnet. In die Bedarfshöhe miteinbezogen wurden dabei das Kalkungsintervall in Jahren, sowie das Jahr der letzten Bodenuntersuchung und damit Zu- oder Abschläge bestimmt. Die herkömmliche VDLUFA-Methode geht von einem Kalkungsintervall von vier Jahren aus, sodass der Algorithmus automatisch Anpassungen vornimmt, wenn das betriebsindividuelle Intervall hiervon abweicht. Folglich

wird der Kalkbedarf immer in der Höhe berechnet, dass sich die pH-Klasse zur nächsten Kalkung in der optimalen Versorgungsstufe C befindet. Die Rastergröße der Bedarfskarten entsprach einer Abmessung von 2x2 m, was der maximalen Auflösung bedeutete. In einem weiteren Schritt wurden anschließend CaO-Streukarten berechnet, bei denen der Kalkbedarf der einzelnen Raster zu bewirtschaftbaren Teilflächen aggregiert wurde. Da der Betrieb bei der Kalkung mit einer Arbeitsbreite von 12 m streut, fiel die Wahl der Teilflächengrößen ebenfalls auf eine Abmessung von je 12x12 m. Die so generierten CaO-Bedarfsmengen wurden einerseits durch die „pH-BB“-Toolbox ausgegeben und abschließend mit MS-Excel auf Richtigkeit überprüft.

5 ERGEBNISSE

5.1 Handbuch

Das Handbuch für die „pH-BB“-Toolbox, welches im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurde, befindet sich im Anhang 1.

5.2 Kalkdüngungsszenarien

Die Auswertung der verschiedenen Kalkdüngungsszenarien (KDS) zeigt die in **Tabelle 2** und **Tabelle 3** aufgeführten Ergebnisse. Besonders auffallend sind dabei die Szenarien I und II. Das KDS I ergibt einen kumulativen Kalkbedarf von 0 t. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem VDLUFA-Rahmenschema, welches den optimalen pH-Wert bei der Bodenart Sand (bis 5% Ton) und einem Humusgehalt von weniger als 4% auf Ackerland zwischen 5,4 und 5,8 beziffert. Stattdessen liegt der pH-Wert im Flächenmittel bei 6,0, was im Falle des Beispiels der Versorgungsstufe D entspricht (VDLUFA, 2000). Es handelt sich um eine flächeneinheitliche Überversorgung und bedarf aufgrund dessen keiner Kalkung, um den pH-Wert in den standortgerechten Bereich zu bewegen. Zu einem gänzlich entgegengesetzten Ergebnis kam die Auswertung des zweiten KDS. Hier ergab die Kumulierung der Teilflächen nach LAB einen CaO-Bedarf von 96,7 t für den gesamten Schlag PP1392.

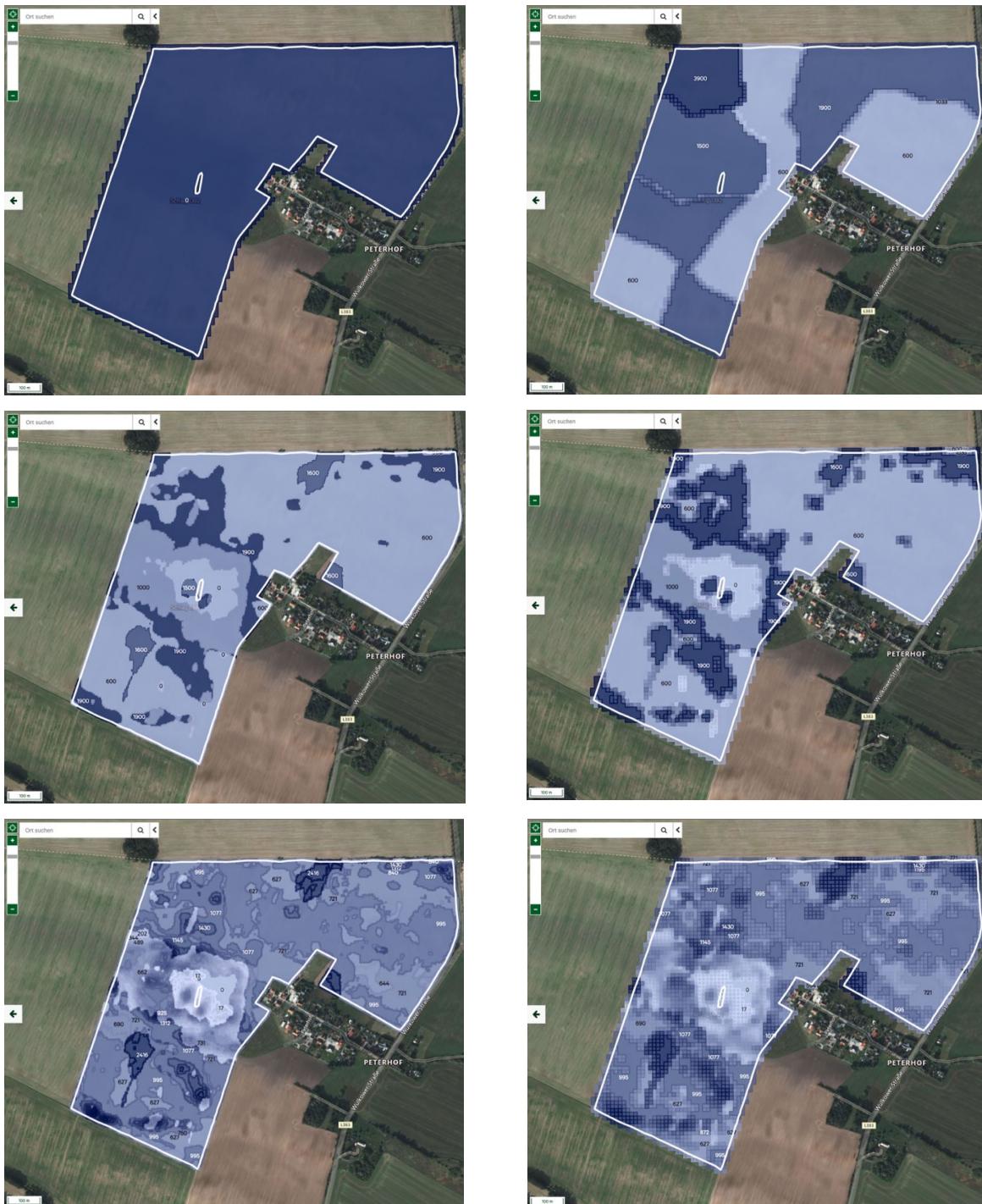
Tabelle 2 Auswertung der Kalkdüngungsszenarien

Kalkdüngungsszenario	Verwendeter Algorithmus	Auflösung	Kumulativer CaO-Streukarte in m	Bedarf in t
I Uniform	VDLUFA diskret	12 x 12		0
II Teilflächen nach LAB	VDLUFA diskret	12 x 12		96,7
III Sensorbasiert	VDLUFA diskret	2 x 2 (max.)		59,7
III Sensorbasiert	VDLUFA diskret	12 x 12		62,3
III Sensorbasiert	Stufenlos nach „pH-BB“	2 x 2 (max.)		59,0
III Sensorbasiert	Stufenlos nach „pH-BB“	12 x 12		61,4

Im Falle des dritten Szenarios liegen die CaO-Bedarfe wesentlich enger zusammen und streuen nur geringfügig. Allerdings ist hier die Tendenz zu erkennen, dass die Gesamtbedarfe mit zunehmender Genauigkeit abnehmen. Sowohl unter Verwendung des diskreten Algorithmus nach VDLUFA als auch mit dem stufenlosen Algorithmus nach „pH-BB“ liegt der CaO-Bedarf jeweils in der maximal aufgelösten Variante unter dem der 12x12 m Rasterauflösung. Die Einsparung liegt hier bei knapp 5% im Szenario mit diskretem Algorithmus und knapp 4% bei der Verwendung des stufenlosen Algorithmus. Vergleicht man die Ergebnisse der zwei verschiedenen Algorithmen miteinander, lassen sich keine nennenswerten Werteunterschiede feststellen. Die gerundeten Gesamt Mengen für PP1392 schwanken lediglich um maximal eine Tonne CaO bei einer Flächengröße von ca. 62,5 ha.

Eine Erklärung für dieses Phänomen könnte die recht geringe räumliche Variabilität der Ton- und Humusgehalte sein, die den Berechnungen zugrunde liegt. Wie aus den sensorbasierten Bodenkarten hervorgeht, bleiben die Tongehalte über weite Bereiche von PP1392 stabil zwischen 4% und 7%. Lokale Extrema finden sich lediglich am südlichen Rand mit Gehalten von bis zu 13% und um den Soll herum im Zentrum des Schlages mit bis zu 30% Tonanteil. Gleichermaßen gilt für die Humusgehalte, welche sichtbar mit den Tongehalten korrelieren und größtenteils zwischen 1,5% und 2,5% liegen. Beträgt der Tongehalt mehr als 10%, steigen auch die Humusgehalte auf 3% bis 5% an. Der Bereich mit den höheren Ton- und Humusgehalten ist räumlich recht scharf abgegrenzt und beschränkt sich auf etwa 6 ha. Der stufenlose Algorithmus ist besonders für heterogene Flächen zu empfehlen, da sich so die bessere Anpassung an die hochaufgelösten Bodenkarten nutzen lässt (RUEHLMANN et al., 2021). Zudem gehören Humus- und Tongehalt nicht zu den sensitivsten Größen bei der Gewichtung der Parameter, da hier maßgeblich pH-Wert und Textur den CaO-Bedarf bestimmen. Je variabler die einzelnen Parameter sind, desto stärker würden sich die Unterschiede der beiden verschiedenen Algorithmen bemerkbar machen.

Tabelle 3 CaO-Streukarten Oben: Szenario I (li.); Szenario II (re.); Mitte: Szenario III diskreter Algorithmus 2x2 m (li) und 12x12 m (re); Unten: Szenario III stufenloser Algorithmus 2x2 m (li) und 12x12 m (re)



6 DISKUSSION

1.1 Handbuch

Bei der Erstellung des Handbuchs bestand eine der Herausforderungen darin, die umfangreichen Funktionen der „pH-BB“-Toolbox vollständig und verständlich für NutzerInnen zu erklären und darzustellen. Das sehr spezialisierte Anwendungsfeld der Software bedeutete, dass viele Begrifflichkeiten und Vorgänge, wie beispielsweise Kriging verständlich für die Zielgruppe aufbereitet werden mussten. Gleichzeitig durfte die Informationslast nicht zu hoch werden, da es sich um ein Handbuch handelt, welches den Zweck verfolgt, AnwenderInnen bei der Erstellung hochaufgelöster Bodenkarten und Applikationskarten zu unterstützen. In professionellen Dokumentationserstellungen sind ganze Entwicklerteams für die Erarbeitung von Handbüchern zuständig (GRÜNWIED, 2017). Allerdings waren im Falle dieser Abschlussarbeit die zeitlichen und personellen Mittel deutlich begrenzt. Das Bestreben lag während des Prozesses darin, möglichst viele Usability-Aspekte mitaufzunehmen und mit dem Handbuch einen Mehrwert für NutzerInnen der „pH-BB“-Toolbox bieten zu können. Aufgrund der knapp bemessenen Zeit, die zur Verfügung stand, musste auf einige Punkte verzichtet werden. So zog die Erarbeitung des Anhangs einige Mehraufwand mit sich, der nicht vorhergesehen war. Dennoch war dies eine sinnvolle und an den AnwenderInnen orientierte Erweiterung, die dazu beiträgt, dass weniger Vorkenntnisse benötigt werden.

In den Prozess der Handbacherstellung waren zwar die Projektteilnehmenden eingebunden, doch fand keine Evaluierung des Handbuchs mit externen Test-NutzerInnen statt, wie dies im Rahmen der Qualitätskontrolle empfohlen wird. Hier besteht bei zukünftigen Weiterentwicklungen des Handbuchs die Aufgabe, dies nachzuholen. Die zum Redaktionsschluss vorliegende Version wurde sowohl von „pH-BB“-Projektteilnehmenden aus der landwirtschaftlichen Praxis wie auch aus der Forschung mehrfach evaluiert und als ansprechend und gelungen bezeichnet, womit sich eine gute fachliche Grundlage ergibt. Das Layout und der Inhalt wurden mehrfach angepasst. Allerdings fehlt, wie oben genannt, die Perspektive von projektfremden Personen, die bisher weder mit der Software noch mit der Thematik des Digital Soil Mapping Kontakt hatten. Da die Musterdaten aus dem Handbuch ebenfalls online zur Verfügung gestellt werden sollen, bietet dies aber eine weitere Hilfe die

einzelnen Schritte entlang der Prozesskette eigenständig zu erarbeiten und zu verstehen. Die NutzerInnen können ihre Ergebnisse so stets mit denen der Anleitung vergleichen.

Eine zusätzliche Herausforderung bestand darin, dass die Software während des Erstellens des Handbuchs noch eine Reihe von Fehlern aufwies, die die Dokumentation über Screenshots erschwerte, beziehungsweise hinauszögerte. Hier wäre ein größeres Zeitfenster ebenfalls von Vorteil gewesen. Auf der anderen Seite bestand durch den Kontakt mit der Entwicklungsfirma iXMAP die Möglichkeit, Fehlerbeseitigungen anzuregen, bevor das offizielle Release der Software durchgeführt wurde. Es bleibt abzuwarten, inwieweit sich das Handbuch von projektfremden Personen als Hilfestellung für die „pH-BB“-Toolbox einsetzen lässt. Hier empfehlen sich in jedem Fall Umfragen unter PraktikerInnen oder andere Evaluierungstechniken für die zukünftige Weiterentwicklung des Handbuchs.

1.2 Kalkdüngungsszenarien

Beim Vergleich der Kalkdüngungsszenarien wird deutlich, dass sich die Streukarten deutlich voneinander unterscheiden. Der berechnete Kalkbedarf für PP1392 variiert über eine große Spanne von 0 t CaO in Szenario I bis annähernd 97 t CaO in Szenario II. Dabei ist davon auszugehen, dass die sensorbasierten Karten die höchste Vorhersagegenauigkeit aufweisen, da sie auf der größten Datengrundlage basieren. Insbesondere die Streukarten, welche mittels Stufenlos-Algorithmus generiert wurden, sind durch die einbezogene Tongehaltskarte nochmals genauer. Der errechnete Kalkbedarf schwankt zwischen den sensorbasierten Karten lediglich zwischen 59 t und 62,3 t.

Auffallend ist, dass in Szenario I offenbar kein Kalkbedarf besteht (**Abb. 7**). Allerdings zeigen die Streukarten der anderen Szenarien eine deutliche Unterversorgung (**Abb. 9-12**). Nach flächeneinheitlichen Durchschnittswerten der kalkungsrelevanten Parameter den CaO-Bedarf zu bestimmen, erscheint demnach nicht empfehlenswert. Im Gegenteil birgt dieses Vorgehen, bei dem aus einigen wenigen Mischproben der Schlagmittelwert gebildet wird, sogar die Gefahr, dass die Fläche stark mit Kalk unversorgt bleibt. Der tatsächliche pH-Wert liegt unter der optimalen Gehaltsklasse C und es ist mit Ertragseinbußen zu rechnen. Dies deckt sich mit Aussagen von RUEHLMANN et al. (2021), nach denen der flächeneinheitliche Düngungsansatz als überholt anzusehen ist.

Die Einteilung in mehrere Teilflächen kann eine erste Verbesserung dieser Problematik darstellen. Nach den Berechnungen von Szenario II mit Teilflächeneinteilung nach LAB (Abb. 8) beträgt der Kalkbedarf annähernd 97 t CaO/ha. Dieser Wert liegt wiederum deutlich über denen der sensorbasierten Berechnungen. Es käme in vielen Bereichen zu einer Überkalkung, da auch dieser Ansatz die kleinräumigen Bodenheterogenitäten noch nicht ausreichend berücksichtigt.

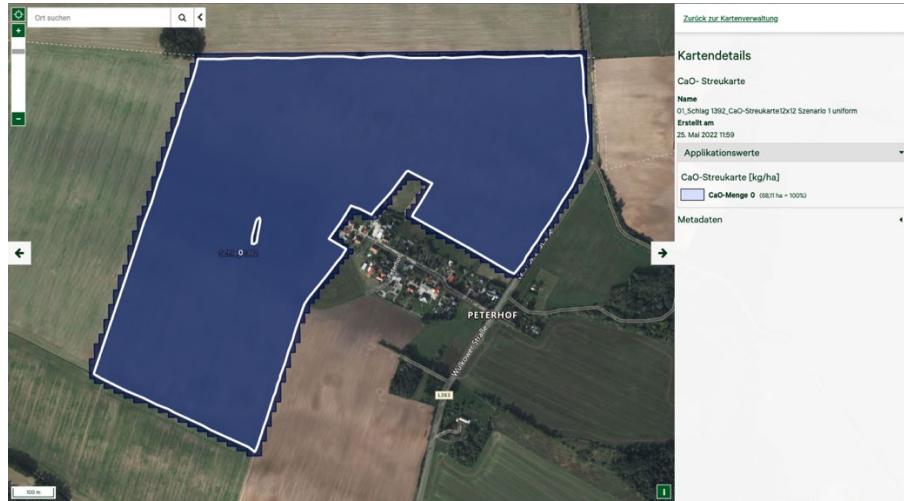


Abbildung 7 CaO-Streukarte mit flächeneinheitlichen Werten der kalkungsrelevanten Parameter



Abbildung 8 CaO-Streukarte mit Teilflächen nach LAB

Erst in Szenario III (Abb. 9-12) findet sich die räumliche Variabilität von PP1392 auch in den Streukarten wieder. Insbesondere die hochauflösten Karten mit einem 2x2 m Raster stellen die unterschiedlich hohen CaO-Bedarfe gut dar. Vorteilig erweisen sich die am höchsten aufgelösten Karten auch, weil bei diesen die Gesamtkalkmenge geringer ist als bei einer

Auflösung von 12x12 m. Zwar sind die Differenzen zwischen den verschiedenen hohen Auflösungen nur sehr gering, doch zeigen sie eine Tendenz, die bereits von (BÖNECKE et al., 2021) aufgezeigt wurde. Je höher die Auflösung der Streukarten wird, desto geringer werden die Gesamtaufwandmengen und desto zielgenauer kann der Kalk dort appliziert werden, wo der reale Bedarf besteht. Somit kann die präzise Bewirtschaftung mehrere Vorteile erbringen. Der Vorteil des stufenlosen Algorithmus der „pH-BB“-Toolbox gegenüber dem diskreten Stufen-Algorithmus nach VDLUFA wird ebenfalls beim Vergleich der Streukarten deutlich. Durch den Ansatz einer kontinuierlichen Skalierung werden Klassengrenzen wie in **Abbildung 9 und 10** aufgehoben und auch in scheinbar einheitlichen Bereichen erfolgt eine weitere Differenzierung, die der hohen Beprobungsdichte der mobilen Sensorplattformen Rechnung trägt.



Abbildung 9 CaO-Streukarte Szenario III diskret 2x2 m Auflösung



Abbildung 10 CaO-Streukarte Szenario III diskret 12x12 m Auflösung

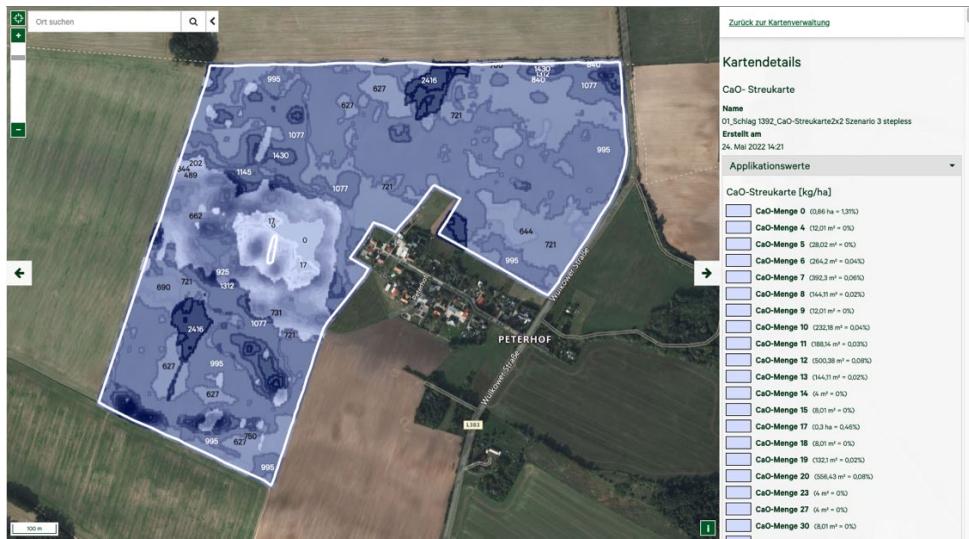


Abbildung 11 CaO-Streukarte Szenario III stufenlos 2x2 m Auflösung



Abbildung 12 CaO-Streukarte Szenario III stufenlos 12x12 m Auflösung

Derzeit sind Teilflächen von 2x2 m Größe noch unrealistisch bei der Kalkausbringung, doch in der Zukunft böte sich die Möglichkeit, beispielsweise mit intelligenten Schwarmrobotern diese exakten Ausbringmengen zu realisieren. Entsprechende Weiterentwicklungen werden von Landtechnikherstellern und der Forschung verfolgt. Auch wenn dies bei den geringen Düngerkosten für Kalk derzeit nicht lohnend erscheint, so ließe sich dieser Ansatz dafür auf andere Betriebsmittel, wie Stickstoffdünger übertragen. Es könnte, ohne Unterversorgungen zu provozieren, insgesamt weniger ausgebracht werden. Gleichzeitig könnten sich betriebswirtschaftlich und auch im Hinblick auf Klima- und Ressourcenschutz Vorteile ergeben.

7 FAZIT UND AUSBLICK

Der Vergleich zwischen den verschiedenen Kalkdüngungsszenarien ergab, dass die präzise Kalkung auf der Basis von umfangreichen Naherkundungsdaten den tatsächlichen Kalkbedarfen am besten entspricht. Die grundsätzliche Annahme, dass Kalk durch die präzise Kartenerstellung eingespart wird, ist falsch. Vielmehr wird der Kalk dorthin gestreut, wo ein tatsächlicher Bedarf besteht, was zu Beginn der präzisen Kalkung unter Umständen sogar zu einem höheren Kalkaufwand führen kann. Dennoch bietet sich durch die sensorgestützte Kalkbedarfsermittlung und der dazu im Rahmen des „pH-BB“-Projekts entwickelten WebGIS-Anwendung für LandwirtInnen eine praxisorientierte Lösung für die präzise Kalkung.

Hervorzuheben ist die mit steigender Auflösung der Streukarten abnehmende CaO-Gesamtmenge, wobei die Kalkapplikation mit einer Genauigkeit von 2x2 m mit den derzeit am Markt erhältlichen technischen Lösungen nicht erreicht wird. Hier sind die weiteren Entwicklungen hin zu genaueren Applikationsverfahren abzuwarten.

Ein Nachteil des vorgestellten Verfahrens ist die fehlende Einbeziehung der Nährstoffverhältnisse, da in diesem Projekt die Einstellung des korrekten pH-Wertes im Mittelpunkt steht, ohne andere Nährstoffe einzubeziehen. Dies könnte Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein.

Ferner besteht Forschungsbedarf bei der Frage, inwieweit das Handbuch zur „pH-BB“-Toolbox noch verbessert werden kann, um die Usability und damit die Akzeptanz des Softwarepaketes unter den AnwenderInnen zu erhöhen.

Digitale Bodenkarten, wie sie in der „pH-BB“-Toolbox generiert werden, sind nicht nur für die Kalkdüngung relevant, sondern könnten auch für andere Managementmaßnahmen Verwendung finden, wie etwa Saatbettbereitung, Bewässerung oder andere teilflächenspezifische Düngung.

8 LITERATURVERZEICHNIS

ADAMCHUK, V.I., HUMMEL, J.W., MORGAN, M.T., UPADHYAYA, S.K., 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44, 71–91. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.

ADAMCHUK, V.I., VISCARRA ROSSEL, R.A., MARX, D.B., SAMAL, A.K., 2011. Using targeted sampling to process multivariate soil sensing data. *Geoderma* 163, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.004>.

ADOBE, 2022. Software für Layout und Desktop-Publishing | Adobe InDesign (Version 17.0) URL: <https://www.adobe.com/de/products/indesign.html> (Zugriff am 25.05.22).

ARCGIS, 2022. Überblick über die 3D Analyst-Toolbox—ArcMap | Dokumentation URL: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/an-overview-of-the-3d-analyst-toolbox.htm> (Zugriff am 25.05.22).

BEHRENS, T., SCHMIDT, K., KELLER, A., 2017. Factsheets Digital Soil Mapping: Im Auftrag des Eidgenössischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU). <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/36946>.

BEHRENS, T., SCHOLTEN, T., 2006. Digital soil mapping in Germany—a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 434–443. <https://doi.org/10.1002/jpln.200521962>.

BILL, R., 2016. Grundlagen der Geo-Informationssysteme: 6. Auflage., Wichmann; Berlin, 855 S.

BÖNECKE, E., MEYER, S., VOGEL, S., SCHRÖTER, I., GEBBERS, R., KLING, C., KRAMER, E., LÜCK, K., NAGEL, A., PHILIPP, G., GERLACH, F., PALME, S., SCHEIBE, D., ZIEGER, K., RUEHLMANN, J., 2021. Guidelines for precise lime management based on high-resolution soil pH, texture and SOM maps generated from proximal soil sensing data. *Precis. Agric.* 22, 493–523. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09766-8>.

BRANDENBURG, S., 2022. Jun.-Prof. für Anwendungsorientierte Kognitionspsychologie, Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz, E-Mail, 30.03.2022.

BURROUGH, P.A., 1993. Soils and Fertilizers 56. CAB International.

CLARK, I., HARPER, W., 2002. Practical geostatistics 2000, 3. reprint. ed. Ecosse North America, Columbus, Ohio.

DE GRUIJTER, J.J., WALVOORT, D.J.J., VAN GAMS, P.F.M., 1997. Continuous soil maps — a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models. *Geoderma* 77, 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00021-9).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD), 2022. Langjährige Stationsmittelwerte für die Klimareferenzperiode 1981-2010, Standort Manschnow.
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/ (Zugriff am 22.04.2022).

DIN e. V., 2012. Neue Norm für Gebrauchsanleitungen. DIN Verbraucherrat. URL: <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/nutzen-fuer-den-verbraucher/verbraucherrat/ueber-uns/neue-norm-fuer-gebrauchsanleitungen-72226> (Zugriff am 19.05.22).

DIN EN ISO 9241-11, 2018. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO 9241-11:2018); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:2018. Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/2757945>.

EICHINGER, A., 1999. Heuristische Evaluation. https://www.uni-regensburg.de/Fakultaeten/phil_Fak_II/Psychologie/Doktoranden/absolventen/eichinger_armi_n/u-tests.html (Zugriff am 27.04.2022).

EIP-AGRI, 2022. Präzise Kalkung in Brandenburg (pH BB) | EIP-AGRI. URL: <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/projects/pr%C3%A4zise-kalkung-brandenburg-ph-bb> (Zugriff am 10.02.22).

GALBIERZ, M., PICHLER, W.W., SCHNEIDER, S., TILMANN, M., 2014. Kommentar: Gebrauchsanleitungen nach DIN EN 82079-1, 1. Auflage. ed, Beuth-Kommentar. Beuth Verlag, Berlin.

GE, Y., THOMASSON, J.A., SUI, R., 2011. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. Front. Earth Sci. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0175-0>.

GRÜNWIED, G., 2017. Usability von Produkten und Anleitungen im digitalen Zeitalter: Handbuch für Entwickler, IT-Spezialisten und Technische Redakteure: mit Checklisten und Fallstudien. Publicis Pixelpark; Erlangen, 208 S.

HASSENZAHL, M., 2008. User experience (UX): towards an experiential perspective on product quality, in: Proceedings of the 20th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine on - IHM '08. Presented at the the 20th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, ACM Press, Metz, France, p. 11. <https://doi.org/10.1145/1512714.1512717>.

HUANG, J., SUBASINGHE, R., TRIANTAFILIS, J., 2014. Mapping Particle-Size Fractions as a Composition Using Additive Log-Ratio Transformation and Ancillary Data. Soil Sci. Soc. Am. J. 78, 1967–1976. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.05.0215>.

ISO/IEC 26514, 2022. ISO/IEC/IEEE 26514:2022-01 (E) Systems and software engineering - Design and development of information for users.

JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F., TIEMEYER, B., VOS, C., WITTNEBEL, M., MÜLLER, T., SÄURICH, A., FAHRION-NITSCHKE, A., GEBBERT, S., HOPFSTOCK, R., JACONI, A., FREIBAUER, A., 2018. Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>.

JENNY, H., 1941. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Mc Graw-Hill; New York.

KERSCHBERGER, M., PREUSKER, T., 2014. Zur Bodenreaktion im Getreidebau - Mehrerträge durch Kalkung. LOP Landwirtschaft ohne Pflug, 28–31.

KRIGE, D.A., 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand., in: Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa.

KUHN, M., Williams, C.K., ENGELHARDT, A., COOPER, T., MAYER, Z., ZIEM, A., et al., 2022. caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-84.

KWEON, G., LUND, E., MAXTON, C., 2013. Soil organic matter and cation-exchange capacity sensing with on-the-go electrical conductivity and optical sensors. Geoderma 199, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.001>.

LAMP, J., KNEIB, W., 1981. Zur quantitativen Erfassung und Bewertung von Pedofunktionen., in: Mitteilungen Der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 32. pp. 695–711.

LGB, 2022. ALKIS | LGB Startseite. URL <https://geobasis-bb.de/lgb/de/geodaten/liegenschaftskataster/alkis/> (Zugriff am 20.02.22).

LGB, 2014. LANDESVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION BRANDENBURG Geologische Übersichtskarte im Maßstab 1:100.000 (GÜK 100) Landkreis Märkisch-Oderland.

LUECK, E., RUEHLMANN, J., 2013. Resistivity mapping with GEOPHILUS ELECTRICUS — Information about lateral and vertical soil heterogeneity. Geoderma 199, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.009>.

LUND, E., ADAMCHUK, V.I., COLLINGS, K.L., DRUMMOND, P.E., CHRISTY, C.D., 2005. Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors.

MALONE et. al, B., 2016. Using R for digital soil mapping. Springer Berlin Heidelberg, New York, NY, 262 S.

MATHERON, G., 1962. Traité de géostatistique appliquée, tome i. mémoires du bureau de recherches géologiques et minières 14. Éditions Technique: Paris.

MCBRATNEY, A., MULLA, D., 2001. Soil Spatial Variability, in: Warrick, A. (Ed.), Soil Physics Companion. CRC Press, pp. 343–373. <https://doi.org/10.1201/9781420041651.ch9>.

MCBRATNEY, A.B., MENDONÇA SANTOS, M.L., MINASNY, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3–52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).

MCBRATNEY, A.B., PRINGLE, M.J., 1999. Estimating Average and Proportional Variograms of Soil Properties and Their Potential Use in Precision Agriculture. *Precis. Agric.* 1, 125–152. <https://doi.org/10.1023/A:1009995404447>.

MEYER, S., KLING, C., VOGEL, S., SCHRÖTER, I., NAGEL, A., KRAMER, E., GEBBERS, R., PHILIPP, G., LÜCK, K., GERLACH, F., SCHEIBE, D., RUEHLMANN, J., 2019. Creating soil texture maps for precision liming using electrical resistivity and gamma ray mapping, in: Precision Agriculture '19. Presented at the 12th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, Montpellier, France, pp. 539–546. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-888-9_67.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A., 2006. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Comput. Geosci.* 32, 1378–1388. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.12.009>.

MOHS, C., HURTENNE, J., KINDSMÖLLER, M.C., ISRAEL, J.H., MEYER, H.A., 2006. IUUI – Intuitive Use of User Interfaces: Auf dem Weg zu einer wissenschaftlichen Basis für das Schlagwort „Intuitivität“ MMI-Interaktiv, 10.

MOLICH, R., NIELSEN, J., 1990. Improving a Human - Computer Dialogue. *Commun. ACM* 33, 11.

MOSER, C., 2012. User-experience-Design: mit erlebniszentrirter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern, 1. Aufl. ed, X.media.press. Springer Vieweg; Berlin Heidelberg.

- MUZZAMAL, M., HUANG, J., NIELSON, R., SEFTON, M., TRIANTAFILIS, J., 2018. Mapping Soil Particle-Size Fractions Using Additive Log-Ratio (ALR) and Isometric Log-Ratio (ILR) Transformations and Proximally Sensed Ancillary Data. *Clays Clay Miner.* 66, 9–27. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2017.064074>.
- NIELSEN, J., 1994. Enhancing the explanatory power of usability heuristics, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Celebrating Interdependence - CHI '94. Presented at the the SIGCHI conference, ACM Press, Boston, Massachusetts, United States, pp. 152–158. <https://doi.org/10.1145/191666.191729>.
- NOACK, P.O., 2019. Precision Farming - Smart Farming - Digital Farming: Grundlagen und Anwendungsfelder. Wichmann; Berlin Offenbach. 184 S.
- ODEH, I.O.A., TODD, A.J., TRIANTAFILIS, J., 2003. SPATIAL PREDICTION OF SOIL PARTICLE-SIZE FRACTIONS AS COMPOSITIONAL DATA. *Soil Sci.* 168, 501–515. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000080335.10341.23>.
- QGIS, 2022. QGIS-macOS-Installationsversion 3.22. URL <https://qgis.org/de/site/forusers/download.html> (Zugriff am 25.05.22).
- R Core Team, 2022. R: The R Project for Statistical Computing [WWW Document]. URL <https://www.r-project.org/> (Zugriff am 21.02.22).
- RATCLIFF, C., GOBBETT, D., BRAMLEY, R., 2020. PAT - Precision Agriculture Tools. CSIRO. <https://doi.org/10.25919/5F72D61B0BCA9>.
- RODRIGUES, F.A., BRAMLEY, R.G.V., GOBBETT, D.L., 2015. Proximal soil sensing for Precision Agriculture: Simultaneous use of electromagnetic induction and gamma radiometrics in contrasting soils. *Geoderma* 243–244, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.004>.
- ROSSITER, D.G., 2005. Digital Soil Mapping: Towards a multiple-use soil Information System.
- ROYCE, W.W., 1970. “Managing the Development of Large Software Systems,” Proceedings IEEE WESCON, Los Angeles.
- RUEHLMANN, J., BÖNECKE, E., MEYER, S., 2021. Predicting the Lime Demand of Arable Soils from pH Value, Soil Texture and Soil Organic Matter Content. *Agronomy* 11, 785. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040785>.
- SAHU, B., CHATTERJEE, S., MUKHERJEE, S., SHARMA, C., 2019. Tools of precision agriculture: A review. In: International Journal of Chemical Studies; 7(6): 2692-2697
- SCHEIBE, D., o. J. Umfrage im Rahmen des Projektes "pH-BB".

SCHIRRMANN, M., GEBBERS, R., KRAMER, E., SEIDEL, J., 2012. Evaluation of soil sensor fusion for mapping macronutrients and soil pH.

SCHOLZ, E., 1962. Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. Pädagogisches Bezirkskabinett: Potsdam.

SCHRÖTER, I., PAASCHE, H., DIETRICH, P., WOLLSCHLÄGER, U., 2015. Estimation of Catchment-Scale Soil Moisture Patterns Based on Terrain Data and Sparse TDR Measurements Using a Fuzzy C-Means Clustering Approach. *Vadose Zone J.* 14, vzej2015.01.0008. <https://doi.org/10.2136/vzj2015.01.0008>.

SCHRÖTER, I., VOGEL, S., MEYER, S., KLING, C., RUEHLMANN, J., GEBBERS, R., KRAMER, E., 2018. Präzise Kalkung durch Integration hochauflösender Bodensensordaten.

The Python Software Foundation, 2022. Python.org. URL <https://www.python.org/psf-landing/> (Zugriff am 25.05.22).

TOBLER, W.R., 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Econ. Geogr.* 46, 234. <https://doi.org/10.2307/143141>.

VAN DEN BOOGAART, K.G., TOLOSANA-DELGADO, R., 2008. “compositions”: A unified R package to analyze compositional data. *Comput. Geosci.* 34, 320–338. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.11.017>.

VDLUFA, 2000. Standpunkt Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.

VOGEL, S., LÜCK, K., GEBBERS, R., RUEHLMANN, J., SCHEIBE, D., KLING, C., BÖNECKE, E., SCHRÖTER, I., PHILIPP, G., NAGEL, A., ZIEGER, K., MEYER, S., GERLACH, F., PALME, S., KRAMER, E., 2019. Kalkdüngung – aber bitte präzise. *Landwirtschaft Ohne Pflug, LOP* 6.

VON WULFFEN, U., ROSCHKE, M., KAPE, H.-E., 2008. Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngerverordnung (DüV): gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt (veröffentlicht durch das Land Brandenburg). Landesamt für Verbraucherschutz & Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF), Güterfelde.

WACKERNAGEL, H., 2010. Multivariate Geostatistics, 3., rd ed. Softcover version of original hardcover edition 2003. ed. Springer Berlin, Berlin.

WELTZIEN, C., GEBBERS, R., 2016. Aktueller Stand der Technik im Bereich der Sensoren für Precision Agriculture. In: RUCKELSHAUSEN et al. (Hrsg.): Intelligente Systeme Stand der Technik und neue Möglichkeiten, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik: Bonn. S. 15-18.

WENDLAND, M., 2014. Landwirtschaftlicher Pflanzenbau: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus, 13., völlig neu bearb. u. erw. Aufl. ed, Die Landwirtschaft: Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. BLV-Buchverlag, München. 1208 S.

ZIMMER, J., ELLMER, F., 2012. Nährstoffversorgung ackerbaulich genutzter Böden im Land Brandenburg. In: Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 92-93.

9 ANHANG

Anhang 1: Handbuch

Handbuch zur pH-BB Toolbox



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



2 | Impressum

Herausgeber:

Eckart Kramer, Robin Gebbers, Jörg Rühlmann

pH-BB GbR

Schicklerstr. 5

16225 Eberswalde

adm@ph-bb.com

Telefon: +49 (0)3334 657 432

Telefax: +49 (0)3334 657 282

Internet: <http://ph-bb.com>

Mitglieder der Operationellen Gruppe:

Gut Wilmersdorf GbR, Wilmersdorf

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

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 (ATB), Potsdam

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Eberswalde

Autor:

Jakob Walch

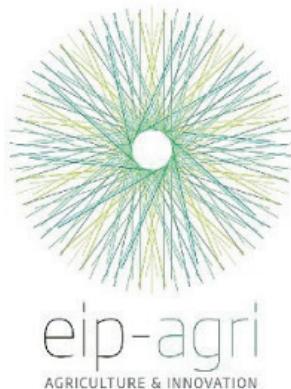
Betreuung:

Ingmar Schröter, Eric Bönecke

Bildquellen:

Jakob Walch | Screenshots von <https://phbb.ixmap.eu/> | Titelbild Adobe Stock

Gefördert wird das Projekt im Rahmen der Förderrichtlinie EIP-agri durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) und das Land Brandenburg. (Förderkennzeichen 80168341)



Laufzeit/Förderzeitraum: 01.04.2017 – 30.09.2022

Stand: Juni 2022

3 | Versionsverzeichnis

Version	Datum	Hauptautor
1.0	07.06.2022	Jakob Walch

4 | Inhaltsverzeichnis

2	IMPRESSUM
3	VERSIONSVERZEICHNIS
4	INHALTSVERZEICHNIS
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS
8	EINFÜHRUNG
12	1. ANMELDUNG/REGISTRIERUNG
13	2. ERSTE SCHRITTE
14	2.1 ENTSCHEIDUNGSSCHEMA: WO FINDET DER EINSTIEG IN DIE PROZESSKETTE STATT
15	3. BETRIEB ANLEGEN ODER IMPORTIEREN / STAMMDATEN EINPFLEGEN
15	3.1 NEUEN BETRIEB ODER ORGANISATIONSEINHEIT ANLEGEN
16	3.2 BETRIEB ODER BETRIEBSSTRUKTUR IMPORTIEREN
17	4. SCHLAGGRENZEN / BODENKARTEN IMPORTIEREN
17	4.1 SCHLAGGRENZEN IMPORTIEREN
17	4.1.1 VORGEHEN
20	4.1.2 WISSENSWERTES
21	4.2 FLÄCHENDETAILS BEARBEITEN
22	4.3 SCHLAGGRENZEN (GEOMETRIEN) BEARBEITEN
24	4.4 BODENKARTEN IMPORTIEREN
27	5. SENSORPUNKTDATEN HOCHLADEN UND INTERPOLIEREN (SCHRITT 1)
27	5.1 ALLGEMEINES
29	5.2 VORGEHEN
32	5.3 EXKURS KRIGING
34	6. REFERENZPROBENPUNKTE SETZEN (SCHRITT 2)
34	6.1 ALLGEMEINES
35	6.2 VORGEHEN

5 | Inhaltsverzeichnis

40	7. LABORERGEBNISSE EINTRAGEN (SCHRITT 3)
40	7.1 ALLGEMEINES
41	7.2 VORGEHEN
41	7.2.1 LABORERGEBNISSE AUS EXCEL IN CSV-DATEI ÜBERFÜHREN
42	7.2.2 LABORERGEBNISSE IMPORTIEREN UND EINTRAGEN
44	8. BODENKARTEN ERSTELLEN (SCHRITT 4)
44	8.1 ALLGEMEINES
45	8.2 VORGEHEN
46	9. APPLIKATIONSKARTEN ERSTELLEN (SCHRITT 5)
47	9.1 CAO-BEDARFSKARTE BERECHNEN
47	9.1.1 ALLGEMEINES
48	9.1.2 VORGEHEN CAO-BEDARFSKARTE BERECHNEN (KLASSEN NACH VDLUFA)
49	9.1.3 WISSENSWERTES
50	9.1.4 VORGEHEN CAO-BEDARFSKARTE BERECHNEN (STUFENLOS NACH PH-BB)
51	9.1.5 WISSENSWERTES
52	9..2 CAO-STREUKARTE BERECHNEN
52	9..2.1 ALLGEMEINES
53	9..2.2 VORGEHEN
56	9.3 KALKAPPLIKATIONSKARTE BERECHNEN
56	9.3.1 ALLGEMEINES
57	9..3.2 VORGEHEN
62	10. LÖSCHEN VON BETRIEBEN/FLÄCHEN
63	11. BUGS MELDEN/FEHLER MELDEN

6 | Inhaltsverzeichnis

64	ANHANG
64	I. BODENSCHÄTZUNGSKARTEN ÜBER GEOBROKER HERUNTERLADEN
66	II. IMPORTIEREN IN QGIS
68	III. VERKNÜPFEN DER GEOMETRIE IN QGIS (TABLE JOIN)
70	IV. LAYERGESTALTUNG (OPTIONAL)
72	V. ZUSCHNEIDEN DER GEOMETRIE
75	VI. FAHRSPUR/LEITLINIE IN QGIS ERSTELLEN

7 | Abbildungsverzeichnis

9	Abbildung 1: Prozesskette der präzisen Kalkung
26	Abbildung 2: Bodenschätzungskarte importieren
30	Abbildung 3: Auswahl von Sensordaten zum Importieren
31	Abbildung 4: Beispiel für Sensorpunkt datensatz mit mehreren Bodensensorwerten
32	Abbildung 5: Beispiel für eine kombinierte Darstellung von experimentellem und theoretischem Variogramm für pH-Messdaten
38	Abbildung 6: Interpolierte pH-Karte
38	Abbildung 7: Interpolierte pH-Karte mit Referenzprobenpunkten
49	Abbildung 8: Bodengruppenkarte nach Bodenschätzung
49	Abbildung 9: Bodengruppenkarte auf Basis der Sensordaten
54	Abbildung 10: Beispiel für eine CaO-Streukarte
54	Abbildung 11: Auswahl einer AB-Linie für die Streukartenberechnung
55	Abbildung 12: Streukarte mit eingefügter Leitlinie
58	Abbildung 13: Ausbringmenge unbearbeitet
59	Abbildung 14: bearbeitete Ausbringmengen
61	Abbildung 15: kalibrierte pH-Karte Schlag 1392 in Booßen 2018
61	Abbildung 16: kalibrierte pH-Karte Schlag 1392 in Booßen 2021
61	Abbildung 17: berechnete CaO-Bedarfs karte auf Basis der pH-Karte mit stufenlos Algorithmus 2018
61	Abbildung 18: berechnete CaO-Bedarfs karte auf Basis der pH-Karte mit stufenlos Algorithmus 2021

8 | Einführung

In Brandenburg befindet sich der pH-Wert auf etwa 75 % der Ackerflächen nicht im optimalen Bereich (Zimmer und Ellmer, 2012). Dies bedeutet Ertragsminderungen und Verschlechterungen der Bodenfruchtbarkeit durch zu hohe oder zu niedrige pH-Werte. Wesentliche Gründe dafür sind die hohe räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften innerhalb eines Ackerschlages und eine gegenwärtige Kalkungspraxis, die diese Bodenvariabilität zu wenig berücksichtigt. Die aktuell zur Verfügung stehenden Bodeninformationen (Bodenabschätzungskarte) und empfohlenen Beprobungsverfahren (Einteilung in 3 bis 5 ha Teilflächen) zur Ableitung der kalkungsrelevanten Parameter sind zu ungenau, um die kleinräumigen Unterschiede genau zu erfassen. Folglich wird der standortbezogene Kalkbedarf falsch abgeleitet und die Mengen häufig über- oder unterschätzt.

Bedingt durch ein unzureichendes Kalkungsmanagement, kann sich der Ertrag nahezu halbieren. Wissenschaftliche Studien rechnen mit Ertragsminderungen von bis zu 40 % für pH-Versorgungsstufe A (Kerschberger und Preusker, 2014). Im Mittel belaufen sich die Ertragseinbußen auf Brandenburger Ackerflächen auf 11 % (Palme, 2012).

Um ein optimales Kalkungsmanagement zu gewährleisten, sind daher neue Methodiken anzuwenden. Weite Verbreitung zur Kalkbedarfsermittlung findet die Methode der VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), die aus langjährigen Feldversuchen das VDLUFA-Rahmenschema abgeleitet hat. Für die Berechnung des Kalkbedarfs nach VDLUFA sind die Bodeneigenschaften pH-Wert, Bodengruppe und Humusgehalt von Bedeutung.

Die VDLUFA-Methode wurde eingeführt, als die flächeneinheitliche Kalkung das Standardverfahren war. Sie eignet sich ebenfalls für teilflächenspezifisches Kalken, wenn für jede Teilfläche der pH-Wert, Humusgehalt und die Bodengruppe bekannt ist.

Das Ziel sollte sein, eine sehr kleinräumige Auflösung zu erreichen die passgenau die jeweiligen Muster der Bodenheterogenität abbildet. Die kalkungsrelevanten Bodeneigenschaften kleinräumig und dennoch kostengünstig mit Sensoren zu erfassen und dadurch die Kalkung teilflächenspezifisch durchführen zu können ist Ziel des EIP-Projektes „pH-BB“ – präzise Kalkung in Brandenburg.

Im pH-BB-Projekt wurden Werkzeuge und Methoden entwickelt, um die Arbeitsschritte der präzisen Kalkung einfach umzusetzen. In Abb. 1 ist die Prozesskette der präzisen Kalkung dargestellt. Sie zeigt die Arbeitsschritte, welche in der pH-BB-Toolbox Anwendung finden. Integraler Bestandteil der pH-BB Toolbox ist der neuartige Ansatz zur Bodenkartenerstellung, welcher Bodensensordaten verwendet für die Ausweisung repräsentativer Bodenprobennahmepunkte und zur Bodenkartenerstellung der kalkungsrelevanten Parameter Bodentextur, Humus und pH. Diese Parameter kleinräumig zu erfassen, ist nur durch den Einsatz mobiler Bodensensorsysteme möglich, welche bei der Überfahrt der Ackerfläche im Sekundentakt eine Messung im Boden vornehmen. Auf diese Weise ergibt sich eine feingliedrige Messpunktdichte mit 150 bis 180 Messpunkten pro Hektar, die die kleinräumigen Bodenunterschiede auf dem Schlag genau abbilden. Derzeit existieren keine Messverfahren, um mit mobilen Bodensensoren die Ton- und Humusgehalte von Böden direkt zu bestimmen. Daher werden verschiedene geophysikalische Größen gemessen, die einen starken Bezug zu den kalkungsrelevanten Parametern besitzen. Für die Ableitung der Bodentextur (insbes. Tongehalt) und des Humusgehalts eignen sich die elektrische Leitfähigkeit/Widerstand, die natürliche Gammaaktivität und das Reflexionsvermögen des Bodens. Der pH-Wert lässt sich über pH-Elektroden direkt messen. Durch den kombinierten Einsatz verschiedener Bodensensordaten können Bodenproben zielgerichtet an repräsentativen Standorten im Feld genommen werden. Die Bodenproben werden im Labor nach VDLUFA-Standard analysiert und mit den Bodensensordaten verrechnet. Mittels mathematischer Kalibrationsverfahren und nur wenigen Referenzproben können die kalkungsrelevanten Parameter ganzflächig und sehr genau berechnet werden.

9 | Einführung

Trotz des höheren Aufwandes lässt sich durch die teilflächenspezifische Kalkung bei annähernd gleichem Kalkaufwand ein Mehrgewinn von ca. 34 € pro Hektar und Jahr erwirtschaften (Rühlmann, 2016). Als weitere Vorteile seien darüber hinaus die verbesserte Nährstoffeffizienz, die höhere N-Fixierung bei Leguminosen und die Verbesserung der Bodenbiologie und Bodenstruktur genannt. Somit ergeben sich zusätzlich positive Synergieeffekte durch teilflächenspezifisches Wirtschaften.

Prozesskette Präzise Kalkung

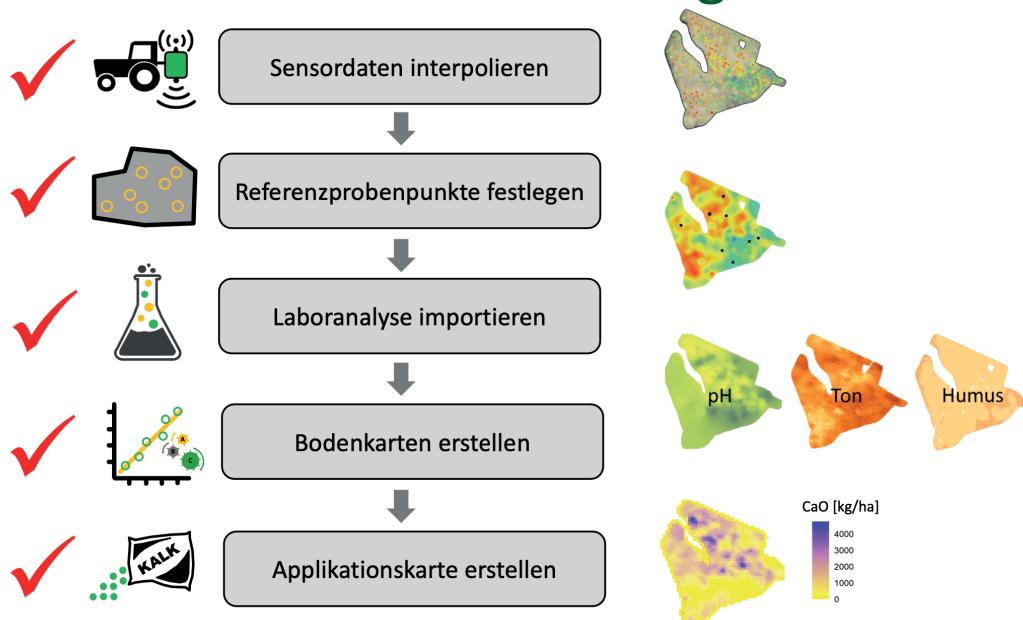


Abbildung 1: Prozesskette der präzisen Kalkung

Alle Sensormessdaten werden in einem ersten Schritt in der projekteigenen Webanwendung hochgeladen und interpoliert¹, um die Daten in die gesamte Fläche zu übertragen. Auf Basis dieser interpolierten Sensordatenkarten werden Referenzprobenpunkte bestimmt, damit die Sensordaten optimal kalibriert werden können. Mithilfe eines Algorithmus wird die optimale Auswahl der Probennahmepunkte getroffen. Somit können die Sensormessdaten nach der Laboruntersuchung der Referenzproben kalibriert werden, da die Referenzprobenpunkte den ganzen variablen Raum der Messungen abdecken. Je Schlag sind etwa 8 Referenzproben nötig, die im Feld entnommen und durch Standardlaboranalysen ausgewertet werden.

Durch die Kalibrierung der Sensordaten anhand der Laborergebnisse werden die Bodenkarten für pH, Textur und Humus erstellt, die ihrerseits die Basis für die Kalkapplikationskarten darstellen.

Im finalen Schritt werden aus den Bodenkarten zunächst die Kalkbedarfskarten und schließlich die Kalkapplikationskarten generiert. Hierfür liegen zwei verschiedene Algorithmen vor, zum einen der Algorithmus nach herkömmlichen VDLUFA-Klassen und zum anderen der stufenlose Algorithmus. Dieser stufenlose „pH-BB“-Algorithmus ermöglicht es, noch höher aufgelöste Kalkbedarfskarten zu erstellen, die die hohe Qualität der Bodenkarten gut ausnutzen. Die Kalkapplikationskarten können an die Ausrichtung bereits existierender, dauerhafter Fahrspuren nach dem Controlled Traffic Farming (CTF) oder parallel zu Feldgrenzen angepasst werden. All diese Schritte sind mit der Webanwendung <https://phbb.ixmap.eu/> zusammengefasst, die Sie anwenderfreundlich und schnell bei der Planung und Durchführung der präzisen Kalkung unterstützt.

¹Interpolation: Mathematisches Verfahren zur Bestimmung von unbekannten Werten, die zwischen bekannten Werten liegen (z.B. unbekannte Punkte zwischen erfassten pH-Sensormesspunkten).

10 | Einführung

Eine Alternative zur Sensordatenkartierung können die bestehenden Bodenschätzungskarten aus der Reichsbodenschätzung sein. Diese liefern ebenso Informationen über die Bodentextur der Ackerflächen, sind allerdings nicht so genau wie die auf Sensordaten basierenden Bodenkarten und oftmals veraltet. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Bodentextur per Fingerprobe im Feld ermittelt wurde und die Messpunktdichte mit einem Raster von 50x50 m sehr grob ist. Dennoch, wenn keine anderen Bodeninformationen zur Verfügung stehen, können Bodenschätzungskarten erste Hinweise auf die Bodenartenverbreitung liefern. Zudem sind sie für Brandenburg kostenlos verfügbar unter: <https://geobroker.geobasis-bb.de/>

Unabhängig davon, ob Sie hochauflöste Sensordaten im Feld aufnehmen, oder mit bereits vorliegenden Bodenkarten (z.B. Bodenschätzungskarten) und Teilflächen arbeiten wollen, können Sie durch den modularen Aufbau der pH-BB-Toolbox (siehe Abb. 1 & Tab.1) dort in die präzise Kalkung einsteigen, wo Sie möchten. So entscheiden Sie selbst, in welchem Umfang die Software in Ihrem Betrieb genutzt werden soll. Als Hilfestellung finden Sie dafür im zweiten Kapitel ein Entscheidungsschema.

Dieses Handbuch soll Ihnen einen einfachen und nutzungsorientierten Einstieg in die pH-BB-Toolbox bieten und richtet sich an PraktikerInnen und BeraterInnen aus der Landwirtschaft, die sich mit der praktischen Umsetzung der präzisen Kalkung beschäftigen möchten. Das Handbuch ist logisch anhand eines Praxisschlags aufgebaut und alle notwendigen Arbeitsschritte werden anschaulich erklärt, so dass Sie entlang der gesamten Prozesskette (siehe Abb. 1) eine gute Anleitung und Hilfestellung zur Verfügung haben. In verschiedenen farbigen Textboxen sind wichtige Hinweise, Tipps und wissenswerte Informationen aufgeführt. Die Begriffe Schlag und Feld werden in diesem Handbuch synonym verwendet. Zum Üben und Eingewöhnen werden die Musterdaten, die in diesem Handbuch verwendet werden auf der Internetseite des pH-BB Projektes unter <http://ph-bb.com/> zur Verfügung gestellt. So können Sie Ihre Ergebnisse vergleichen und einen bestmöglichen Einstieg in die pH-BB-Toolbox erhalten. Schaltflächen, die in der Software implementiert sind, werden in diesem Handbuch ***kursiv und fett*** dargestellt. Links sind unterstrichen.

Link zur Webanwendung: <https://phbb.ixmap.eu/>

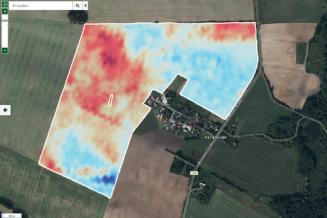
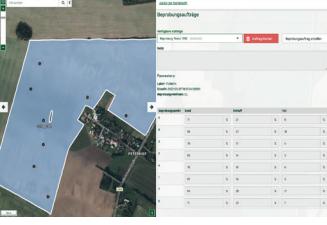
Link zum Projekt: <http://ph-bb.com/>

Für die Vor- und Nachbearbeitung von Geodaten empfehlen wir Quantum GIS (QGIS), um Ihre Daten auf Ihre Bedürfnisse anpassen zu können und sie optimal in der pH-BB-Toolbox nutzen zu können. Mit QGIS lassen sich Daten für eine anschließende Verwendung in der pH-BB-Toolbox vorverarbeiten und bereinigen. Dazu gehören etwa Bodenschätzungskarten oder Fahrspur-Geometrien. Die Software ist ein Open-Source Geoinformationssystem und frei verfügbar, bietet umfangreiche Funktionen und ist mit den meisten Betriebssystemen kompatibel. Im Anhang dieses Handbuchs sind einige weiterführende Schritte anhand von QGIS erklärt, um noch selbstständiger mit Geodaten in Bezug auf die präzise Kalkung zu arbeiten.

Link zur QGIS-Homepage: <https://qgis.org/de/site/index.html#>

11 | Einführung

Tabelle 1: Funktionen der pH-BB-Toolbox

Modul	Beschreibung	Seite
	Interpolation	Hochladen von Bodensensordaten und interpolieren der Punktdaten
	Referenzprobenpunkte setzen	Festlegen von Referenzprobenpunkten für die Probenahme im Feld
	Laborergebnisse hochladen	Importieren der Laborergebnisse von den Referenzproben in die Webanwendung
	Bodenkartenerstellung	Kalibrieren der interpolierten Sensordaten mithilfe der Referenzprobenergebnisse
	CaO-Bedarfskarte berechnen	Mithilfe hochaufgelöster Bodenkarten wird eine Bedarfskarte für CaO erstellt
	CaO-Streukarte berechnen	Aus der Bedarfskarte wird eine Streukarte erstellt, die an der Bearbeitungsrichtung ausgerichtet werden kann.
	Kalkapplikationskarte berechnen	Die finale Applikationskarte wird erstellt, indem der einzusetzende Dünger mit der Streukarte verrechnet wird.

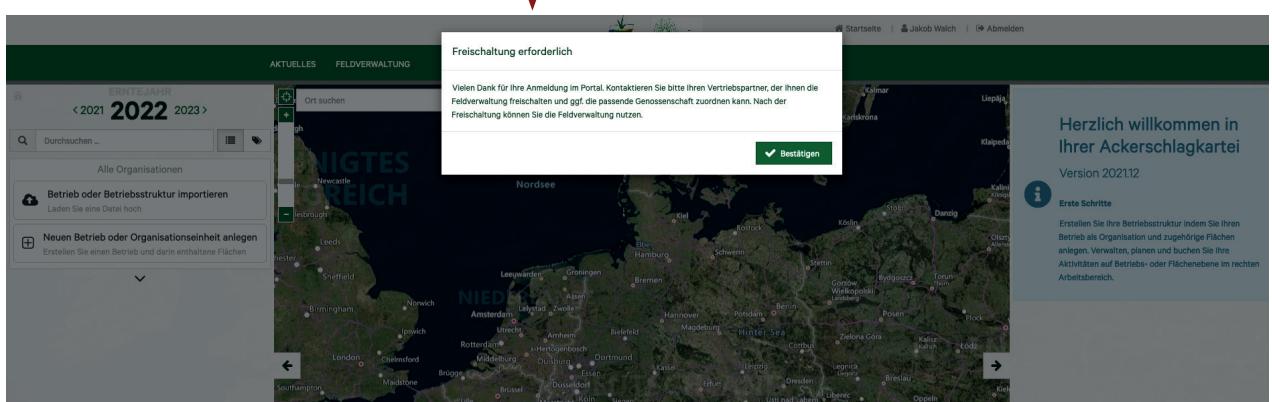
12 | Anmeldung/Registrierung

1 Anmeldung/Registrierung

- (1) Öffnen Sie in Ihrem Browser die ph-BB-Toolbox. Gehen Sie hierfür auf <https://phbb.ixmap.eu/>.
- (2) Gehen Sie auf Login und registrieren Sie sich als neuer Benutzer, wenn noch kein Konto vorhanden ist. Andernfalls mit den normalen Zugangsdaten einloggen. Die Schritte (3) bis (5) entfallen dann.

The screenshot shows the 'Anmeldung' (Login) page of the ph-BB-Toolbox. At the top right are 'Registrieren' and 'Anmelden' buttons. The main form has fields for 'E-Mail' and 'Kennwort' (password). Below these is a checkbox for 'An diesem Computer angemeldet bleiben?' (Stay logged in on this computer). A 'Anmelden' button is at the bottom left, and links for 'Kennwort vergessen?' (Forgot password?) and 'Registrieren Sie sich als neuer Benutzer?' (Register as new user?) are at the bottom right. The background features a map of Europe with city names like Berlin, Paris, and London visible.

- (3) Bestätigen Sie Ihre E-Mail-Adresse und kehren Sie zur Anmeldung zurück.
- (4) Anschließend können Sie Ihr Profil verwalten und Änderungen vornehmen. Damit Änderungen am Profil wirksam werden, einmal aus- und wieder einloggen.
- (5) Gegebenenfalls ist die Freischaltung abzuwarten, bevor mit der Feldverwaltung gearbeitet werden kann. Bestätigen Sie das Hinweisfenster.

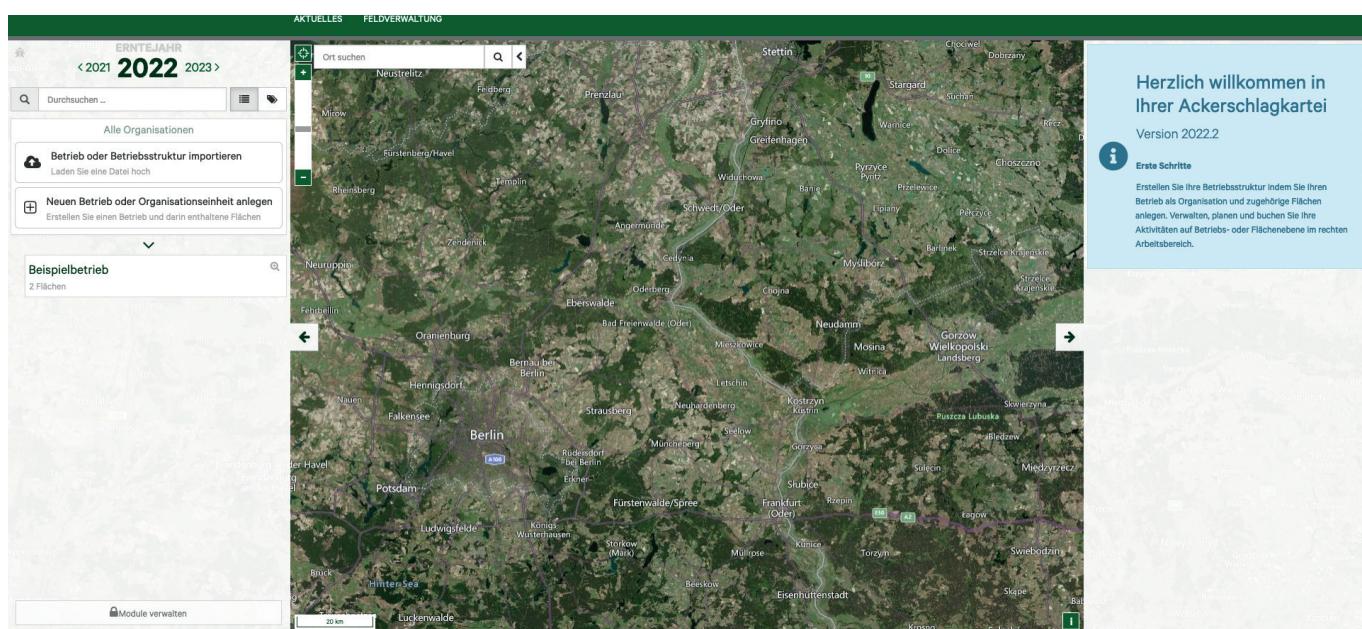


13 | Erste Schritte

2 Erste Schritte

Nachdem Sie einen Account angelegt und Zugriff auf die Toolbox haben, können Sie mit dem Anlegen Ihres Betriebes beginnen. Die Benutzeroberfläche ist so aufgebaut, dass sie intuitiv nutzbar ist und ein schnelles Zurechtfinden erleichtert wird.

Von der Startseite gelangen Sie über den Button **Feldverwaltung** zur Startansicht der Ackerschlagkartei. In der Feldverwaltung haben Sie einen Überblick über den Organisationsbereich am linken Bildrand und können mit dem Anlegen des Betriebes beginnen. Dort werden Betriebe und Organisationseinheiten angelegt und Schlaggrenzen importiert. Die Art der Organisation Ihrer Flächen hat keinen Einfluss auf den weiteren Arbeitsablauf der Kalkungskette. Ebenso können Sie dort das Erntejahr wählen. Die Schlagkartei ist nur ab dem Erntejahr zugänglich, für das sie angelegt wurde.



Das Verwalten, Planen und Buchen von Aktivitäten findet rechts im Arbeitsbereich statt. Dort werden auch schlagspezifische Informationen angezeigt, wie beispielsweise Wetterdaten und Bodenbeschaffenheit. Auf der Startübersicht (auch Dashboard genannt) werden die gespeicherten Schläge eingezeichnet. Navigieren können Sie über den Cursor durch Verschieben der Karte und Doppelklicken zum Heranzoomen. Es ist auch möglich, eine bestimmte Adresse einzugeben und so gezielt anzusteuern. Ebenso ist es möglich, die Steuerung über die Navigationswerkzeuge durchzuführen.

-Tipp:

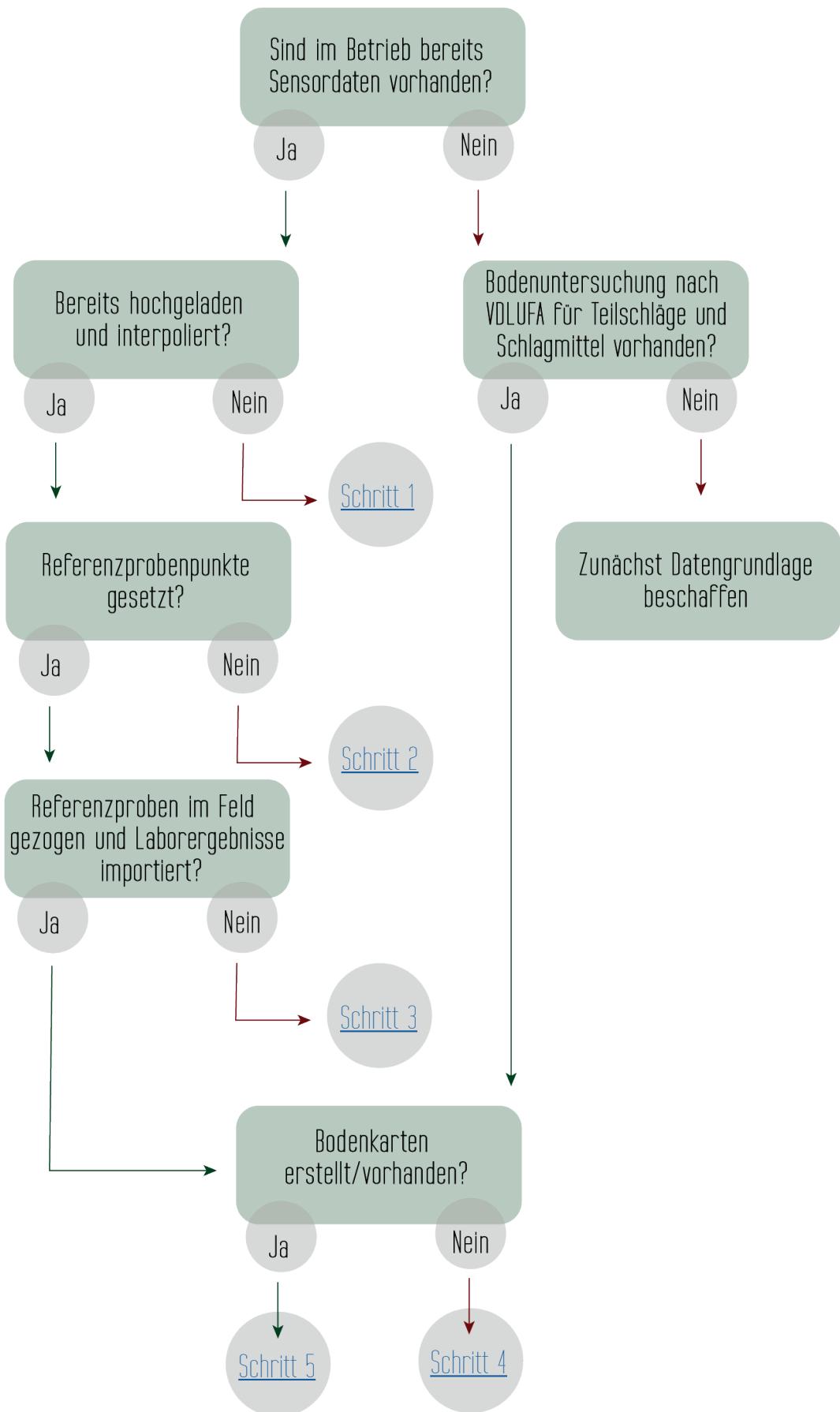
Mithilfe des Entscheidungsschemas lässt sich schnell ermitteln, an welcher Stelle Sie in die präzise Kalkung einsteigen können.

Haben Sie bereits einen Betrieb und Flächen angelegt, können Sie direkt unter Kapitel 5 mit dem Hochladen der Sensordaten starten und die folgenden Abschnitte überspringen. Haben Sie bereits fertige Bodenkarten für pH, Humus und VDLUFA Bodengruppen vorliegen und möchten eine CaO-Bedarfs- und Kalkapplikationskarte erstellen, so steigen Sie direkt in Kapitel 9 ein.

Liegt bereits eine CaO-Bedarfskarte vor, so fahren Sie bei Kapitel 9, Teil 2 fort.

14 | Erste Schritte

2.1 Entscheidungsschema: Wo findet der Einstieg in die Prozesskette statt?



15 | Betrieb anlegen oder importieren/Stammdaten einpflegen

3 Betrieb anlegen oder importieren/Stammdaten einpflegen

3.1 Neuen Betrieb oder Organisationseinheit anlegen

Sie können bestehende Betriebsdaten oder Betriebsstrukturen (z.B. aus dem Agrarantrag) importieren. Alternativ lassen sich diese auch in der Software manuell neu anlegen.

The screenshot shows the 'Alle Organisationen' section of the software. It includes a search bar, a date range selector for 'ERNTETJAHR' (2021-2023), and two main buttons: 'Betrieb oder Betriebsstruktur importieren' (import) and 'Neuen Betrieb oder Organisationseinheit anlegen' (create new). The second button is highlighted with a red arrow pointing to it from the explanatory text below.

Wenn Sie **Neuen Betrieb oder Organisationseinheit anlegen** gewählt haben, wird folgendes Bearbeitungsfenster auf der rechten Seite sichtbar:

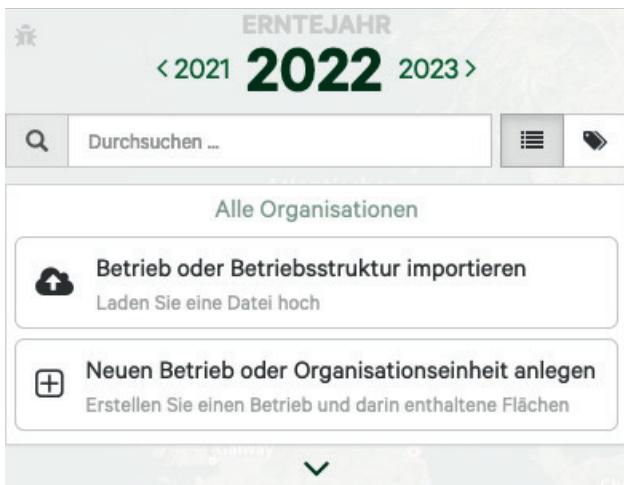
The screenshot shows the 'Organisation erstellen' (Create Organization) form. It contains various input fields: 'Name:' (mandatory), 'Organisationseinheit' (set to 'Betrieb'), 'Betriebsname:' (mandatory), 'Anschrift:' (mandatory), 'Postleitzahl:' (mandatory), 'Ort:' (mandatory), 'Telefonnummer:' (mandatory), 'E-Mail:' (mandatory), 'Haupterwerb' (primary occupation), 'Rechtsform:' (legal form), 'Betriebsform:' (business form), 'konventionell' (conventional), 'ökologisch' (organic), 'Invekos' (Invekos), and 'Steuerliche Identifikationsnummer (TIN)' (tax identification number). The background features a satellite map of the area.

Schlaggrenzen können nun manuell eingezeichnet oder importiert werden und lassen sich dem erstellten Betrieb zuordnen. Wenn bereits, z.B. aus dem Agrarantrag, eine Betriebsstruktur mit vorhandenen Ackerflächen vorhanden ist, kann diese einfach über den Button **Betrieb oder Betriebsstruktur importieren** eingepflegt werden (siehe Kapitel 3.2).

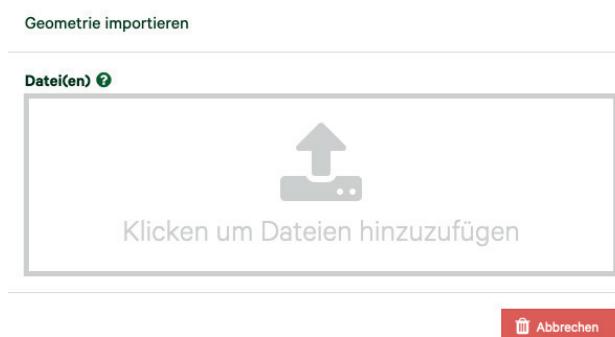
16 | Betrieb anlegen oder importieren/Stammdaten einpflegen

3.2 Betrieb oder Betriebsstruktur importieren

Bei vorhandenen Schlaggrenzen Ihres Betriebes in Form von Geometrien² können Sie diese hochladen, indem Sie auf den oberen Button klicken.



In das sich öffnende Fenster können die Dateien durch Klicken hinzugefügt werden. Alternativ funktioniert auch das „Hereinziehen“ per Drag & Drop. Als Importformate sind Shape-Dateien und GeoTiffs möglich.



⚠ Hinweis:

Beim Importieren von Schlaggrenzen sind unbedingt die Punkte zu beachten, die unter Kapitel 4. Flächen-Geometrien / Karten importieren genannt werden. Andernfalls kann es zu fehlerhaften Darstellungen der Flächen kommen.

² Geometrien sind Dateien, die Informationen zur Beschreibung räumlicher Objekte, wie beispielsweise Schlaggrenzen beinhalten. Als Format werden meist Shape-Dateien verwendet. ISO-XML-Dateien enthalten ebenfalls Shape-Dateien und zusätzlich weitere Daten zur Auftragsverwaltung.

17 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

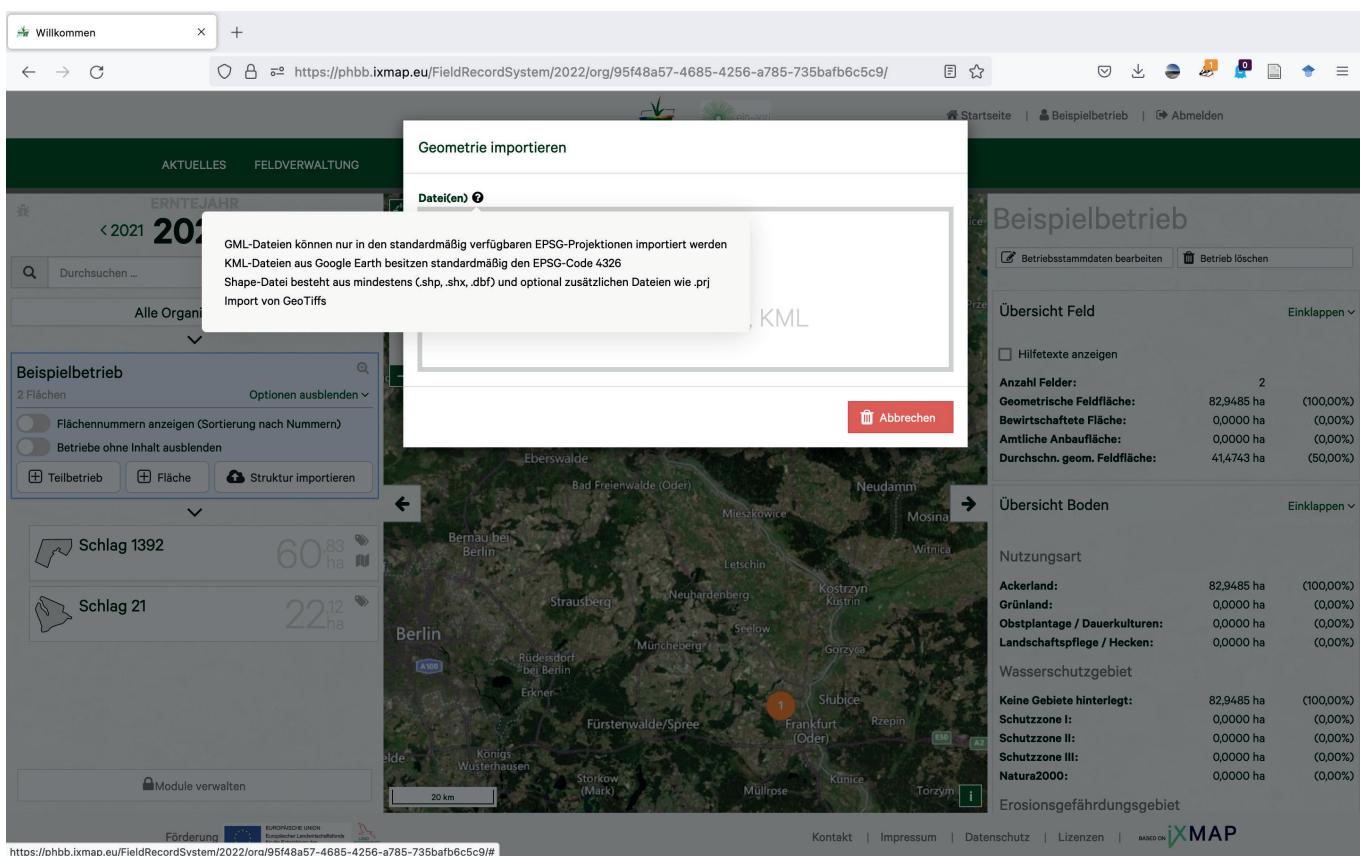
4 Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

4.1 Schlaggrenzen importieren

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie Sie die Schlaggrenzen hochladen

4.1.1 Vorgehen

In der Feldverwaltung auf **Struktur importieren** klicken und es öffnet sich das entsprechende Pop-Up-Fenster.

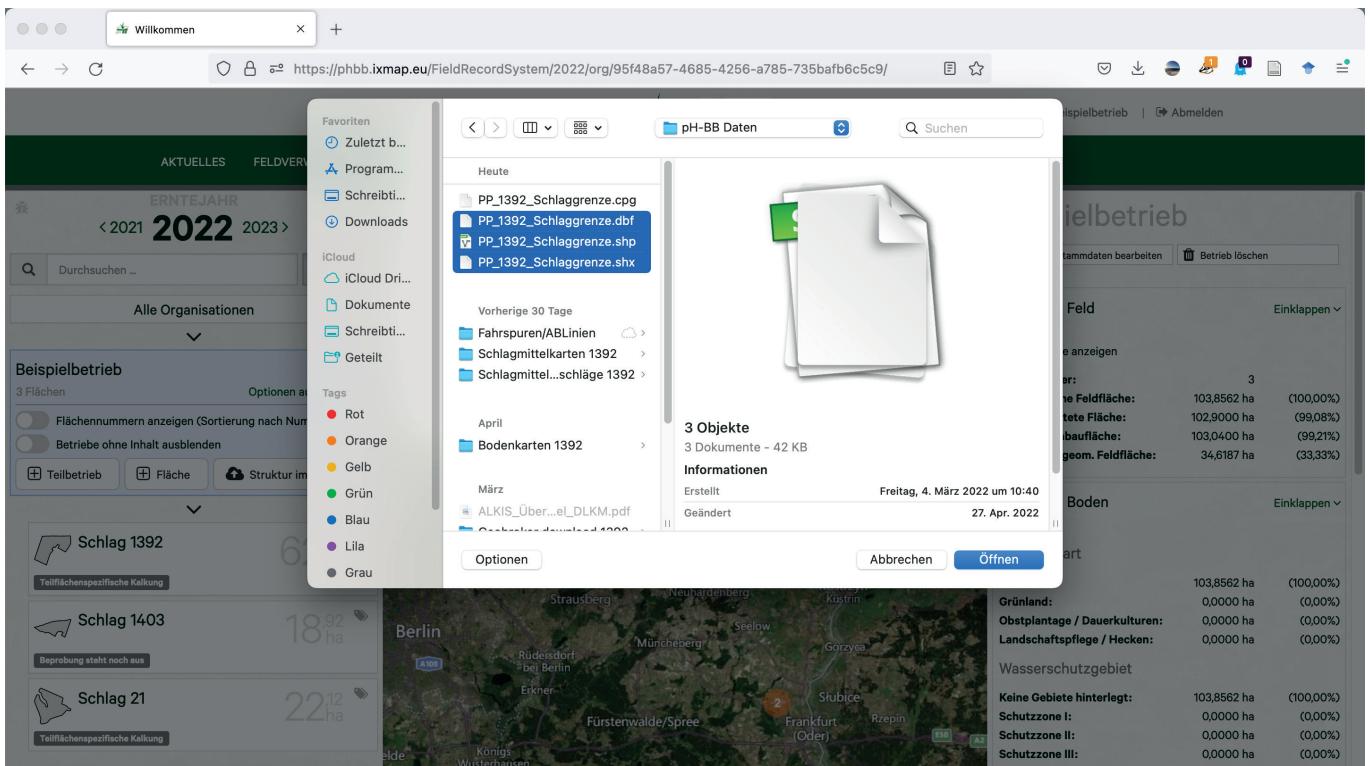


Hinweis:

Für den gewünschten Geometrieimport immer ein ganzes Dateienpaket mit den zumindest erforderlichen Dateien (.shp, .shx und .dbf) auswählen und importieren! Nur die .shp-Datei reicht nicht aus, da es sich um eine Webanwendung handelt und die Shape-Datei nicht automatisch erkannt wird.

18 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

Siehe folgende Abbildung:



Geometrie importieren

Datei(en)

Drag&Drop funktioniert ebenfalls

PP_1392_Schlaggrenze.dbf
PP_1392_Schlaggrenze.shp
PP_1392_Schlaggrenze.shx

Keine Projektionsdatei erkannt. Der EPSG-Code muss manuell eingestellt werden.

EPSG-Codes *

25833 ETRS89 / UTM Zone 33N

Hinweis: in jedem Bundesland kann auch das internationale WGS84 - EPSG 4326 verwendet werden

EPSG-Informationen

Bundesland	Mögliche Systeme	EPSG	Hinweis
Bayern	Gauß-Krüger Zone 4	31468	
	ETRS89-UTM32N	25832	
	ETRS89-UTM33N	25833	
Baden-Württemberg	Gauß-Krüger Zone 2	31466	

Datenpaket aus (in diesem Fall) 3 Einzeldateien gewählt

Den richtigen EPSG-Code³ auswählen (in Brandenburg meist 25833 ETRS89 / UTM Zone 33N)

Abbrechen Weiter zur Vorschau

³ EPSG-Codes sind weltweit eindeutige, durch die European Petroleum Survey Group Geodesy vergebene Schlüsselnummern für geographische Koordinatenbezugssysteme.

19 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren



Hinweis:

Der EPSG-Code kann nur automatisch bestimmt werden, wenn auch eine Projektionsdatei (.prj) importiert wurde. Wenn der EPSG-Code automatisch bestimmt wurde, unbedingt auf Richtigkeit überprüfen. Sollte es zu einem Fehler kommen, wechseln Sie z. B. zwischen EPSG: 4326 und EPSG: 25833. Der Fehler könnte bereits in der falschen Auswahl eines der beiden KBS begründet sein. Fragen Sie im Zweifel den Dienstleister, der die Geometriedaten/Sensordaten zur Verfügung gestellt hat.

Der EPSG-Code wurde automatisch bestimmt. Bitte kontrollieren Sie dass der Code korrekt ist.

EPSG-Codes *

25833 ETRS89 / UTM Zone 33N

Damit die Parzelle auch in der pH-BB-Toolbox eindeutig per Namen identifiziert werden kann, diesen richtig auswählen und anschließend speichern. Betriebsname und Teilbetriebsname können optional gewählt werden, dies ist allerdings nicht nötig.

Der Flächenname kann später jederzeit geändert werden.



Eventuell reicht ein erneutes Laden der Seite aus, damit Änderungen aktualisiert werden. Unter Umständen müssen Sie sich jedoch aus- und wieder einloggen. Wenn der Vorgang erfolgreich war, ist anschließend die Schlaggrenze sichtbar.

Klicken Sie hierfür zum Hereinzoomen auf den gewünschten Schlag links im Organisationsbereich. Das ausgewählte Feld wird blau hinterlegt.

Die geometrische Flächengröße wird automatisch berechnet und angezeigt.

Spaltenauswahl

Importierte Geometrien werden automatisch vereinfacht. Sehr komplexe Geometrien können zu Geschwindigkeitseinbußen führen.

Flächenname

PARZ_NR

Betriebsname

Keine Auswahl

Teilbetriebsname

Keine Auswahl

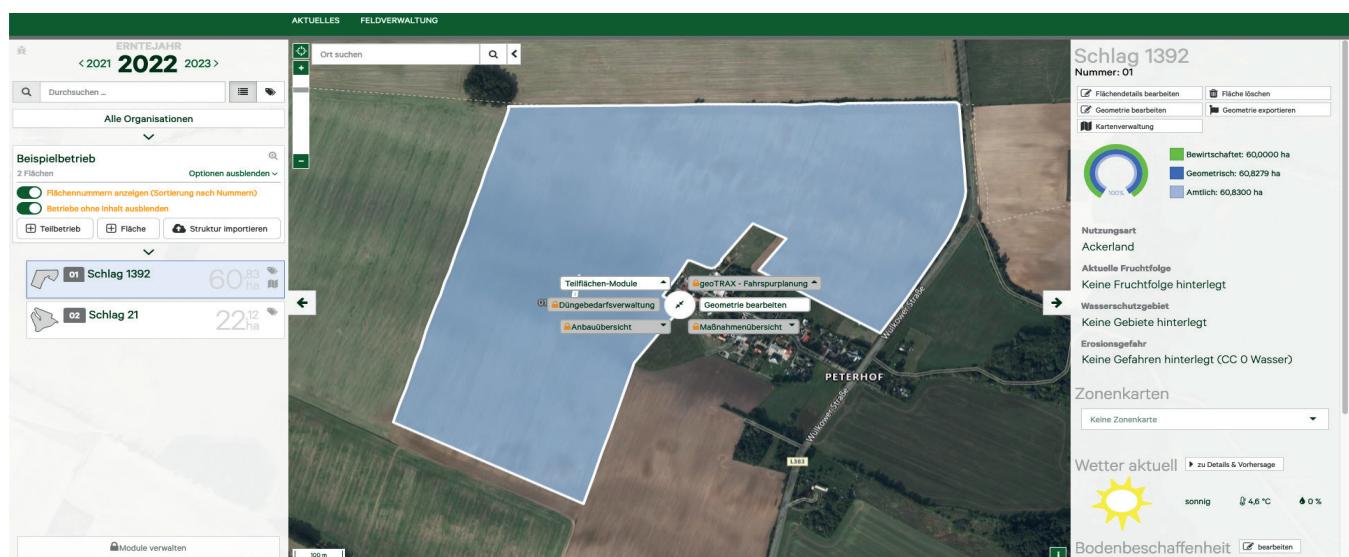
Importeinstellungen

Farbauswahl für ...

Keine Auswahl

Abbrechen

Speichern



20 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren



Hinweis:

Wenn als Nutzungsart keine, oder eine andere Angabe als **Ackerland** gemacht wurde, so ist die das pH-BB-Modul für diese Fläche nicht nutzbar. Daher unbedingt vor den weiteren Arbeiten in den Flächendetails die richtigen Angaben eintragen. Siehe Kapitel 4.2.

4.1.2 Wissenswertes

Beim Einladen von Shape-Dateien sind zwingend die drei Dateien mit den Endungen „.shp“, „.shx“ und „.dbf“ notwendig, da sie folgende Informationen enthalten:

1. .shp → Shape-Datei (Speicherung der Geometriedaten)
2. .shx → Indexdatei (zur Verknüpfung der Geometriedaten)
3. .dbf → dBASE-Datei (Speicherung Sachdaten/Attributdaten)

Eine Shape-Datei ist demnach ein Datenpaket bestehend aus mindestens drei Dateien für eine ordentliche Geodatenverarbeitung.

Optional noch:

4. .sbx → ESRI Spatial Index File (enthält räumlichen Index)
5. .sbn → ESRI Spatial Binary Format (enthält Informationen, die räumliche Abfragen für .shp-files beschleunigen)
6. .prj → Projektionsdatei (speichert Informationen über das verwendete Koordinatensystem. Es gibt geographische Koordinatensysteme (Längengrad, Breitengrad) oder projizierte Koordinatensysteme (X, Y Koordinaten in Meter) wie z. B. das in Brandenburg verwendete UTM-Bezugssystem European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89 33N))
7. .cpg → Code Page Datei (für Text in Shape-Dateien)
8. .qpj → Quantum GIS project Datei

Es kann unter Umständen vorkommen, dass in der Shapedatei keine Projektionsdatei (.prj) gespeichert ist, oder die Datei von der Webanwendung nicht erkannt wird. In diesem Fall werden Sie durch das Programm dazu aufgefordert, das Koordinatenbezugssystem (KBS) selbst auszuwählen. In Deutschland sind hierbei die Systeme WGS84 (World Geodetic System 1984), UTM (Universal Transverse Mercator) und veraltet auch das Gauß-Krüger-System von Bedeutung.

Wenn das falsche KBS gewählt wird, kann die Schlaggrenze entweder nicht importiert werden oder wird verschoben dargestellt. Die Kenntnis über das richtige KBS und den dazugehörigen EPSG-Code ist daher unabdingbar. Für die einfache und eindeutige Identifizierung der verschiedenen Koordinatenbezugssysteme hat die „European Petroleum Survey Group Geodesy“ (EPSG) ein weltweit gültiges System entwickelt, welches den einzelnen KBS eindeutige Schlüsselnummern zuweist.

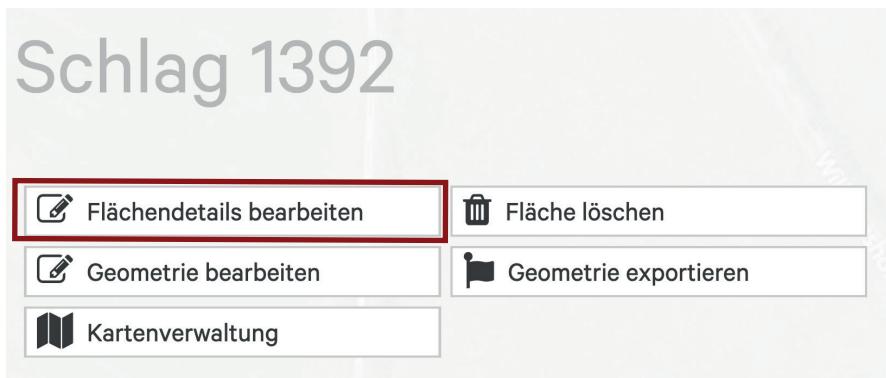
21 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

Falls Sie sich nicht sicher sind, bietet die Webanwendung eine Informationstabelle nach Bundesländern geordnet mit den möglichen EPSG-Codes je nach Standort. Das geographische KBS WGS84 mit dem EPSG-Code 4326 kann deutschlandweit bzw. weltweit verwendet werden und ist häufig bei GPS-Systemen als Standard eingestellt. Auch die Sensordaten werden als Punktdaten in WGS84 vorgehalten. Da dieses KBS für räumliche Berechnungen allerdings zu ungenau ist, werden die Sensordaten für pH-BB meist in die Fläche projiziert und die Koordinaten in UTM Daten transformiert. Für Brandenburg wird das einheitliche und amtliche Bezugssystem ETRS89 / UTM Zone 33N mit den EPSG Code 25833 verwendet.

4.2 Flächendetails bearbeiten

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Mindestinformation an die Flächen erforderlich ist.

Der Schlag muss ausgewählt werden und im Arbeitsbereich wird der Button **Flächendetails bearbeiten** sichtbar.



Sie können nun Angaben zur Fläche eingeben und ändern. Hier kann die Flächenbezeichnung eingetragen werden und zur besseren Verwaltung können Sie Flächennummern eintragen.

⚠ Hinweis:

Um die pH-BB-Toolbox nutzen zu können, muss hier unbedingt **Ackerland** angegeben werden, andernfalls kann diese nicht aufgerufen werden und es erscheint eine Fehlermeldung. Bei allen anderen Nutzungsarten wird die Toolbox nicht freigeschaltet!

The screenshot shows a red warning box with the text "⚠ Hinweis:". Below it is a text block with instructions about using the toolbox. To the right is a form with three fields: "Name:" containing "Schlag 1392", "Nummer / ID:" containing "01", and a dropdown menu for "Nutzungsart:" with "Ackerland" selected. Other options in the dropdown are "Grünland", "Obstplantage / Dauerkulturen", "Teiche / Wasserflächen", and "Landschaftspflege / Hecken".

22 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

4.3 Schlaggrenzen (Geometrien) bearbeiten



Wissenswertes:

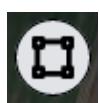
Unter Umständen kann es notwendig sein, dass die Schlaggrenze bearbeitet werden muss, weil sich beispielsweise Bewirtschaftungs- oder Flächengrenzen geändert haben. Es ist jederzeit möglich die Schlaggrenzen in der pH-BB-Toolbox zu bearbeiten.

Hierfür einfach den gewünschten Schlag links im Organisationsbereich auswählen und anschließend entweder im Kartenausschnitt oder im Arbeitsbereich auf **Geometrie bearbeiten** klicken.



Die Schlaggrenzen sind nun zur Bearbeitung freigegeben und die Feldgrenzpunkte (gekennzeichnet durch rote Sternsymbole) können verschoben werden. Durch Klicken werden sie entfernt. Um Löcher in der Fläche einzulegen, wie etwa Sölle und andere Landschaftselemente, während des Setzens der Punkte die Umschalttaste (Shift) gedrückt halten. Der so gesetzte Bereich wird automatisch ausgeschnitten.

Des Weiteren stehen auch verschiedene Tools zur Schnellauswahl zur Verfügung. Das aktuell angewählte Tool wird blau hinterlegt:



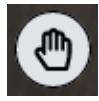
Einzeichnen einer neuen Fläche, wenn der Schlag beispielsweise vergrößert wird (nicht für neue Schläge, nur Teilflächen)



Importieren einer neuen Geometrie (nicht zum Anlegen neuer Schläge)



Bearbeitungsmodus zum Ändern von Feldgrenzpunkten aktivieren



Auswählen von Teilflächen



Löschen der ausgewählten Fläche



Speichern der Änderungen

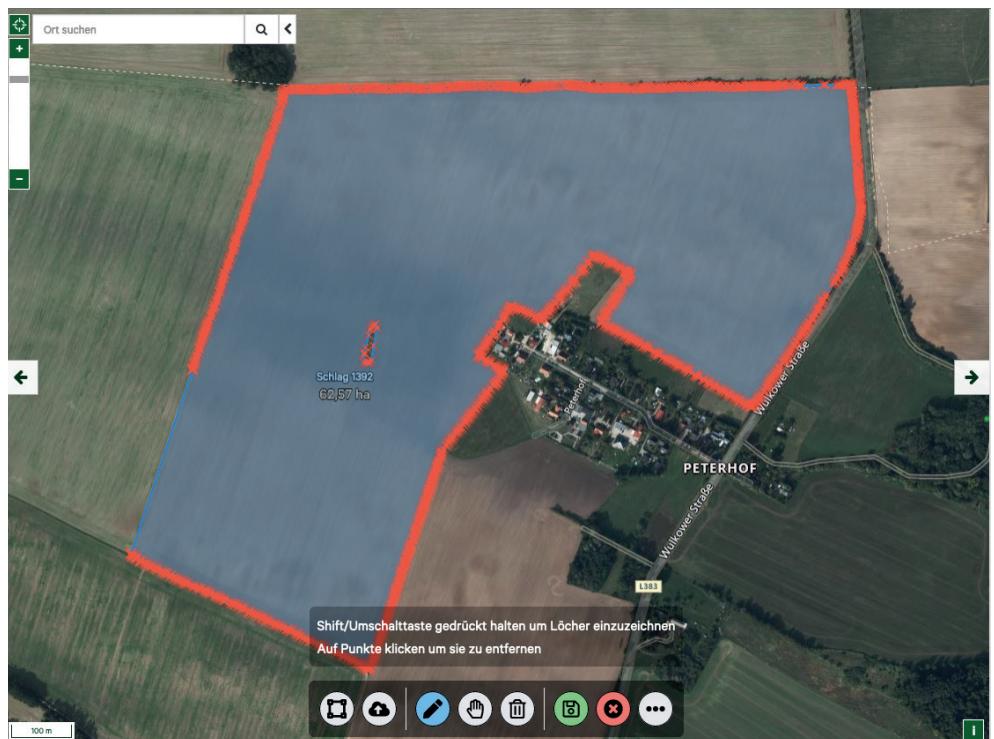


Löschen der Änderungen



Erweiterter Bearbeitungsmodus, welcher über zusätzliche Werkzeuge verfügt

23 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren



Bearbeitungsansicht für den Beispielschlag 1392. Die rot markierten Sterne kennzeichnen die einzelnen Punkte des Polygons und lassen sich verschieben oder löschen.

Der erweiterte Bearbeitungsmodus bietet beispielsweise die Möglichkeit der Einmessung von Strecken und Flächen. In der Regel ist eine Bearbeitung der Schlaggrenzen mit den oben beschriebenen Werkzeugen aber ausreichend.



Hinweis:

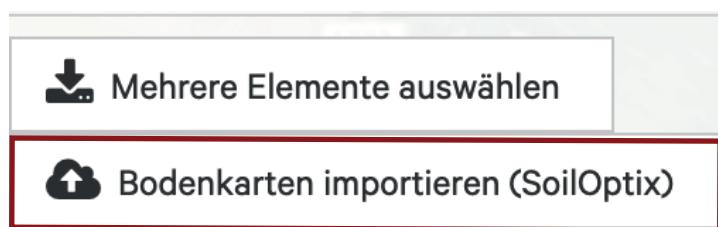
Werden Änderungen nicht gespeichert, gehen sie verloren und die Geometrie wird nicht verändert. Gespeicherte Änderungen sind nicht rückgängig zu machen.

24 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

4.4 Bodenkarten importieren

Hier laden Sie Bodenkarten hoch, wie etwa bereits bestehende Bodenschätzungs-karten oder Humus-karten, die für die spätere Kalkbedarfsermittlung mindestens notwendig sind.

Um Bodenkarten zu importieren, gehen Sie auf Kartenverwaltung in der Arbeitsansicht des gewünsch-ten Feldes. Wenn Sie bereits über Bodenkarten verfügen, beispielsweise Karten der Bodenschätzung, Humus-, Textur- oder CaO-Bedarfs-karten lassen sie sich hier über den Button **Bodenkarten impor-tieren** einfügen.



⚠ Hinweis:

Für den korrekten Import ist es wie auch bei den anderen Geometriedaten notwendig, dass bei Sha-pe-Dateien das gesamte Dateipaket für die entsprechende Karte hochgeladen wird. Ebenso ist der korrekte EPSG-Code auszuwählen, sowie die Art der zu importierenden Karte (beispielsweise **Boden-schätzung**).

25 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

Anschließend ist der richtige Spaltenname der Kartendatei/Attributtabellen einzutragen. In einer Shape-Datei sind häufig mehrere Attributspalten (Layer) für verschiedene Werte gespeichert und Sie müssen manuell den Spaltennamen auswählen, bei welchem die Werte ihrer Zielgröße enthalten sind. Im Falle des Beispiels (Abb. 2) wird der Spaltenname mit der Bezeichnung **BS** für Bodenschätzung ausgewählt, da es sich um eine Bodenschätzungsmappe handelt und dort die Werte gespeichert sind.

Geometrie importieren

Datei(en)



Klicken um Dateien hinzuzufügen

Bodenschätzung 1392.dbf
Bodenschätzung 1392.prj
Bodenschätzung 1392.shp
Bodenschätzung 1392.shx



Keine Projektionsdatei erkannt. Der EPSG-Code muss manuell eingestellt werden.

EPSG-Codes *

25833 ETRS89 / UTM Zone 33N

Kartentyp *

Bodenschätzung

Hinweis: in jedem Bundesland kann auch das interne

EPSG-Informationen

Bundesland	Mögliche Systeme
Bayern	Gauß-Krüger Zone 2
	ETRS89-UTM32N
	ETRS89-UTM33N
Baden-Württemberg	Gauß-Krüger Zone 2
	ETRS89-UTM32N
	ETRS89-UTM33N

Bodengruppen

Bodenschätzung

CaO-Bedarfskarte

Humusgehalt

Tongehalt

pH-Wert

Abbrechen

Import



Hinweis:

Je nach Auswahl der Spalte ändert sich die Kartendarstellung und es werden immer die Werte der gewählten Attributspalte gezeigt. Im Zweifel kann die richtige Attributspalte durch Ausprobieren ermittelt werden. So ist die Karte bereits automatisch je nach Auswahl sichtbar. In Abbildung 2 sind die verschiedenen Bodenarten nach der offiziellen Bodenschätzung aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) des Landes Brandenburgs angezeigt.

26 | Schlaggrenzen/Bodenkarten importieren

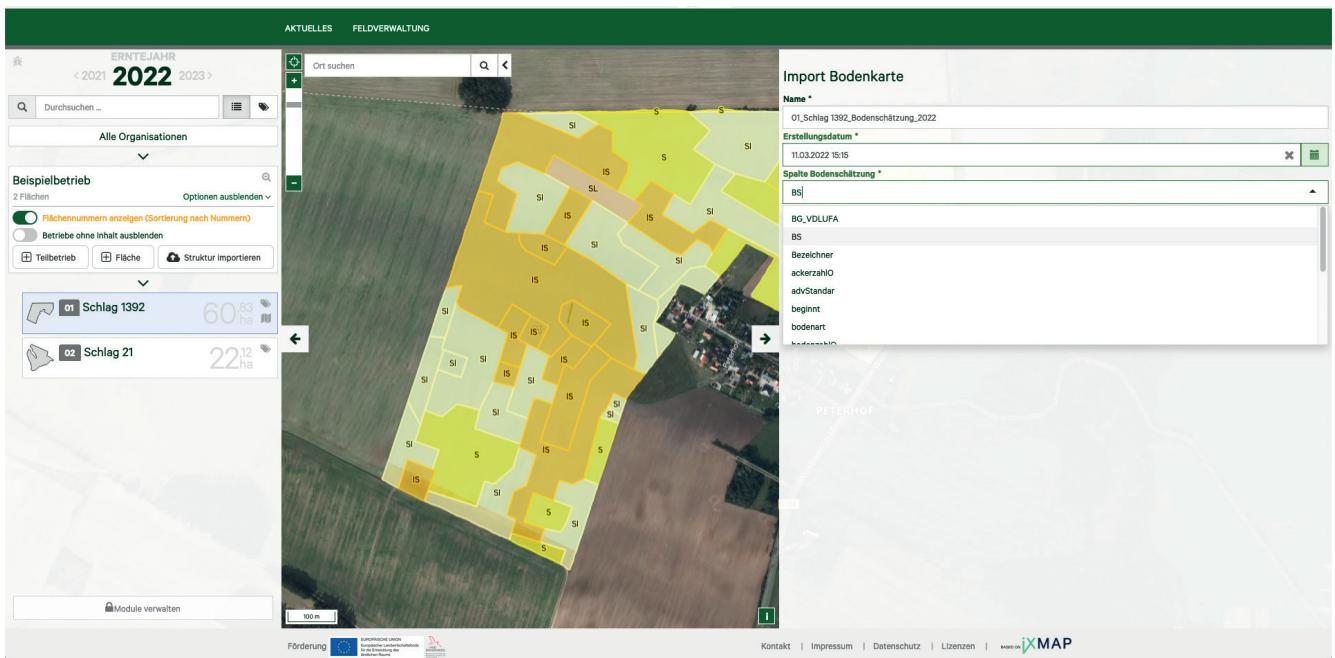


Abbildung 2: Bodenschätzungsmappe importieren

Beim Import der Bodenschätzungsmappe wird automatisch eine Karte mit den Bodengruppen erzeugt und unter **Kartenverwaltung → Bodenkarten** gespeichert.

Nach erfolgreichem Import aller benötigten Bodenkarten (z.B. Humus, pH-Wert, VDLUFA Bodengruppe) können sie zur Erstellung von Applikationskarten (Kap. 9) verwendet werden..



Wissenswertes:

Die Bodenschätzungsmappen sind für Brandenburg frei abrufbar unter dem GEOBROKER des Landes Brandenburg geobroker.geobasis-bb.de/. Allerdings bedarf es vor dem Import in die Software einiger weiterer Schritte. Diese Arbeit ist nicht Bestandteil der pH-BB-Toolbox. Für Interessierte, die die Bodenschätzungsmappen abrufen und nutzen wollen, sind hierfür mehr Informationen und eine Anleitung im Anhang dieses Handbuchs hinterlegt.

Bodenschätzungsdaten sind in der pH-BB-Toolbox von untergeordneter Bedeutung, da diese vorzugsweise mit sensorkalibrierten Bodenkarten (z.B. Geophilus) arbeitet. Jedoch können sie als kostenlose Alternative zu Sensormessdaten ebenfalls genutzt werden.

27 | Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren (Schritt 1)

5 Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren (Schritt 1)

The screenshot shows the pH-BB Toolbox interface. At the top left is a link to 'Zurück zur Flächenübersicht'. Below it, the title 'pH-BB' is displayed. A checkbox labeled 'Hilfetexte anzeigen' is present. The main area contains five steps in boxes:

- Schritt 1: Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren**
A button labeled 'Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren'.
- Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen**
A button labeled 'Referenzprobenpunkte setzen'.
- Schritt 3: Laborergebnisse hochladen**
A button labeled 'Ergebnisse eintragen'.
- Schritt 4: Bodenkarten erstellen**
A button labeled 'Bodenkarten erstellen'.
- Schritt 5: Applikationskarten erstellen**
This section has three sub-options:
 - Teil 1: CaO - Bedarfskarte berechnen
 - Teil 2: CaO - Streukarte berechnen
 - Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen

A red arrow points to the 'Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren' button in the first step box.

5.1 Allgemeines

Hier laden Sie die auf dem Feld gemessenen Sensorpunktdaten hoch, die für die Bodenkartenerstellung von pH-Wert, Humusgehalt und Bodentextur verrechnet werden sollen.

In der pH-BB-Toolbox nimmt die Bodensensordatenverarbeitung eine zentrale Rolle ein. Mobile Bodensensoren liefern hochauflösende Bodeninformationen, die die räumliche Variation der kalkungs- und ertragsrelevanten Bodenparameter beschreiben und über empirische Beziehungen⁴ und Kalibriermodelle⁵ zu digitalen Bodenkarten verarbeitet werden können. Die auf diese Weise abgeleiteten Bodenkarten sind für die Präzisionslandwirtschaft von essenzieller Bedeutung, um das Bodenmanagement und die Kalkdüngung effizient und ressourcenschonend zu gestalten.

⁴Empirische Beziehungen sind durch bestätigende Daten abgesichert, aber unabhängig von Theoretischen Erklärungen.

⁵Kalibriermodelle dienen dem Aufstellen und Absichern statistischer Abhängigkeiten von verschiedenen Messgrößen.

28 | Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren (Schritt 1)

Die Abschätzung der kalkulationsrelevanten Parameter Humus, Bodentextur und pH-Wert erfolgt über verschiedene bodengestützte Messverfahren, die sich als zuverlässige Proxies⁶ zur quantitativen Beschreibung bewährt haben.

Im pH-BB Projekt wurden dafür zwei mobile Sensorplattformen genutzt:

Die Multisensorplattform (MSP-3) von Veris Technologies (USA) und der Geophilus Electricus (Geophilus) von der Geophilus GmbH (Deutschland). Zusammen werden damit die Messgrößen pH, scheinbarer elektrischer Widerstand, scheinbare elektrische Leitfähigkeit, Gammaaktivität, sowie der Humusgehalt über einen spektral optischen Sensor erfasst. Damit bietet sich mit der späteren Kalibrierung⁷ eine breite Datenbasis für die präzise Kartenerstellung. Der Schritt der Interpolation mittels Kriging⁸-Verfahren ermöglicht es, von den einzelnen Messpunkten aus, die gewonnenen Daten gleichmäßig und flächenhaft in einem einheitlichen Raster abzubilden.

Ausgehend von den Punktdaten werden somit auf der gesamten Feldfläche Werte für jede Zelle zwischen diesen Punkten vorhergesagt.

Die Sensorpunktdaten sollten nach der Messung im Feld zunächst bereinigt werden. So wird Fehlerquellen durch Ausreißer entgegengewirkt und Messfehler (beispielsweise durch das Ein- und Ausheben der Sensorplattform im Feld) können frühzeitig erkannt werden. Wenn Sie die Sensordaten nicht selbst erheben, achten Sie darauf, dass der Dienstleister das Bereinigen für Sie übernimmt. Mit den von Messfehlern bereinigten Sensorpunktdaten können Sie dann in der pH-BB Software arbeiten.

Nachdem die Flächengeometrie gespeichert wurde (siehe Kap. 4), können Sensorpunktdaten für diese Fläche hochgeladen und interpoliert werden. Dieser Arbeitsschritt kann für jede Fläche einzeln durchgeführt werden.

Wenn keine Umweltdaten im Betrieb vorliegen, lassen sich diese mit Bodensensoren aufnehmen, wie sie ebenfalls im pH-BB-Projekt (siehe oben) verwendet werden. Diese Datenpunkte lassen sich anschließend in dem Teilmodul „Schritt 1“ hochladen und interpolieren.

⁶ Proxies sind sogenannte „Stellvertreter“, die als direkt messbare Größen zur Abschätzung der eigentlichen Zielgröße (z.B. lässt die Infrarot-Reflektanz des Bodens auf Humusgehalt schließen) verwendet werden.

⁷ Bei der Kalibrierung werden die Laborergebnisse genutzt, um die Sensordaten mit den Zielgrößen in Beziehung setzen zu können.

⁸ Kriging ist ein geostatistisches Verfahren zur Bestimmung (Schätzung) von Werten an unbekannten Punkten mithilfe umliegender Messpunkte, für die Werte vorliegen. Erklärung in Kapitel 5.3

29 | Sensorpunktdata hochladen und interpolieren (Schritt 1)

5.2 Vorgehen

Wählen Sie die gewünschte Fläche an und klicken Sie im Kartenausschnitt auf **Teilflächen-Module**.



Die **Teilflächen-Module** sind nun angezeigt und das Modul **ph-BB** kann ausgewählt werden. Anschließend werden in der Arbeitsansicht die einzelnen Prozessschritte der präzisen Kalkung sichtbar.



Zur einfacheren Übersicht können Hilfetexte angezeigt werden. Sie beschreiben grob, was in den einzelnen Schritten geschieht.

30 | Sensorpunktdata hochladen und interpolieren (Schritt 1)

Für das Hochladen der Sensorpunktdata klicken Sie auf **Sensorpunktdata hochladen und interpolieren**.

Im Bearbeitungsbereich lassen sich nun die Sensordaten auswählen, die Sie interpolieren möchten. Es empfiehlt sich jeweils einen Datensatz pro Interpolation auszuwählen, da verschiedene Sensordatensätze nicht zeitgleich in diesem Schritt verrechnet werden können.

Die Verrechnung der kalibrierten Sensormessdaten findet erst im Teilschritt **Bodenkarten erstellen** statt. Sie können außerdem in unterschiedlichen KBS vorliegen, was die Berechnung ebenfalls stört.

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen

Referenzprobenpunkte setzen

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen

Ergebnisse eintragen

Schritt 4: Bodenkarten erstellen

Bodenkarten erstellen

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1: **CaO - Bedarfskarte berechnen**

Teil 2: **CaO - Streukarte berechnen**

Teil 3: **Kalkapplikationskarte berechnen**

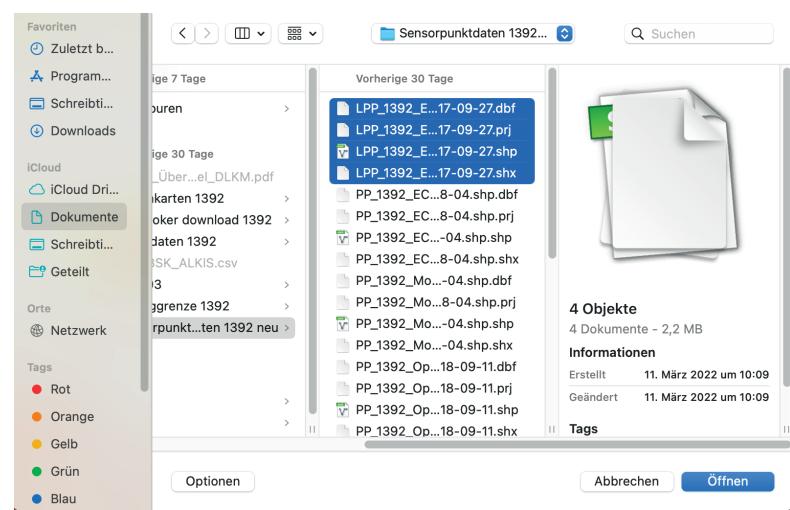


Abbildung 3: Auswahl von Sensordaten zum Importieren

Den richtigen EPSG-Code auswählen und importieren. Sie müssen nun die gewünschten Attribute (Spaltennamen) auswählen, die Sie für die Kartenerstellung importieren und interpolieren möchten. In Abb. 4 liegen die Sensordaten des Geophilus vor. Die Attributbezeichnungen sind grundsätzlich nicht festgelegt und sollten, wenn Sie die Daten von einem Dienstleister bekommen, als Metadaten⁹ direkt beschrieben sein.

31 | Sensorpunktdata hochladen und interpolieren (Schritt 1)



Wissenswertes:

In unserem Beispiel (Abb. 4) steht **Rho1** für den scheinbaren elektrischen Widerstand in der ersten Tiefenstufe des Geophilus von 0 bis 25 cm Tiefe. Das Formelzeichen des spezifischen Widerstands ist „ρ“ (rho) des griechischen Alphabets, was die Bezeichnung erklärt. Für die Kalkung können die fünf übrigen Tiefenstufen vernachlässigt werden, da lediglich die Ackerkrume von Interesse ist. Das Attribut Gamma beschreibt hier die Höhe der natürlichen radioaktiven Gammaaktivität, die der Boden abgibt. Die Parameter Rho1 und **Gamma** geben zusammen Aufschluss über die Bodentextur (d.h. Ton-, Schluff- und Sandgehalt).

Das Datum der Sensorkartierung muss eingetragen werden, damit die Interpolation durchgeführt werden kann. Ohne eine Angabe an dieser Stelle, ist der Startbutton nicht auswählbar. Das Datum ist informativ und geht in den Namen der erzeugten Karte ein. Der Algorithmus zur späteren Kalkbedarfsermittlung berechnet den Bedarf auf Basis des Kalkungsintervalls und des Jahres der letzten Bodenuntersuchung.

Es besteht außerdem die Möglichkeit zwischen zwei verschiedenen Interpolationsverfahren zu wählen. Als Standardvariante wird Ordinary-Block-Kriging (siehe Kapitel 5.3) mit einer Blockgröße¹⁰ von 10 Metern als Interpolationsmethode verwendet und empfohlen. Die Blockgröße kann aber individuell angepasst werden. Die Pixelgröße¹¹ kann ebenfalls verändert werden, wobei der Standardwert von 2 m bereits eine optimale Größe für die meisten Fälle darstellt.

Ein Sensorpunktdatensatz kann mehrere Bodensensorwerte (beispielsweise wie in Abb. 4 **Gamma** und **Rho1**) enthalten, welche bei der Auswahl der Attribute jeweils in einem Schritt interpoliert werden können. Für jedes ausgewählte Attribut aus der Sensordatei wird eine separate Bodenkarte berechnet.

Analog mit dem Hochladen und Interpolieren der übrigen Sensorpunktdata fortfahren. Jede Geometrie muss einzeln importiert werden. Die Berechnungen des Programms können je nach Umfang schwanken und durchaus einige Minuten in Anspruch nehmen, da die Interpolation mittels Kriging ein rechenintensives Verfahren ist.

Die Interpolierten Sensordaten werden unter **Kartenverwaltung** gespeichert und können durch Anklicken sichtbar gemacht werden. Die bei der Interpolation mit dem Krigingverfahren verwendeten Variogramme (siehe Kapitel 5.3) sind hier ebenfalls als Metadaten hinterlegt.

[Zurück zur Startansicht](#)

The screenshot shows the software interface for handling sensor point data. It includes sections for selecting sensors (with checkboxes for H, Rho1, Rho2, Rho3, Rho4, Rho5, Rho6, and Gamma), calculating a total area (with a checked checkbox), and setting parameters for sensor mapping. Below these are sections for setting the date of the survey, selecting the interpolation method (Standard recommended or Individual), setting the block size (10 meters), and setting the pixel size (2 meters). A note indicates that only one sub-area was mapped with sensors, so the boundary of the sub-area is automatically calculated.

Abbildung 4: Beispiel für Sensorpunktdatensatz mit mehreren Bodensensorwerten

⁹ Metadaten (auch Datei-Attribute) liefern beispielsweise strukturierte Zusatzinformationen über Dateigröße, Format, Name, etc. anderer Dateien.

¹⁰ Die Blockgröße bezeichnet die Größe der einzelnen interpolierten Rasterzellen, in Metern.

¹¹ Die Pixelgröße beschreibt hier die Auflösung der interpolierten Karte in Metern.

32 | Sensorpunktdata hochladen und interpolieren (Schritt 1)

5.3 Exkurs Krigging

Interpolation mit Krigging

Auch wenn die Dichte der Messpunkte mithilfe der verfügbaren Sensortechnik bereits sehr hoch ist (> 150 Messpunkte pro ha), reicht dies noch nicht aus, um allein damit hochauflöste Applikationskarten zu erstellen. Hier bedient man sich dem aus der Geostatistik stammenden Werkzeug Kriging als Interpolationsverfahren.

Kriging ist ein Verfahren, mit dem aufgrund von bereits existierenden Informationen, wie beispielsweise pH-Werten an bestimmten Punkten, auf Punkte oder Raster dazwischen geschlossen wird, diese also vorhergesagt werden können. Dies ist nur möglich, wenn zwischen den Messwerten ein räumlicher Zusammenhang nachweisbar ist. Nahe beieinander liegende Beobachtungen (Werte) weisen eine größere Ähnlichkeit auf, als weit entfernte und werden daher auch bei der Interpolation stärker gewichtet.

Ein Variogramm zeigt die relativen Wertunterschiede zwischen benachbarten Punkten über deren Entfernung voneinander. Dies hat zum Ziel, eine Funktion an die gemessenen Daten anzupassen, mit derer die räumlichen Zusammenhänge möglichst genau beschrieben werden. An das experimentelle Variogramm, welches die räumliche Abhängigkeit der Daten bestimmt (siehe Punkte in Abb. 5) wird das theoretische Variogramm (siehe Kurve in Abb. 5) angepasst.

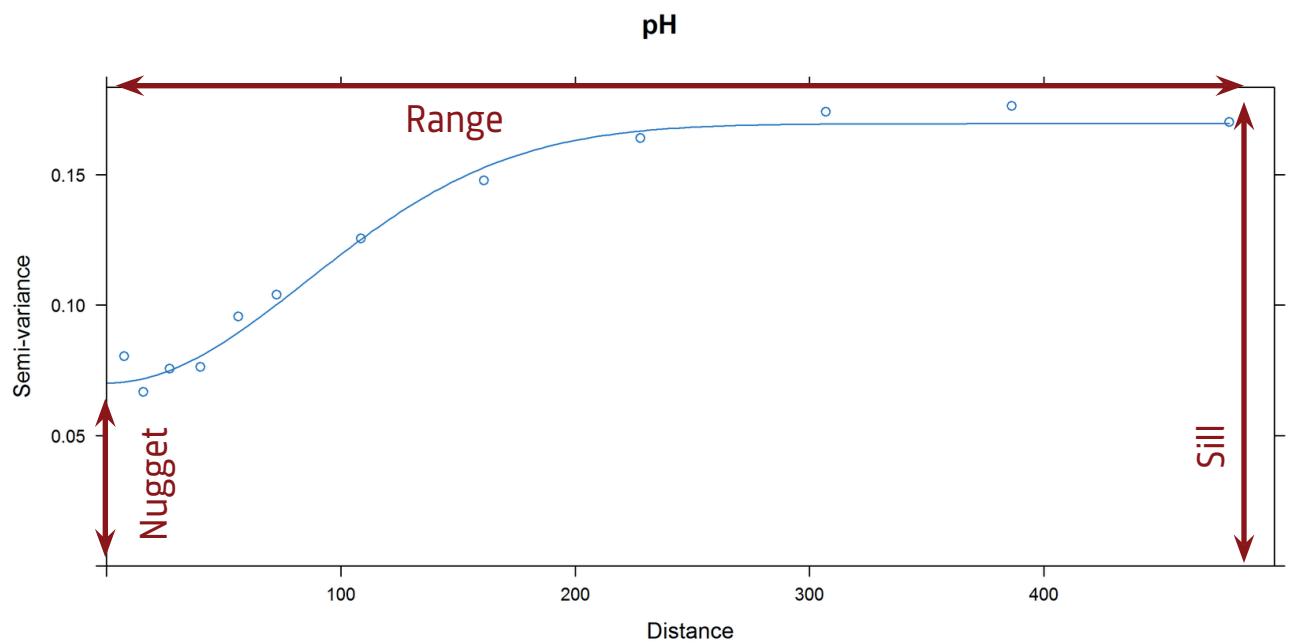


Abbildung 5: Beispiel für eine kombinierte Darstellung von experimentellem und theoretischem Variogramm für pH-Messdaten

33 | Sensorpunktdata hochladen und interpolieren (Schritt 1)

Man unterscheidet für die Charakteristik einer räumlichen Struktur in drei wichtige Begriffe: Nugget, Range und Sill (siehe auch Abb. 5)

- Nugget: setzt sich zusammen aus der Messfehlervarianz und der kleinräumigen Varianz innerhalb der Bereiche, die geringer als die kleinste Beobachtungsdistanz sind. Je geringer er ist, desto größer ist zumeist der räumliche Zusammenhang.
- Range: ist die Aussageweite und definiert die Distanz von zwei Punkten, bei der die maximale Varianz erreicht ist.
- Sill: ist der Schwellenwert und entspricht der Gesamtvarianz.

Wird in der Variogrammanalyse kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Messgrößen und der Entfernung zueinander erkennbar, kann auch kein Kriging erfolgen.

Unterschied Ordinary-Block-Kriging und Ordinary-Punkt-Kriging

Das Block-Kriging interpoliert Daten in definierten Rasterzellen, während beim Punkt-Kriging für noch mehr Auflösung in jedem Punkt interpoliert wird. Der Vorteil beim Block-Kriging liegt darin, dass die Kanten geglättet werden, da man mit einem gewichteten Mittelwert arbeitet. Die hochfrequenten Schwankungen, die beim Punkt-Kriging auftreten, können das Ergebnis beeinträchtigen und zu einem verrauschten Kartenbild führen.

34 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

6 Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

[Sensorpunktdata hochladen und interpolieren](#)

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen

[Referenzprobenpunkte setzen](#)

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen

[Ergebnisse eintragen](#)

Schritt 4: Bodenkarten erstellen

[Bodenkarten erstellen](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1: [CaO - Bedarfskarte berechnen](#)

Teil 2: [CaO - Streukarte berechnen](#)

Teil 3: [Kalkapplikationskarte berechnen](#)



6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie Sie die Referenzprobenpunkte im Feld auf Basis der Bodensensordaten setzen oder Probennahmepunkte per Hand hinzufügen.

Da die Sensormessdaten noch nicht kalibriert sind, müssen im zweiten Schritt der Prozesskette Referenzprobenpunkte gesetzt werden, anhand derer im Feld Bodenproben für die Laboranalyse gezogen werden. Für die Probenpunkte ist es von Bedeutung, dass diese optimal über den Schlag verteilt sind und sie die ganze Varianz der Messdaten abdecken. Durch die Kalibrierung der Sensormessdaten lassen sich Beziehungen zwischen diesen und den Referenzlaborwerten (z.B. pH-Wert etc.) mithilfe statistischer Modelle beschreiben. Das Ergebnis sind schließlich die Bodenkarten für die Parameter Textur, Humus und pH, aus welchen sich die Kalkapplikationskarten generieren lassen (siehe Kap. 9).

35 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

6.2 Vorgehen

Um mit dem Bestimmen der Referenzprobenpunkte zu beginnen, klicken Sie im Arbeitsbereich der pH-BB-Toolbox auf **Referenzprobenpunkte setzen**.

Erstellen Sie einen neuen Beprobungsauftrag.

[Zurück zur Startansicht](#)

Beprobungsaufträge

Verfügbare Aufträge

Keine Auswahl



Auftrag löschen

Beprobungsauftrag erstellen

Notiz

kein Auftrag ausgewählt



Tipp:

Die Benennung des Auftrags für die eindeutige Zuordnung zu einem späteren Zeitpunkt ist ratsam. Tragen Sie bei Bedarf zusätzliche Notizen ein und wählen Sie die Zielgröße, die bei diesem Auftrag untersucht werden soll. Im Beispiel (nächste Abb.) wird ein Auftrag für die pH-Werte auf Schlag 1392 angelegt. Im weiteren Verlauf ist die Anzahl der gewünschten Beprobungspunkte anzugeben, wobei der Standardwert hier 8 beträgt.



Wissenswertes:

Weniger Punkte führen zu einer ungenauerer Kalibrierung und mehr Punkte zu entsprechend besseren Ergebnissen. Das bedeutet allerdings ggf. auch einen höheren Arbeitsaufwand und mehr Kosten für Probenahmen und Laboruntersuchungen. Bei einem angenommenen Wert von 8 würde sich die Gesamtprobenzahl über die drei Zielgrößen Textur, Humus und pH-Wert daher auf 24 Einzelproben je Schlag summieren.

36 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

[Zurück zur Auftragsübersicht](#)

Neuer Auftrag

Name *
Referenzproben pH 10.09.2018

Notiz
Probenpunkte für pH

Zielgröße für Auftrag *
pH-Wert

Berechnung für Gesamtschlag

i Wurden die Sensordaten nicht für den gesamten Schlag erhoben, empfiehlt sich die Berechnung für den Teilschlag.

Anzahl der Beprobungspunkte * i
8

Sensordaten auswählen

Favorisierte Variable
pH

i Variable, die bei der Auswahl der Referenzprobenpunkte bei den Extremwertbereichen besonders berücksichtigt werden soll.
Empfohlen wird beispielsweise, hier die pH-Sensorwerte bei der Bestimmung der Referenzprobenpunkte für pH anzugeben (MinMaxPunkte-Anzahl von jeweils 2).

Anzahl MinMax-Punkte
1

Klicken Sie auf **Sensordaten auswählen** und der Reiter klappt aus, womit alle für dieses Feld gespeicherten Sensordaten sichtbar werden. Hier wählen Sie die geeigneten Sensordaten aus, die in die Berechnung für die Bestimmung optimaler Referenzprobenpunkte im Feld mit eingehen sollen.



Wissenswertes:

In diesem Arbeitsschritt werden die zu Rasterkarten interpolierten Messwerte unterschiedlicher Sensoren automatisch zu einem Raster Stack¹² mit einheitlicher räumlicher Ausdehnung und Auflösung zusammengefasst (fusioniert). Das Ergebnis sind Referenzprobenpunkte, die die komplette Spannweite der zugrundeliegenden Sensordaten erfassen und dabei gleichzeitig den Stichprobenumfang minimieren.

¹² In einem RasterStack werden alle einzeln vorliegenden Rasterobjekte in einem einheitlichen Paket gebündelt.

37 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

Sie sollten einen Auftrag je Zielgröße (Humusgehalt, Bodentextur und pH-Wert), je Schlag erstellen. Dies ist ratsam, da diese von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden und es notwendig macht die Standorte der Referenzprobenpunkte jeweils anzupassen. Abhängig von der Zielgröße werden unterschiedliche interpolierte Sensorwerte ausgewählt:

- (1) Die **Textur** wird maßgeblich durch die scheinbare elektrische Leitfähigkeit (ECa), den scheinbaren elektrischen Widerstand (Rho) und die Gammaaktivität beschrieben.
- (2) Für **Humus** wird empfohlen die Sensordaten der spektraloptischen Messverfahren zu verwenden, wie Infrarotkanalwerte (IR) und Nahinfrarotkanalwerte (Red). Aber auch die Gammawerte und Rho-Werte stehen in Zusammenhang mit den Humusgehalten und können für die Festlegung der Referenzprobenpunkte zusätzlich ausgewählt werden.
- (3) Der **pH-Wert** weist die höchste Korrelation mit den Sensordaten der pH-Elektrode auf. Ergänzend kann für den Auftrag zusätzlich die elektrische Leitfähigkeit mit einbezogen werden, um Texturunterschiede bei der Probenauswahl zusätzlich zu berücksichtigen.



Für die vereinfachte Auswahl lassen sich die Sensordaten auch bildhaft darstellen. Dies kann bereits oft einen guten Hinweis auf die Bodenheterogenität geben.
Dazu in der Sensordatenauswahl auf das folgende Symbol klicken:



Optional können Sie zusätzlich eine Variable wählen, die bei der Auswahl der Referenzprobenpunkte bei den Extremwertbereichen besonders berücksichtigt werden soll. Der Probenahme-Algorithmus gewichtet die favorisierte Variable stärker als die anderen Sensordaten in den Extremwertbereichen.



Für die Referenzprobenbestimmung für pH empfiehlt es sie hier die pH-Sensorwerte als favorisierte Variable zu verwenden.

38 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

Anschließend entscheiden Sie im Feld **Anzahl MinMax-Punkte** über die Anzahl der Referenzprobenpunkte, die aus den Extremwertbereichen bestimmt werden sollen. Standardmäßig wird hier ein Wert von 1 verwendet. Wird ein Wert von 2 verwendet, wird bei der Referenzbeprobung ein stärkeres Gewicht auf die Extremwertbereiche der Sensorwerte gelegt und es würden 2 Min-Punkte und 2 Max-Punkte berücksichtigt werden.



Tipp:

Diese Option ist besonders sinnvoll bei der Bestimmung von Referenzprobenpunkten für pH-Wert. In diesem Fall macht es Sinn insgesamt mehr Beprobungspunkte anzugeben, beispielsweise 10 statt 8. Grundsätzlich wird für die Anzahl der Beprobungspunkte ein Wert zwischen 8 und 12 empfohlen, um zu gewährleisten, dass ein robustes und genaues Kalibrationsmodell erstellt werden kann. Als Standardwert sind 8 Beprobungspunkte voreingestellt. Aus den oben genannten Gründen empfiehlt es sich aber selbst bei sehr kleinen Schlägen immer mindestens 4 Referenzprobenpunkte zu erstellen.

Um zu verhindern, dass Beprobungspunkte im Vorgewende liegen, sollte ein Puffer in Abhängigkeit von der Vorgewendebreite definiert werden. Der Wert ist hier standardmäßig auf 5 m eingestellt.

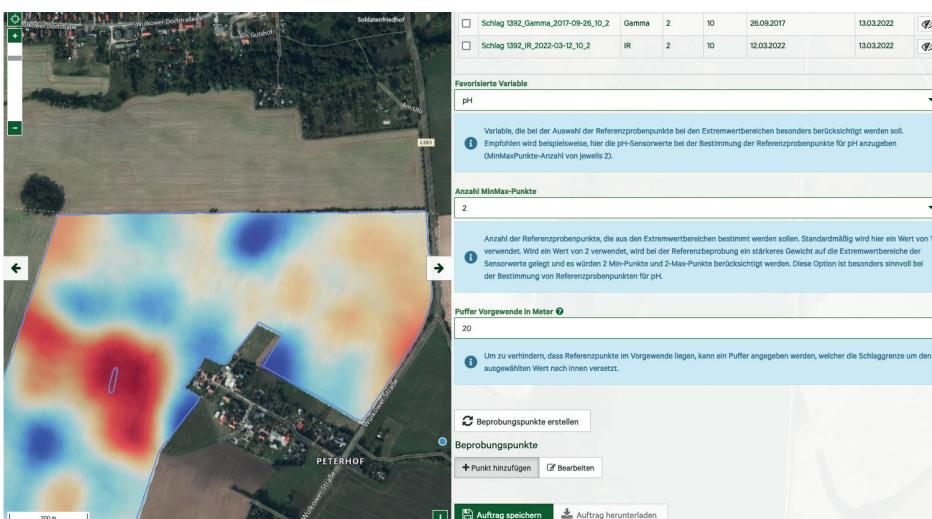


Abbildung 6: Interpolierte pH-Karte

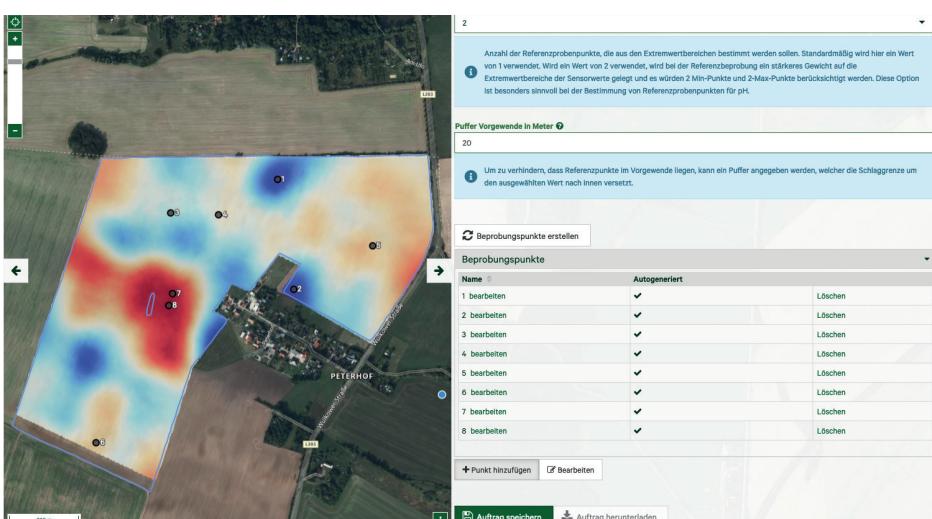


Abbildung 7: Interpolierte pH-Karte mit Referenzprobenpunkten

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen ein Beispiel einer interpolierten pH-Karte vor und nach Setzen der Referenzprobenpunkte. An der Verteilung ist zu sehen, dass zwei Probepunkte je Extremwertbereich gesetzt wurden.

39 | Referenzprobenpunkte setzen (Schritt 2)

Die Beprobungspunkte werden automatisch durch einen Probennahme-Algorithmus bestimmt, wobei es auch die Möglichkeit gibt, Beprobungspunkte manuell zu setzen oder nachträglich zu verschieben. Unter Umständen kann es vorkommen, dass (wie in Abb. 7) einzelne Beprobungspunkte sehr nah beieinander liegen, da es nur ein Areal in der Karte mit ähnlich hohen oder niedrigen Werten gibt. In diesem Fall besteht die Option, dass einer der beiden Punkte entfernt oder verschoben wird. Für Nutzerinnen und Nutzer ergibt sich somit maximale Flexibilität bei der Probenahme, um auf die Standortgegebenheiten optimal zu reagieren.

Ebenso ist es möglich, beliebig Punkte nachträglich hinzuzufügen. Es ist jedoch zu empfehlen, den Algorithmus aus der Software zu verwenden, da hier auf Basis der Sensordaten die bestmögliche Probenortbestimmung durchgeführt wird. Die Randomisierung¹³ soll dazu beitragen, dass die Messwerte in annähernd gleicher Weise repräsentiert und die komplette Spannweite der zugrundeliegenden Sensordaten berücksichtigt werden.

Nach Speichern des Auftrages können die Referenzprobenpunkte für die nächste Zielgröße gesetzt werden. Die gespeicherten Aufträge sind bei den verfügbaren Aufträgen hinterlegt. Der Auftrag lässt sich herunterladen, um die Koordinaten für die Beprobung im Feld verwenden zu können. Dazu **Auftrag herunterladen** anklicken. Damit später eine eindeutige Zuordnung der Aufträge zu den Beprobungspunkten gewährleistet ist, sollte auf eine exakte und entsprechende Benennung des Auftrags geachtet werden.



Tipp:

Die Beprobungen sollten im Feld insbesondere für pH-Wert Analysen so zeitnah wie möglich nach der Sensordatenkampagne durchgeführt werden. So ist die Güte der Referenzproben am höchsten, da die Umweltbedingungen zu den Zeitpunkten der Sensormessungen und Referenzprobennahme gleich sein müssen.

¹³Bei der Randomisierung werden unter Einsatz eines Zufallsmechanismus die Probenpunkte so verteilt, dass sie zufällig aus der Grundgesamtheit der Daten gezogen werden.

40 | Laborergebnisse eintragen (Schritt 3)

7 Laborergebnisse eintragen (Schritt 3)

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen
 ←

Schritt 4: Bodenkarten erstellen

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1:	<input type="button" value="CaO - Bedarfskarte berechnen"/>
Teil 2:	<input type="button" value="CaO - Streukarte berechnen"/>
Teil 3:	<input type="button" value="Kalkapplikationskarte berechnen"/>

7.1 Allgemeines

Nachdem im letzten Schritt die Referenzprobenpunkte bestimmt wurden und die Bodenproben im Labor ausgewertet wurden, erfolgt in diesem Schritt die Eintragung der Laborergebnisse. Dies ist nur im CSV-Format möglich. Wie Sie Daten aus einer Excel-Datei in eine CSV-Datei überführen können, ist im folgenden Kapitel beschrieben.

41 | Laborergebnisse eintragen (Schritt 3)

7.2 Vorgehen

7.2.1 Laborergebnisse aus Excel in CSV-Datei überführen

Die Laborergebnisse für die untersuchten Bodenproben werden üblicherweise als Excel-Dateien an die Landwirtnnen übermittelt. Für den Import der Ergebnisse in die pH-BB-Toolbox ist es notwendig, diese in eine CSV-Datei zu überführen.

Wenn Sie eine Excel-Tabelle mit den Laborergebnissen vorliegen habe, öffnen sie diese in Excel. Im Beispiel handelt es sich um pH-Werte für Referenzproben.

Wählen Sie *Speichern unter...*

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "pH-Laborergebnisse 1392_2018". The data is organized into columns: A (x), B (y), C (Probennummer), D (pH). The data points are as follows:

x	y	Probennummer	pH
463306.7	5805124	665	6,3
463276.5	5804818.3	666	5,2
463291.2	5804857.2	667	4,9
463404.9	5805079.5	668	6,7
463517.9	5805073.6	669	7,2
463407.9	5804846.7	670	6,7
463536.5	5804946.6	671	5,8
463522.8	5804833.0	672	6
463829.2	5804878.9	673	5,6
463805.3	5805393.6	674	4,9
463872.5	5805398.5	675	6,9
463891	5805054.8	676	6,9

Legen Sie als neues Format *CSV UTF-8* fest und speichern anschließend diese Datei ab.

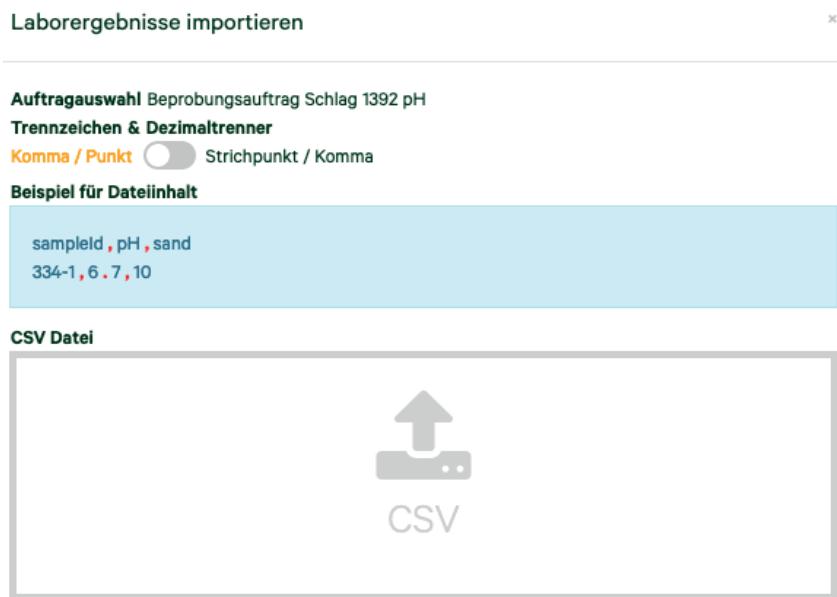
The screenshot shows the "Save As" dialog box in Microsoft Excel. The file name is "pH-Laborergebnisse 1392_2018". The "Format" dropdown is set to "CSV UTF-8 (durch Trennzeichen getrennte Datei) (.csv)". Other options shown include "Excel-Arbeitsmappe (.xlsx)" and "Excel 97-2004-Arbeitsmappe (.xls)".

Die so erstellte CSV-Datei kann im nächsten Schritt in die Toolbox importiert werden.

42 | Laborergebnisse eintragen (Schritt 3)

7.2.2 Laborergebnisse importieren und eintragen

Wählen Sie den Auftrag aus, für den die Ergebnisse aus dem Labor eingetragen werden sollen. Nach dem Klicken auf **Ergebnisse importieren**, öffnet sich ein Pop-Up-Fenster, in welchem die entsprechende CSV-Datei hinzugefügt wird.



Dies ist ebenfalls per Drag & Drop möglich. Je nachdem wie die Daten in der Datei organisiert sind, die Trennzeichen und Dezimaltrenner auswählen. Das Zuordnen der Labordaten zu den Probepunkten geschieht nach dem Hochladen automatisch. Darüber hinaus ist es auch möglich die Werte händisch in die Tabelle zu übertragen.

Einzutragen sind in jeden Fall der Beprobungszeitpunkt, das untersuchende Labor und die Beprobungsmethode.

Bei dem Extraktionsverfahren (Beprobungsmethode) gibt es zwei Auswahlmöglichkeiten: CAL-Methode: Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
DL-Methode: Doppelkaktat-Methode

43 | Laborergebnisse eintragen (Schritt 3)

[Zurück zur Startansicht](#)

Auftrag auswählen

 Zur Auswahl stehen nur Aufträge die noch nicht abgeschlossen wurden.

Beprobungsauftrag Schlag 1392 pH 30.03.2022

 Ergebnisse importieren

 Die Bodenkenngrößen werden im Labor mit folgenden Methoden ermittelt: (1) pH - Bestimmung nach CaCl₂-Methode (2) Humus (Corg) - mit Elementaranalyse oder Glühverlust (3) Bodentextur - mit Sieb- und Sedimentationsanalyse (DIN ISO 11277)

Beprobungszeitpunkt *

30.03.2022



Labor *

LKV



Beprobungsmethode *

DL



Name

pH

1

 Mit dem Abspeichern der Ergebnisse wird der Auftrag abgeschlossen und kann nicht mehr bearbeitet werden.

 Ergebnisse speichern

Mit dem Abspeichern der Eingaben ist der Auftrag abgeschlossen und kann nicht mehr bearbeitet werden. Die gespeicherten Aufträge inklusive der eingetragenen Werte finden Sie unter Schritt 2: **Beprobungsaufträge**. Unter Schritt 3 sind nur Aufträge sichtbar, die noch nicht abgeschlossen wurden.

44 | Bodenkarten erstellen (Schritt 4)

8 Bodenkarten erstellen (Schritt 4)

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen

Schritt 4: Bodenkarten erstellen
 ←

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1:	<input type="button" value="CaO - Bedarfskarte berechnen"/>
Teil 2:	<input type="button" value="CaO - Streukarte berechnen"/>
Teil 3:	<input type="button" value="Kalkapplikationskarte berechnen"/>

8.1 Allgemeines

In diesem Schritt werden die interpolierten Bodensensordaten mithilfe der Labordaten kalibriert und in Bodenkarten für die Parameter Bodentextur, Humus und pH übersetzt. Die Laborreferenzwerte müssen dafür im vorherigen Schritt eingetragen worden sein.

Für die Bodenkartenerstellung müssen die Sensordaten kalibriert werden. Dies geschieht, indem die Vorhersagemodelle mithilfe der im Labor analysierten Referenzbodenproben für pH-Wert, Bodentextur und Humusgehalt kalibriert und validiert werden. Die Daten müssen valide sein, um sie zur weiteren Verarbeitung verwenden zu können. Weiterhin ist die Kalibrierung der interpolierten Sensordaten notwendig, da mobile Sensoren nicht dieselbe Genauigkeit wie stationäre Laboruntersuchungsmethoden aufweisen. Unter Verwendung von Regressionsmodellen und anderen statistischen Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens werden verschiedene Sensordaten fusioniert und für die Vorhersage der Bodenparameter pH, Bodentextur und Humusgehalt verwendet. Je höher die Qualität der Modelle ist und je mehr Proxy-Variablen zur Beschreibung vorliegen, desto höher ist die Güte der berechneten Bodenkarten.

45 | Bodenkarten erstellen (Schritt 4)

8.2 Vorgehen

Wählen Sie **Bodenkarten erstellen** im Arbeitsbereich.

Anschließend den gewünschten Bodenparameter als Zielgröße und den dazugehörigen Referenzprobenauftrag auswählen.

The screenshot shows the software interface for creating soil maps. On the left, there's a sidebar with 'ERNTJAHR 2022' and a search bar. Below it, 'Alle Organisationen' and 'Beispielbetrieb' sections are visible, showing three fields: Schlag 1392 (62,82 ha), Schlag 21 (22,12 ha), and Schlag 1403 (18,92 ha). A map of the Peterhof area is in the center. To the right, a panel titled 'Zielgröße Bodenparameter' has 'pH' selected. Another panel below it says 'Wählen Sie den Bodenparameter aus für den eine Bodenkarte erstellt werden soll. Bodenkarten werden auf Basis der interpolierten Sensordaten durch Kalibration auf die Laborergebnisse der Referenzproben berechnet. Für den Bodenparameter Bodentextur werden Bodenkarten für: (1) Ton, (2) Schluff, (3) Sand und (4) VDLUFA-Bodengruppe erstellt.' A red box highlights the 'Auftrag auswählen' section, which lists 'Laborergebnisse der Referenzproben für den gewählten Bodenparameter auswählen.' Below is a table of 'Probenaufrag pH 10.09.2018 21.03.2022' with six entries. Red arrows point from the text above to the 'Zielgröße Bodenparameter' dropdown and the 'Auftrag auswählen' section.

Bei den Sensordaten wird die Auswahl je nach Bodenparameter wie bereits bei der Referenzprobenbestimmung unterschiedlich getroffen:

- (1) Bodentextur bestehend aus Ton-, Schluff-, Sand- und VDLUFA-Bodengruppenkarte: scheinbarer elektrischer Widerstand (ERa)/scheinbare elektrische Leitfähigkeit (ECa) und Gamma
- (2) pH-Wert: pH-Sensordaten (z.B. Antimonelektrode)
- (3) Humus/organischer Kohlenstoff: optische Sensordaten, Spektrometerdaten

Je mehr relevante Sensordaten zur Verfügung stehen, desto präziser können die Bodenkarten gerechnet werden.

In diesem Beispiel wird aus der Liste nur die pH-Sensorkarte ausgewählt, da diese die erklärende Variable für die Berechnung der pH-Bodenkarten ist. Die übrigen Daten werden für die anderen Bodenkarten verwendet.

<input type="checkbox"/>	Schlag 1392_ECsh_2018-09-09_10_2	ECsh	2	10	09.09.2018	16.03.2022	
<input type="checkbox"/>	Schlag 1392_IR_2022-03-14_10_2	IR	2	10	14.03.2022	15.03.2022	
<input checked="" type="checkbox"/>	Schlag 1392_pH_2022-03-13_10_2	pH	2	10	13.03.2022	14.03.2022	
<input type="checkbox"/>	Schlag 1392_H_2022-03-13_10_2	H	2	10	13.03.2022	14.03.2022	

Abschließend auf **Bodenkarten erstellen** klicken und die Bodenkarte zum ausgewählten Parameter wird generiert. War dieser Vorgang erfolgreich, ist die Bodenkarte nun in der Kartenverwaltung des Schlages abrufbar.

46 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9 Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren
[Sensorpunktdata hochladen und interpolieren](#)

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen
[Referenzprobenpunkte setzen](#)

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen
[Ergebnisse eintragen](#)

Schritt 4: Bodenkarten erstellen
[Bodenkarten erstellen](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 1: [CaO - Bedarfskarte berechnen](#)
Teil 2: [CaO - Streukarte berechnen](#)
Teil 3: [Kalkapplikationskarte berechnen](#)



Die Applikationskartenerstellung gliedert sich in drei Teilschritte, die im Folgenden mit eigenständigen Kapiteln aufgeführt und erklärt werden.

Für die Erstellung von CaO-Applikationskarten müssen in der Kartenverwaltung bereits vorhandene Bodenkarten für pH-Wert, Humusgehalt [%], Tongehalt [%], VDLUFA Bodengruppe oder der Bodenschätzung vorhanden sein.

[Teil 1: CaO-Bedarfs karte berechnen](#)

[Teil 2: CaO-Streukarte berechnen](#)

[Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen](#)

47 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.1 CaO-Bedarfskarte berechnen

9.1.1 Allgemeines

In diesem Schritt wird für die Applikationskartenerstellung zunächst eine hochauflöste CaO-Bedarfskarte auf Basis der kalibrierten Bodenkarten Ihres Schlages berechnet. Dabei gibt es zwei verschiedene Berechnungsmöglichkeiten mit unterschiedlicher Genauigkeit:

- (1) Zum einen die Berechnung der CaO-Mengen nach VDLUFA Rahmenschema (VDLUFA, 2000) bzw. in der Software als **Klassen nach VDLUFA** bezeichnet. Siehe Kapitel 9.1.2.
- (2) Die zweite Möglichkeit ist die Berechnung des Kalkbedarfs mithilfe des stufenlosen ph-BB-Algorithmus. Hier kommt zu den Eingangsdaten noch eine Tongehaltskarte hinzu, womit insgesamt vier Karten verwendet werden. Die Erstellung der Bodenkarten ist unter Kapitel 8 beschrieben. Da die Kalkungshöhe auch direkt vom Tongehalt des Bodens abhängt, wird somit die Genauigkeit der Bedarfskarte weiter verbessert. Siehe Kapitel 9.1.4.



Wenn hochauflöste sensorgestützte Bodenkarten für Bodentextur, Humus und pH vorliegen, empfiehlt es sich den stufenlosen Algorithmus zu verwenden.

48 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.1.2 Vorgehen CaO-Bedarfskarte berechnen (Klassen nach VDLUFA)

Wählen Sie die Art der Berechnung aus und geben Sie anschließend die Bodenkarten an, die für die Bedarfskartenerstellung verwendet werden sollen.

In jedem Feld muss eine Angabe gemacht werden. Wenn noch keine Bodenkarten in der Software erstellt wurden, müssen diese in der Kartenverwaltung hochgeladen werden (siehe Kap. 4.4).

Abschließend das **Kalkungsintervall** bis zur nächsten geplanten Kalkung und das **Jahr der letzten Bodenuntersuchung** eintragen, aus dem die pH-Messwerte stammen. Bei der Berechnung werden Zu- und Abschläge berechnet, wenn das Jahr der Bodenuntersuchung nicht auch dem Kalkungsjahr entspricht. Der Algorithmus berücksichtigt das automatisch, da er das aktuelle Datum mit dem Datum der letzten Bodenuntersuchung abgleicht. Mit dem Klicken auf **Berechnung starten** wird die Bedarfskarte erstellt.

Nach erfolgreicher Durchführung erscheint die CaO-Bedarfskarte in der Kartenverwaltung unter den Bodenkarten.

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen Teil 1: CaO - Bedarfskarte berechnen

Art der Berechnung ?

Klassen nach VDLUFA

Stufenlos nach ph-BB

Kartengrundlage

Karte Bodengruppen *

Keine Auswahl

Karte Humusgehalt *

Keine Auswahl

Karte pH-Wert *

Keine Auswahl

Berechnung von Zu-/Abschlägen ?

Kalkungsintervall in Jahren * ?

Jahr der letzten Bodenuntersuchung *

Keine Auswahl

Berechnung starten

[zur Kartenverwaltung](#)

49 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.1.3 Wissenswertes

Für diese Berechnungsmethode wird der Kalkbedarf auf Basis einer VDLUFA Bodengruppen-, einer Humus- und einer pH-Karte ermittelt. Diese Methode ist aufgrund der groben Einteilung der Bodeneingangsgrößen in feste Klassen weniger genau, da sich die CaO-Mengen über Klassengrenzen hinweg sprunghaft ändern und keine graduellen Übergänge, wie in der Natur üblich, Berücksichtigung finden. Der Vorteil in dieser Methode liegt in der einfachen Anwendung und der flexiblen Datenbasis. Als VDLUFA-Bodengruppenkarte kann beispielsweise auch eine Bodenschätzungsmappe verwendet werden (siehe Abb. 8). Wie Sie diese Karten für Brandenburg über den Geobroker abrufen können, ist im Anhang I beschrieben. Beim Datenimport in die Software wird diese automatisch über einen Übersetzungsschlüssel in eine VDLUFA-Bodengruppenkarte umgerechnet.

Die Klassen nach VDLUFA Methode wendet sich in erster Linie an PraktikerInnen, die für ihre Flächen noch keine hochauflösten Bodentexturdaten besitzen, und den ersten und einfachen Einstieg in die präzise Kalkung vollziehen möchten. Empfohlen wird aber, falls möglich, eine berechnete Bodengruppenkarte auf der Basis von Sensordaten zu verwenden, da es zu teils erheblichen Unterschieden in der Klasseneinteilung kommt (siehe Vergleich Abb. 8 und 9).

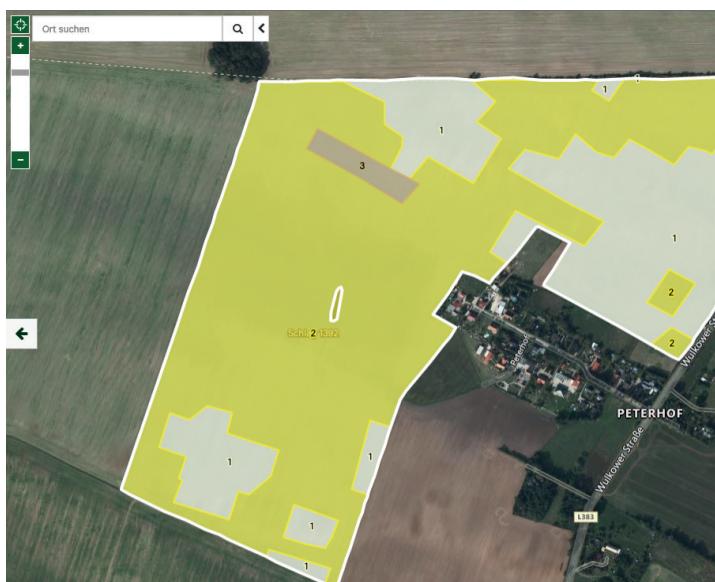


Abbildung 8: Bodengruppenkarte nach Bodenschätzung



Abbildung 9: Bodengruppenkarte auf Basis der Sensordaten

50 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.1.4 Vorgehen CaO-Bedarfskarte berechnen (Stufenlos nach pH-BB)

Wählen Sie die Art der Berechnung aus und geben Sie anschließend die Bodenkarten an, die für die Bedarfskartenerstellung verwendet werden sollen.

In jedem Feld muss eine Angabe gemacht werden. Wenn noch keine Bodenkarten in der Software erstellt wurden, müssen diese in der Kartenverwaltung hochgeladen werden (siehe Kap. 4.4).

Abschließend das **Kalkungsintervall** bis zur nächsten geplanten Kalkung und das **Jahr der letzten Bodenuntersuchung** eintragen, aus dem die pH-Messwerte stammen. Bei der Berechnung werden Zu- und Abschläge berechnet, wenn das Jahr der Bodenuntersuchung nicht auch dem Kalkungsjahr entspricht. Der Algorithmus berücksichtigt das automatisch, da er das aktuelle Datum mit dem Datum der letzten Bodenuntersuchung abgleicht.

Mit dem Klicken auf **Berechnung starten** wird die Bedarfskarte erstellt.

Nach erfolgreicher Durchführung erscheint die CaO-Bedarfskarte in der Kartenverwaltung unter **Bodenkarten** → **CaO-Bedarfskarten**.

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 1: CaO - Bedarfskarte berechnen

Art der Berechnung [?](#)

Klassen nach VDLUFA
 Stufenlos nach pH-BB

Kartengrundlage

Karte Bodengruppen *

Keine Auswahl

Karte Humusgehalt *

Keine Auswahl

Karte pH-Wert *

Keine Auswahl

Karte Tongehalt *

Keine Auswahl

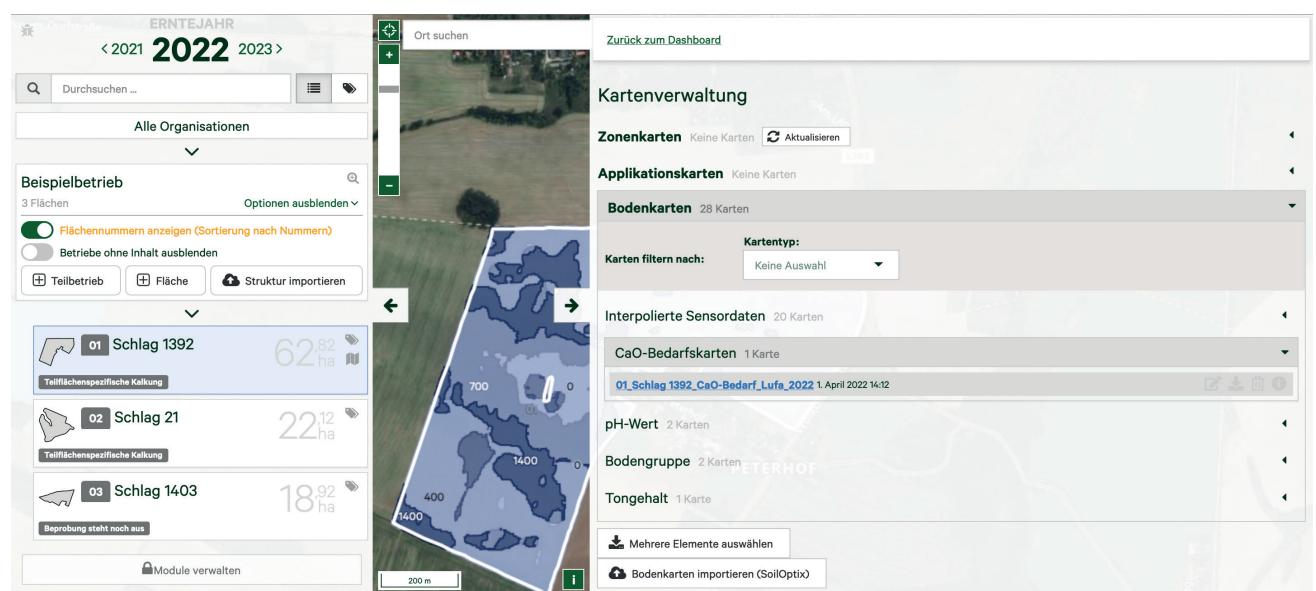
Berechnung von Zu-/Abschlägen [?](#)

Kalkungsintervall in Jahren * [?](#)

MITTELMÜHLE

Jahr der letzten Bodenuntersuchung *

Keine Auswahl



In der Kartenansicht erscheinen die Zonen je nach Bedarfshöhe in hell- bis dunkelblauen Gebieten, wobei hellere Teile weniger CaO-Bedarf aufweisen als dunklere. In den Kartendetails kann die Legende zu den Farbstufen unter **Applikationswerte** aufgerufen werden.

51 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.1.5 Wissenswertes

Zwischen den CaO-Bedarfskarten gibt es je nach Berechnungsart deutliche Unterschiede in den errechneten CaO-Mengen. Die unten abgebildeten CaO-Bedarfskarten wurden mit denselben Eingangswerten (Bodenkarten), aber unterschiedlichen Algorithmen erstellt. Zusätzlich wurde bei dem stufenlos-Algorithmus eine sensorgestützte Tongehaltskarte in die Berechnung mit aufgenommen. In der Abbildung links ist der stufenlose pH-BB Algorithmus und rechts die traditionelle VDLUFA Methode verwendet worden.



Hinweis:

Die Bedarfskarte zeigt den reinen CaO-Bedarf in kg/ha an und noch nicht die Höhe des gewünschten Kalkdüngers. Dieser wird erst im dritten Schritt bestimmt (Kap. 9.3). Voraussetzung dafür ist wiederum eine Streukarte (Kap. 9.2).

52 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.2 CaO-Streukarte berechnen

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren
[Sensorpunktdaten hochladen und interpolieren](#)

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen
[Referenzprobenpunkte setzen](#)

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen
[Ergebnisse eintragen](#)

Schritt 4: Bodenkarten erstellen
[Bodenkarten erstellen](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1:	CaO - Bedarfskarte berechnen
Teil 2:	CaO - Streukarte berechnen
Teil 3:	Kalkapplikationskarte berechnen



9.2.1 Allgemeines

In diesem Schritt werden die CaO-Streukarten auf Basis der zuvor erstellten CaO-Bedarfs karte berechnet. Dabei wird aus der hochauflösten CaO-Bedarfs karte eine Aggregation in streubare Managementzonen durchgeführt. Die zu aggregierende Auflösung (Streufläche) richtet sich dabei an den Stand der Ausbringungstechnik (Kalkstreuer) und kann flexibel angepasst werden. Dies ist nicht zu verwechseln mit der finalen Applikationskartenerstellung des gewünschten Kalkdüngers, diese Berechnung erfolgt erst in Schritt 3. Die CaO-Streukarte zeigt lediglich den reinen CaO-Bedarf in einem an die Arbeitsbreite des Kalkstreuers angepassten Raster an. Erst im dritten und letzten Schritt wird der Kalkdünger der geplanten Maßnahme ausgewählt und anhand der Nährstoffgehalte und Neutralisationswirkung die finale Kalkapplikationskarte berechnet. Die Kalkapplikationskarte steht anschließend zum Download im Shape-Format oder ISO-XML-Format bereit.



Je nach Streuertechnik (Arbeitsbreite) muss die **Arbeitsbreite des Streuers** in der Kartenerstellung angepasst werden. Der Standardwert ist mit 12 m angegeben. Wird eine Ausrichtung der Streukarte durchgeführt, so ändert sich die Zellenlänge von 12 m auf 40 m, die Auflösung wird also etwas ungenauer. Die Möglichkeiten der Ausbringtechnik sollten vorher bekannt sein und entsprechend berücksichtigt werden.

53 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.2.2 Vorgehen

Klicken Sie im Arbeitsbereich auf **CaO-Streukarte berechnen** und es öffnet sich das Eingabefenster für die Streukartenberechnung. Sie müssen das Eingabeformat Ihres Streuerterminals kennen und hier angeben. Es besteht die Wahl zwischen ISO-XML und Shape als Dateiformat.

Der Vorteil der Shape-Variante ist, dass die CaO-Streukarte optional auch an die Fahrspur angepasst werden kann. Dies ist insbesondere bei Controlled Traffic Farming mit permanenten Fahrspuren wichtig.

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 2: CaO - Streukarte berechnen

Dateiformat des Streuerterminals

IsoXML
 SHAPE

CaO-Bedarfskarte: *

Keine Auswahl ▾

Arbeitsbreite des Streuers: * ?

12 m

Berechnung starten

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 2: CaO - Streukarte berechnen

Dateiformat des Streuerterminals

IsoXML
 SHAPE

CaO-Bedarfskarte: *

Keine Auswahl ▾

Arbeitsbreite des Streuers: * ?

12 m

Ausrichtung der Karte in Fahrtrichtung: ?

ohne Ausrichtung ?
 mit Ausrichtung an Fahrspur ?

Fahrspur:

Keine Fahrspur ausgewählt

Datei auswählen

Berechnung starten

Sie können auch ohne permanente Fahrspuren eine Ausrichtung festlegen, beispielsweise angepasst an die Bearbeitungsrichtung. Die Standardausrichtung der Streu- und der Applikationskarte ist immer exakt nach Norden. In jedem Fall muss eine CaO-Bedarfskarte ausgewählt, sowie die Arbeitsbreite des Streuers angegeben werden. Die Arbeitsbreite bestimmt die Zellgröße des Rasters. Als Standardwert ist eine Arbeitsbreite von 12 m angegeben, was einer Zellengröße von 12 m x 12m für das Streuraster entspricht. Anschließend kann die Berechnung bereits gestartet werden, sofern keine Ausrichtung der Karte gewünscht ist.



Hinweis:

Auch wenn permanente Fahrspuren existieren, ist es nur ratsam die Ausrichtung zu ändern, wenn der Streuer in der Lage ist Shape-Dateien zu lesen, bzw. die Streuertechnik dies leisten kann. Andernfalls wird das Ganze ungenauer, weil das Terminal beim Einlesen der Karte diese wieder in Nord-Süd-Richtung ausrichtet und die Präzision verloren geht.

54 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

In Abb. 10 ist das Ergebnis der Kalkapplikationskarte zu sehen, welche auf Basis der **Klassen nach VDLUFA** Methode berechnet wurde.

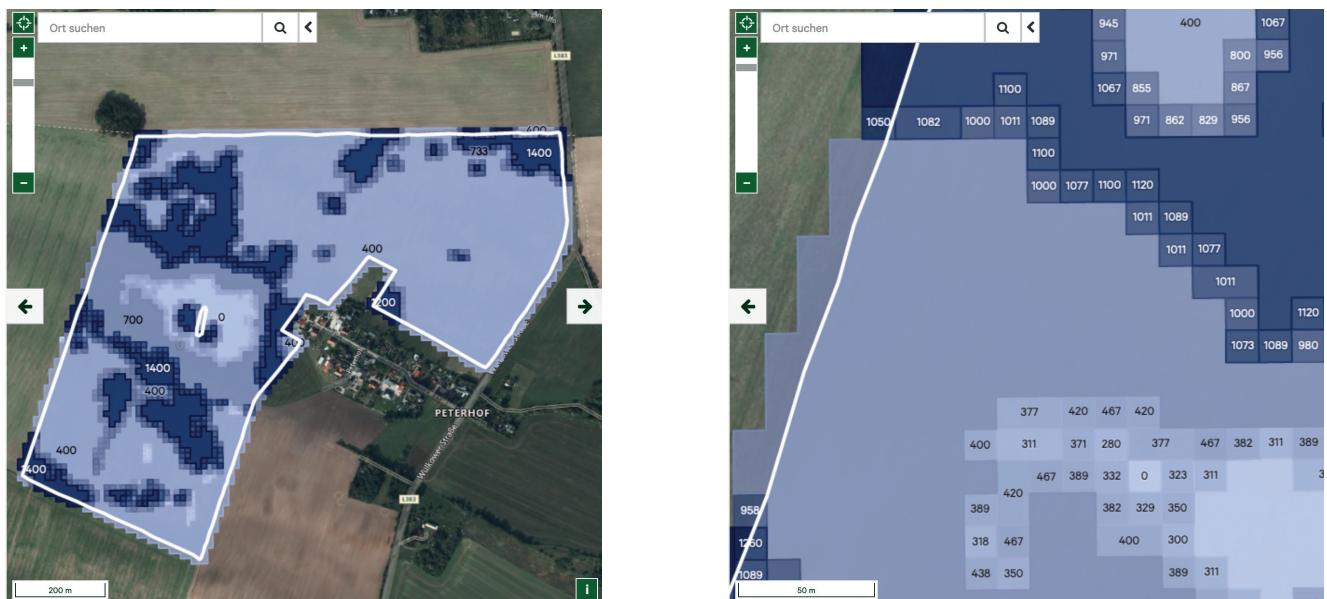


Abbildung 10: Beispiel für eine CaO-Streukarte

Bei näherer Betrachtung sind die einzelnen 12x12 m Zellen (Pixel) mit den jeweiligen CaO-Bedarfsmengen in kg/ha erkennbar.

Wird die Streukarte als Shape-Datei erstellt und eine andere Ausrichtung als die Standardeinstellung in Nord-Süd-Richtung gewünscht, so muss hier zunächst die richtige Fahrspur-Datei ausgewählt werden, bevor die Berechnung starten kann.

Wählen Sie mit **Ausrichtung an Fahrspur** aus und klicken anschließend auf **Datei auswählen**. Fügen Sie nun die entsprechende Fahrspur hinzu, an der sich die Ausrichtung der Streukarte und später der Applikationskarte orientieren sollen. Im Beispiel (Abb. 11) handelt es sich um eine Shape-Datei (siehe auch Kap. 4).

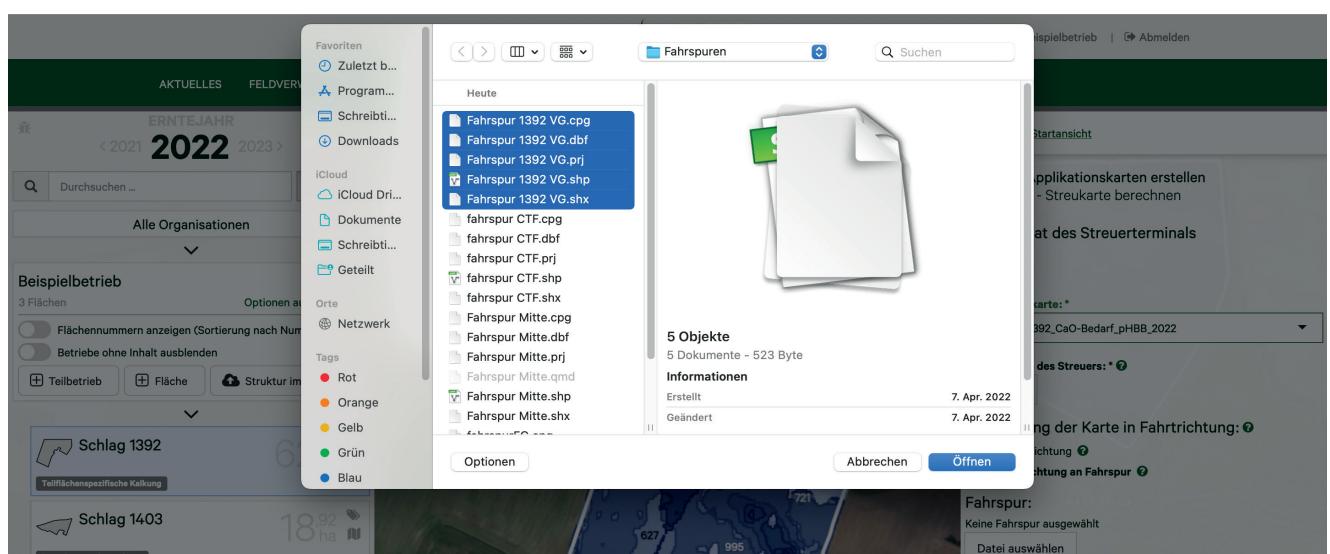


Abbildung 11: Auswahl einer AB-Linie für die Streukartenausrichtung

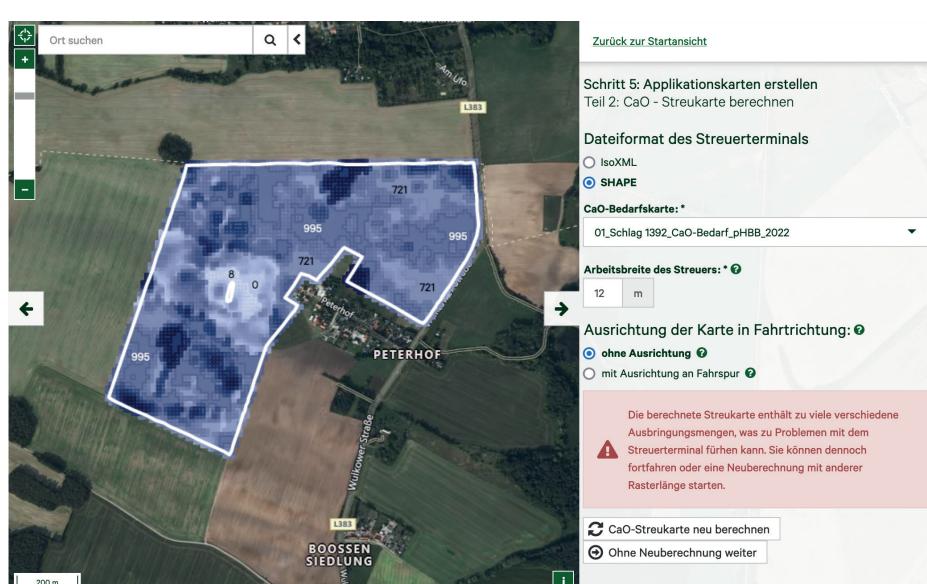
55 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

Nach dem Hochladen der Fahrspur-Datei kann die Berechnung gestartet werden und das Ergebnis einer ausgerichteten CaO-Streukarte ist in Abb. 12 zu sehen. Statt einer Nord-Süd-Ausrichtung der Rasterzellen ist die CaO-Streukarte an die vorgegebene Leitlinie und die westliche Schlagkante angepasst. Die Leitlinie ist als orangefarbener Strich in der folgenden Abbildung erkennbar.



Abbildung 12: Streukarte mit eingefügter Leitlinie

Unter Umständen kann es vorkommen, dass die berechnete Streukarte sehr viele verschiedene Ausbringmengen enthält, insbesondere wenn für die CaO-Bedarfskarte der stufenlos nach pH-BB Algorithmus genutzt wurde. In diesem Fall erscheint ein entsprechender Hinweis und es besteht die Möglichkeit, die Zellgröße (Pixelgröße) zu verändern und eine Neuberechnung zu starten. Es ist aber auch möglich mit der berechneten CaO-Streukarte fortzufahren. Die Auflösung des Rasters ist abhängig von dem eingesetzten Bedienterminals des Streuers.



56 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.3 Kalkapplikationskarte berechnen

[Zurück zur Flächenübersicht](#)

pH-BB

Hilfetexte anzeigen

Schritt 1: Sensorpunktdata hochladen und interpolieren

Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen

Schritt 3: Laborergebnisse hochladen

Schritt 4: Bodenkarten erstellen

Schritt 5: Applikationskarten erstellen

Teil 1:	<input type="button" value="CaO - Bedarfskarte berechnen"/>
Teil 2:	<input type="button" value="CaO - Streukarte berechnen"/>
Teil 3:	<input type="button" value="Kalkapplikationskarte berechnen"/>



9.3.1 Allgemeines

In diesem letzten Schritt der Prozesskette „präzise Kalkung“ wird die Kalkapplikationskarte berechnet, die für die teilflächenspezifische Kalkausbringung auf das Streuerterminal der Maschine geladen wird. Die CaO-Streukarte für Ihren Schlag wird mit dem zu verwendenden Dünger verrechnet und Sie erhalten schließlich die tatsächlichen Ausbringmengen des ausgewählten Kalkdüngers.

57 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

9.3.2 Vorgehen

Wählen Sie Ihre vorher erstellte CaO-Streukarte, die als Basis für die Applikationskarte dienen soll. Anschließend wählen Sie einen Dünger aus.

 **Tipp:**

Es gibt viele verschiedene Kalkdünger, die sich in Art der Herkunft, der Bindungsform der basisch wirksamen Verbindungen (Neutralisationswirkung), der Wirkungsgeschwindigkeit (Reaktivität), der Streufähigkeit und den enthaltenden Nebenbestandteilen unterscheiden. In der Software ist bereits eine Vielzahl gängiger Kalkdünger gespeichert, was Ihnen das händische Eintragen der basisch wirksamen Bestandteile erspart. Die Suchfunktion ermöglicht ein schnelle Auswahl des gewünschten Düngers.

[Zurück zur Startansicht](#)

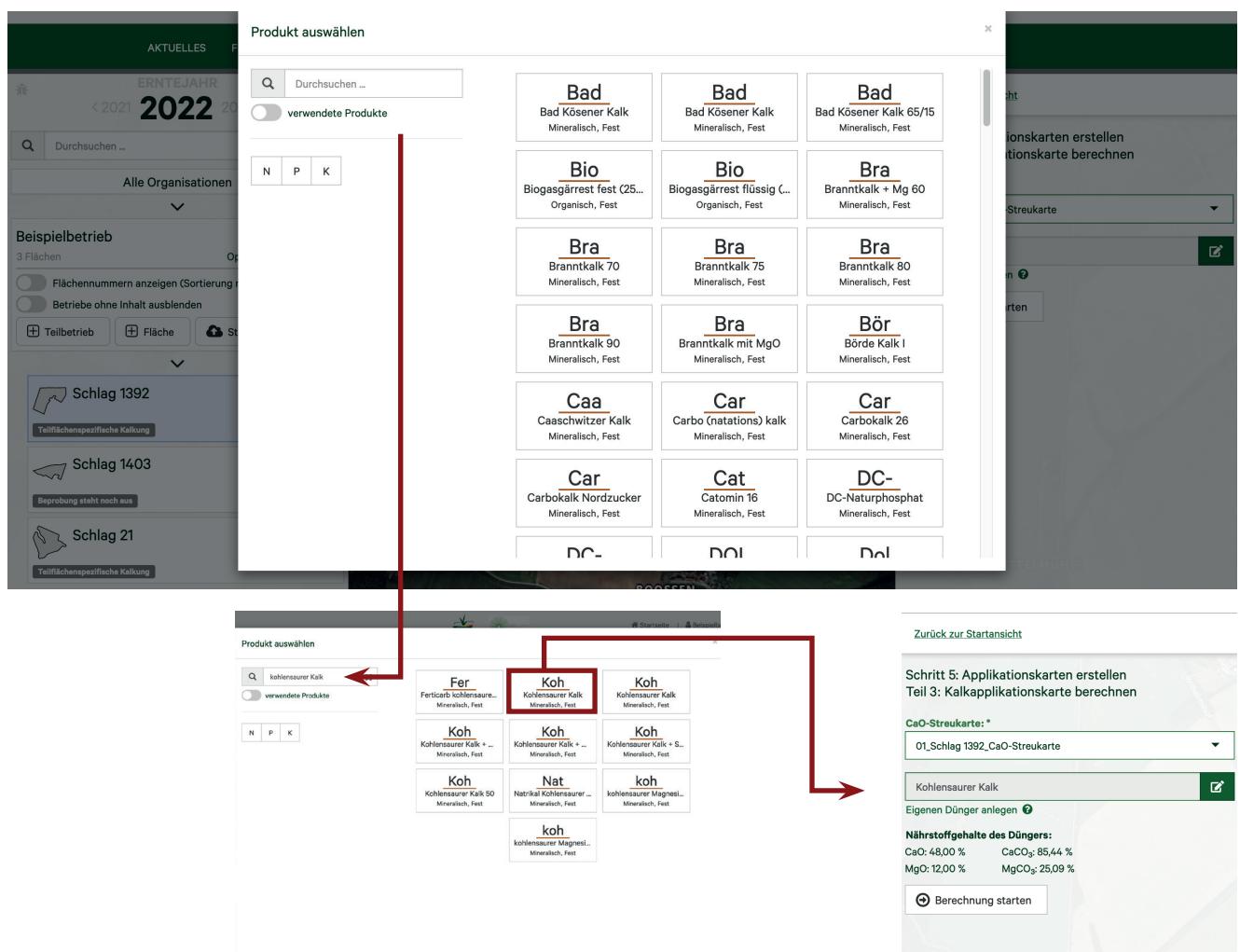
Schritt 5: Applikationskarten erstellen Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen

CaO-Streukarte: *

Keine Auswahl

Eigenen Dünger anlegen [?](#)

 Berechnung starten



The screenshot illustrates the workflow for creating a lime application map. It shows two main windows side-by-side. On the left, a 'Produkt auswählen' (Product selection) dialog is open, displaying a grid of various lime products categorized by brand (Bad, Bio, Bra, Caa, Car, Cat, DC-) and type (e.g., Bad Köserer Kalk, Mineralisch, Fest). A red arrow points from the search bar in this dialog to the search bar in the main application window on the right. The main application window shows the 'Schritt 5: Applikationskarten erstellen Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen' (Step 5: Create application maps Part 3: Calculate lime application map) screen. It includes fields for 'CaO-Streukarte:' (lime application map), a checkbox for 'Eigenen Dünger anlegen' (Create own fertilizer), and a 'Berechnung starten' (Start calculation) button. Below these, detailed fertilizer information is provided: 'Kohlensaurer Kalk' (calcium carbonate), 'Nährstoffgehalte des Düngers:' (fertilizer nutrient content), and 'CaO: 48,00 %', 'CaCO₃: 85,44 %', 'MgO: 12,00 %', 'MgCO₃: 25,09 %'. A second red arrow points from the selected product 'Kohlensaurer Kalk' back to the main application window's input field.

58 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

Ist der entsprechende Dünger nicht hinterlegt, so können Sie einen **eigenen Dünger anlegen**.

Dieser wird gespeichert und kann somit auch für zukünftige Aufträge und Berechnungen verwendet werden.

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen

CaO-Streukarte: *

01_Schlag 1392_CaO-Streukarte

Gespeicherten Dünger verwenden 

Name des Düngers: *

Ca als CaO: *

0 %

Mg als MgO: *

0 %

CaCO₃ und MgCO₃ angeben

Der Dünger wird in den Stammdaten gespeichert und kann in Zukunft verwendet werden

 Berechnung starten

Die Ausbringmengen lassen sich bei Bedarf unmittelbar nach dem Berechnen der Applikationskarte noch einmal anpassen. So können die Minimal- und Maximalmengen je Hektar verändert werden. Wenn Sie auf **Ausbringmengen bearbeiten** klicken, kann beispielsweise der Wert für die Maximalmenge Dünger herabgesetzt werden. Dies kann sinnvoll sein, wenn Sie nur eine begrenzte Menge Kalk je Fläche auf einmal ausbringen möchten oder der Kalkstreuer aufgrund technischer Einschränkungen die Maximalmenge nicht in einer einzelnen Überfahrt ausbringen kann.

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen
Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen

Ausbringmengen

Minimalmenge Dünger

0 kg/ha

Maximalmenge Dünger

3972 kg/ha

Mittelwert Dünger

1.468,91 kg/ha

Gesamtbedarf für diese Fläche

973887 kg/ha

 Ausbringmengen bearbeiten

min.(0kg/ha)

max.(3972kg/ha)

Die Applikationskarte wurde erfolgreich berechnet. Sie können diese hier und in der Kartenverwaltung herunterladen

 Karte herunterladen

[zur Kartenverwaltung](#)

Abbildung 13: Ausbringmenge unbearbeitet

59 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

Im Beispiel wurde die Maximalmenge auf 2000 kg/ha gesetzt. Teilflächen, die höhere Ausbringmengen von bis zu knapp 4000 kg/ha bedürfen (siehe Abb. 13), werden nun auf 2000 kg/ha reduziert (Abb. 14).

Für den **Gesamtbedarf für diese Fläche** darf dabei nichts eingegeben werden, dieses Feld muss leer sein. Die Karte kann anschließend mit den aktualisierten Werten neu berechnet werden. Es wird keine zweite Applikationskarte für Restmengen berechnet.

[Zurück zur Startansicht](#)

Schritt 5: Applikationskarten erstellen Teil 3: Kalkapplikationskarte berechnen

Ausbringmengen

Minimalmenge Dünger

0	kg/ha
---	-------

Maximalmenge Dünger

2000	kg/ha
------	-------

Mittelwert Dünger

1.468,91	kg/ha
----------	-------

Gesamtbedarf für diese Fläche

	kg/ha
--	-------

Ausbringmengen speichern und Karte neu berechnen

min.(0kg/ha) max.(2000kg/ha)

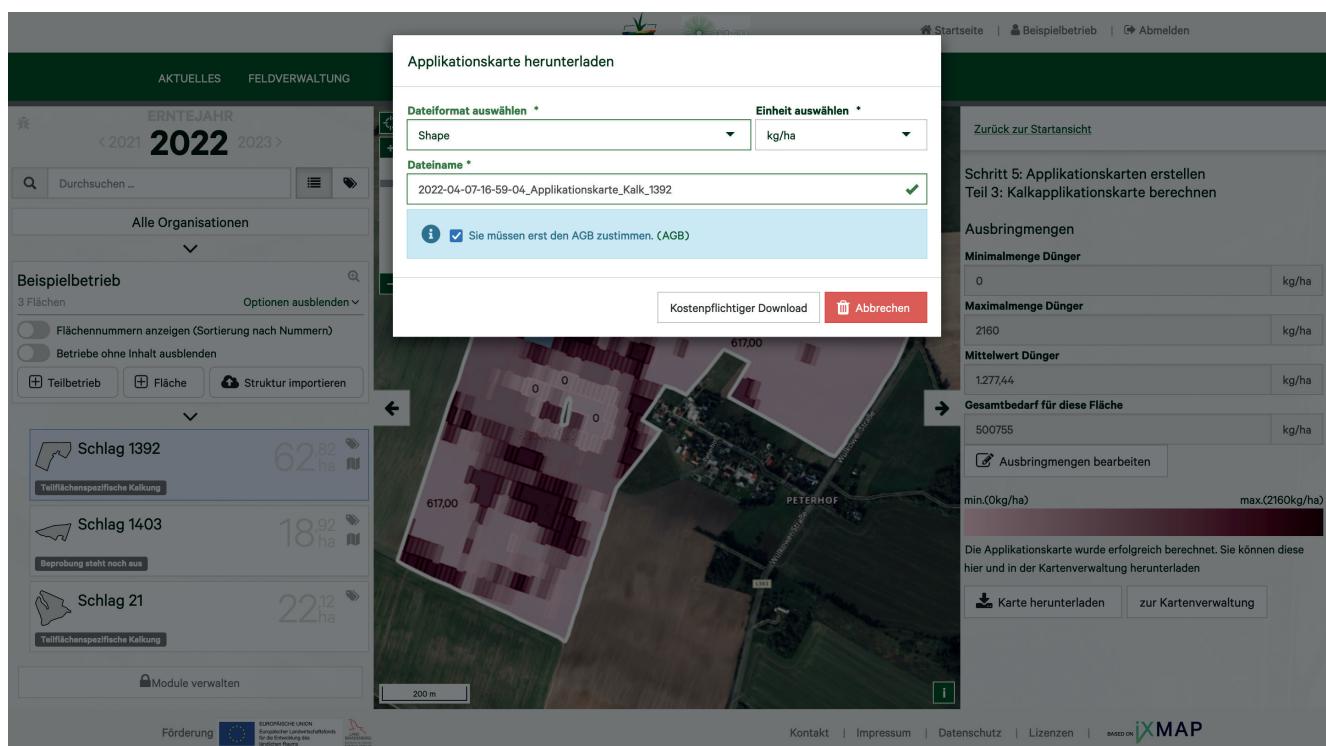
Die Applikationskarte wurde erfolgreich berechnet. Sie können diese hier und in der Kartenverwaltung herunterladen

[Karte herunterladen](#)

[zur Kartenverwaltung](#)

Abbildung 14: bearbeitete Ausbringmengen

War die Berechnung erfolgreich, kann die Kalkapplikationskarte in verschiedenen Formaten und für verschiedene Plattformen heruntergeladen werden. Das Dateiformat ist frei wählbar und in der Kartenverwaltung, wo die Applikationskarte ebenfalls gespeichert wird, gibt es die Möglichkeit für einen direkten **Applikationskarten-Transfer**. Wurde die Ausbringmenge bearbeitet, sind beide Kartenvarianten in der Kartenverwaltung hinterlegt.



60 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)

Es sind Verknüpfungen zum Fendt Vario-Doc, zu OSB und exatrek vorhanden, um die Karte direkt in die im Betrieb genutzte Plattform zu exportieren. Dies ist nicht für alle NutzerInnen frei verfügbar und kann zusätzlich vereinbart werden.

Diese Verknüpfungen finden Sie in der Kartenverwaltung unter **Applikationskarten → pH BB**.

Zurück zum Dashboard

Kartenverwaltung

Zonenkarten Keine Karten

Applikationskarten 3 Karten

Karten gruppieren nach: Modul: Keine Auswahl Kultur: Keine Auswahl Datum:

Karten filtern nach:

ph BB 3 Karten

2022-04-07_01_Schlag 1392_Kalkapplikationskarte_ 7. April 2022 16:57 2022-04-01_Schlag 1392_Kalkapplikationskarte_ 1. April 2022 15:30 2022-04-01_Schlag 1392_Kalkapplikationskarte_ 1. April 2022 15:28

Bodenkarten 39 Karten

Biomassekarten Keine Karten



Hinweis:

Gabenteilung

Bei einem sehr hohen Kalkbedarf ist die Kalkung in zwei Gaben auf verschiedene Jahre aufzuteilen. In diesem Fall wird der Algorithmus selbstständig zwei Applikationskarten erstellen, ohne dass Sie aktiv werden müssen.

In den Abb. 15-18 sehen Sie beispielhaft die pH-Wert-Karten und die CaO-Bedarfskarten eines Schlags vor der teilflächenspezifischen Kalkung im Jahr 2018 und danach im Jahr 2021. Die pH-Werte sind mit der teilflächenspezifischen Kalkung angehoben worden und der Bedarf, welcher im Jahr 2018 noch eine hohe Streuung aufwies, wurde ausgeglichen. In der Folge ist der CaO-Bedarf für den gesamten Schlag auf 0 zurückgegangen.

61 | Applikationskarten erstellen (Schritt 5)



Abbildung 15: kalibrierte pH-Karte Schlag 1392 in Booßen 2018



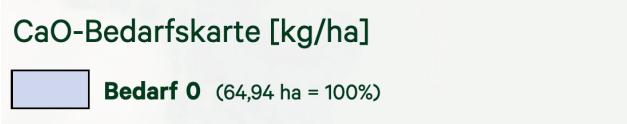
Abbildung 16: kalibrierte pH-Karte Schlag 1392 in Booßen 2021



Abbildung 17: berechnete CaO-Bedarfskarte auf Basis der pH-Karte mit stufenlos Algorithmus 2018



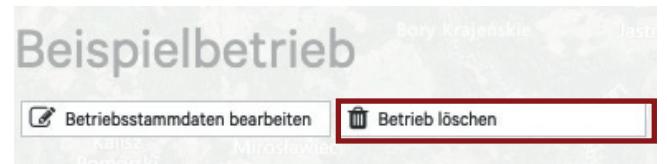
Abbildung 18: berechnete CaO-Bedarfskarte auf Basis der pH-Karte mit stufenlos Algorithmus 2021



62 | Löschen von Betrieben/Flächen

10 Löschen von Betrieben/Flächen

Das Löschen von Betrieben oder Flächen ist jederzeit über den Arbeitsbereich möglich. Wählen Sie den gewünschten Betrieb, Teilbetrieb oder die Fläche, die Sie löschen möchten im Organisationsbereich aus. Im Arbeitsbereich erscheint nun, je nach Auswahl, die Option **Fläche löschen** oder **Betrieb löschen**.



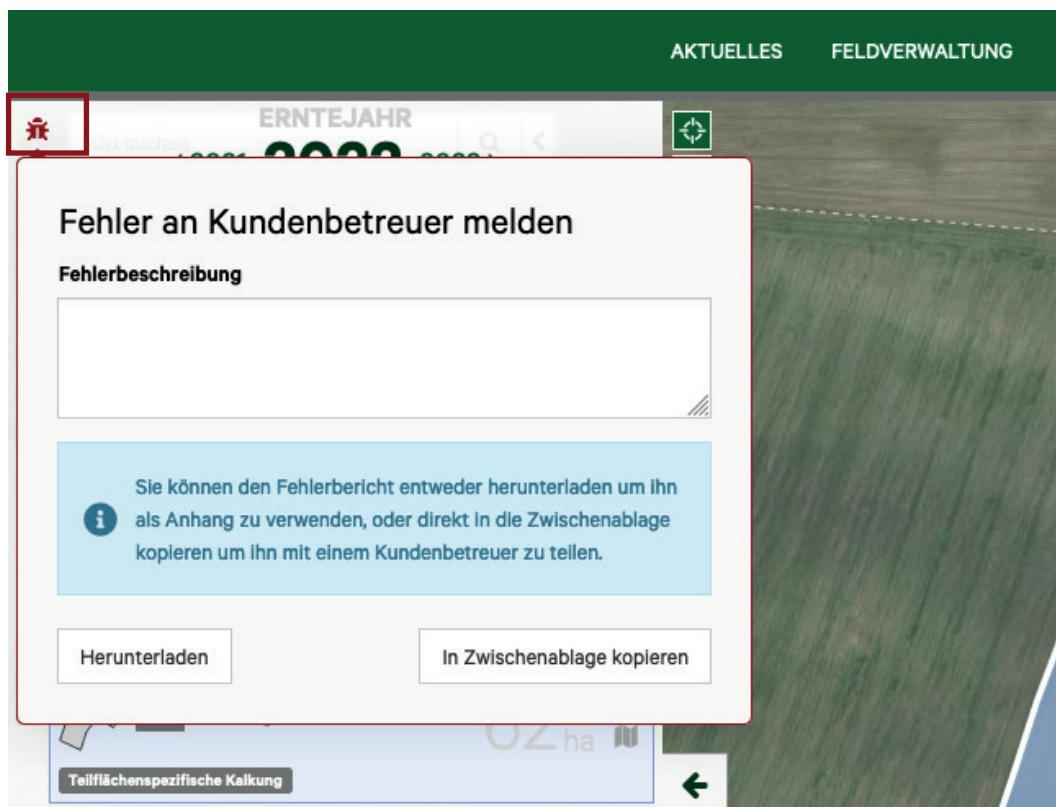
Hinweis:

Dieser Schritt kann nicht rückgängig gemacht werden und mit dem Betrieb werden alle dazugehörigen Flächen entfernt.

63 | Bugs melden/Fehler melden

11 Bugs melden/Fehler melden

Treten während der Softwarenutzung Probleme oder Fehler auf, können diese über ein Formular schnell und unkompliziert gemeldet werden. Auf diese Weise leisten Sie einen wichtigen Beitrag dazu die Anwendung schnellstmöglich zu verbessern. Hierfür im Textfeld Fehlerbeschreibung notieren und anschließend herunterladen, um diese als Anhang zu verwenden, oder alternativ in die Zwischenablage kopieren und anschließend teilen.



Link zum Projekt

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

Kontaktmöglichkeit

Ingmar Schröter: ingmar.schroeter@hnue.de

Eric Bönecke: eric.boenecke@igzev.de

I. Bodenschätzungsdaten über GEOBROKER herunterladen

Seit Januar 2020 stellt die LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg) sämtliche Geobasisdaten kostenfrei zur Verfügung. Unter geobroker.geobasis-bb.de/ sind die Informationen zur Bodenschätzung für ganz Brandenburg abrufbar. Die Daten liegen allerdings nicht im Shape-Format vor, sondern als NAS (Normbasierte Austauschschnittstelle) und müssen konvertiert werden, da die Daten in diesem Format nicht in die pH-BB Software importiert werden können. Dies kann beispielsweise in QGIS geschehen. Zum Herunterladen von Daten aus dem Geobroker ist ein kostenloses Benutzerkonto anzulegen. Die digitale Datenbereitstellung über automatisierte Abrufverfahren bzw. Selbstentnahme ist unentgeltlich. Nach dem Aufrufen der Internetseite des GEOBROKERS gelangen Sie über den Menüpunkt **Liegenschaftskataster** zu den **ALKIS-Daten**, in denen die Bodenschätzungsdaten eingebettet sind.

Wählen Sie **Weiter zum Bestellvorgang** aus.

Startseite / ALKIS-Daten - Produktmetadaten

Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS-Daten)

Liegenschaftskataster

Download benutzerkonfiguriert Download WFS / WCS View WMS

Das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) enthält die Geobasisdaten der Liegenschaften. ALKIS vereint die bisher getrennt und mehrfach gespeicherten Daten des Automatisierten Liegenschaftsbuches (ALB) und der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in einem Datenmodell. Dies sind im Wesentlichen Objektbereiche wie Flurstücke, Gebäude, Flächen der tatsächlichen Nutzung, Flächen der Bodenschätzung und Eigentümer. Diese Objektbereiche können sowohl komplett als auch einzeln bestellt werden. Die ALKIS-Daten bilden die Grundlage für alle Geoinformationssysteme, die auf eigentumsrechtlich verbindliche, aktuelle und genaue Daten im großmaßstäbigen Bereich angewiesen sind und bieten dem Nutzer die Möglichkeit der flexiblen fachlichen und geometrischen Selektion. Die Modellierung der ALKIS-Daten erfolgt nach den Vorschriften der GeolInfoDok in der Version 6.0.1 der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Die Daten werden grundsätzlich im NAS-Format und bei wiederkehrenden Aktualisierungen als Differenzdaten im NBA-Verfahren abgegeben. Die Daten werden über automatisierte Verfahren kostenfrei bereitgestellt. Für Eigentümerdaten ist ein berechtigtes Interesse nachzuweisen. Für die Prüfung dieser Interessen wird ein Entgelt erhoben. Bei Nutzung der Eigentümerdaten sind die AGNB der LGB zu beachten.

Weitere Informationen erhalten Sie auf dieser Seite

Zurück

Downloadseite Weiter zum Bestellvorgang

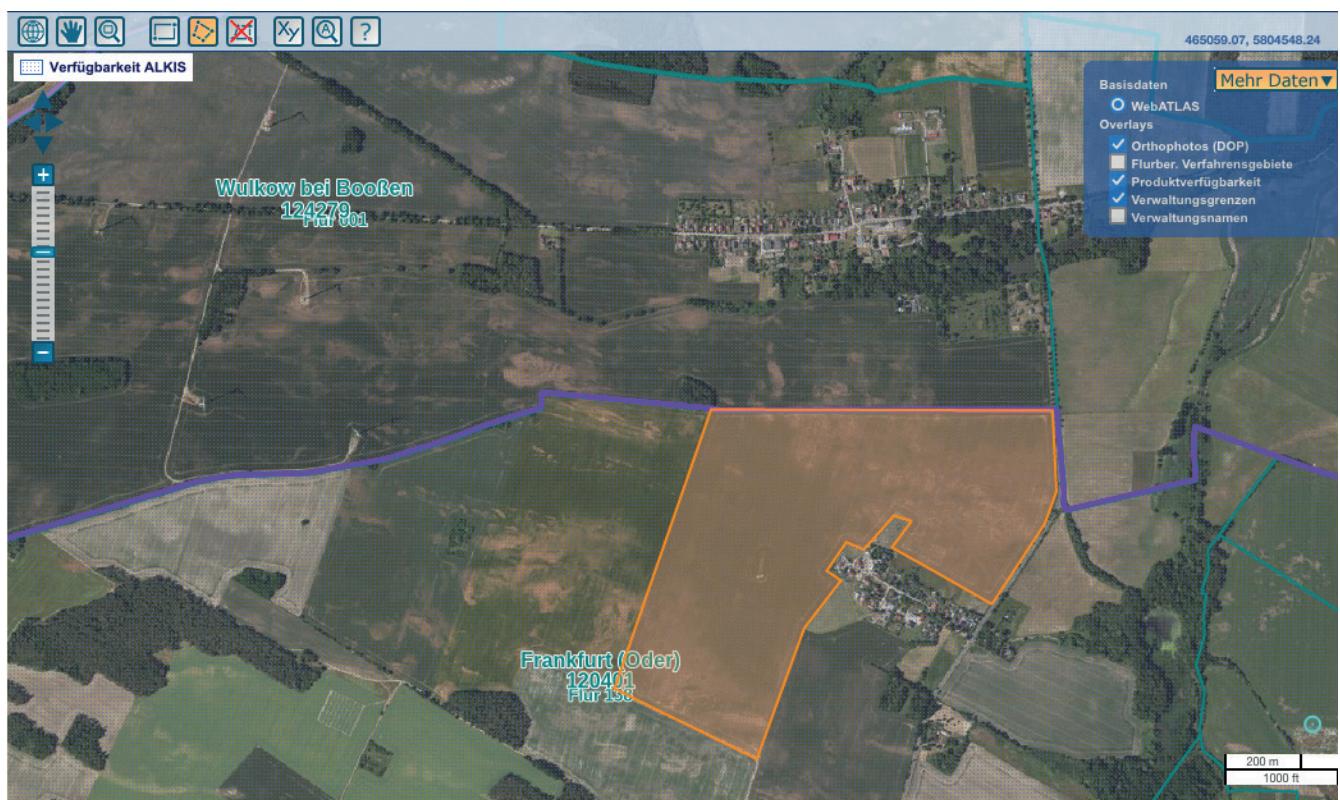
In der Kartenansicht lässt sich nun das gewünschte Gebiet auswählen, beziehungsweise einzeichnen. Zur Vereinfachung empfiehlt es sich, den **Orthophoto**-Layer mitanziegen zu lassen, so sind Bewirtschaftungs- oder Feldgrenzen besser zu erkennen und der Ausschnitt der herunterzuladenden Bodenkarte kann direkt als Polygon angepasst werden. Alternativ kann dies auch in einem späteren Schritt in einem Geoinformationssystem, wie QGIS geschehen und es wird im Geobroker das Auswahlrechteck verwendet. Wenn die Bodenschätzung für mehrere Ackerflächen gebraucht wird, kann auch ein größeres Auswahlrechteck gesetzt werden, in welchem sich all diese Flächen befinden. Dieses muss dann im GIS in die Einzelschläge zerlegt und zugeschnitten werden.



Hier das Häkchen zusätzlich bei dem Layer ***Orthophotos (DOP)*** setzen, so wird das Luftbild sichtbar.



Ansicht des ausgewählten Polygons (orange markiert). Die Fläche kann nun als Auftrag abgeschickt werden.

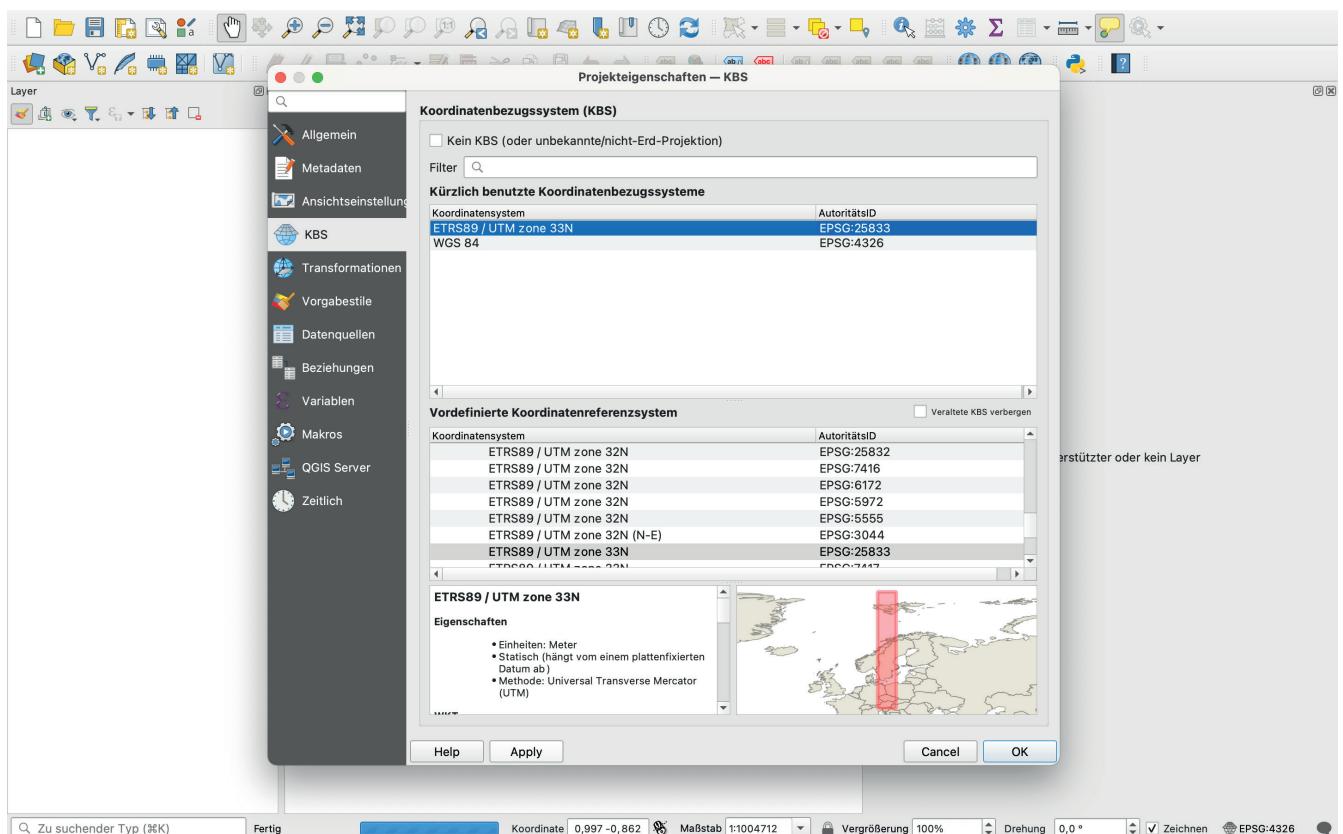


Nachdem Sie auf ***Datenauftrag erzeugen*** geklickt haben, wählen Sie den ***Datensatz 'Bodenschätzung'*** aus. Die übrigen Datensätze sind hier nicht von Interesse. Nach dem Prüfen der Eingaben ist die Bestellung bereit zur Durchführung. Im Downloadcenter wird der Auftrag sichtbar und nach einer kurzen Bearbeitungszeit verfügbar zum Herunterladen, je nach Umfang des Auftrages.

Position	Kurzname	Lizenzinformationen
1	ALKIS-Daten	dl-de/by-2-0, Bereitsteller: GeoBasis-DE / LGB
Ausgabeformat		
<input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;" type="button" value="NAS"/>		
<input type="checkbox"/> mehr Infos [+]		
<input type="checkbox"/> mehr Infos [+]		
<input type="checkbox"/> mehr Infos [+]		
<input checked="" type="checkbox"/> mehr Infos [+]		
<input type="checkbox"/> mehr Infos [+]		
<input style="width: 150px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;" type="button" value="-- bitte auswählen --"/> mehr Infos [+]		
<input style="width: 150px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;" type="text" value="E-Mail"/> mehr Infos [+]		
Flächengröße 1.00 km ²		
<input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;" type="button" value="Zurück"/>		<input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px 10px;" type="button" value="Eingabe prüfen"/>

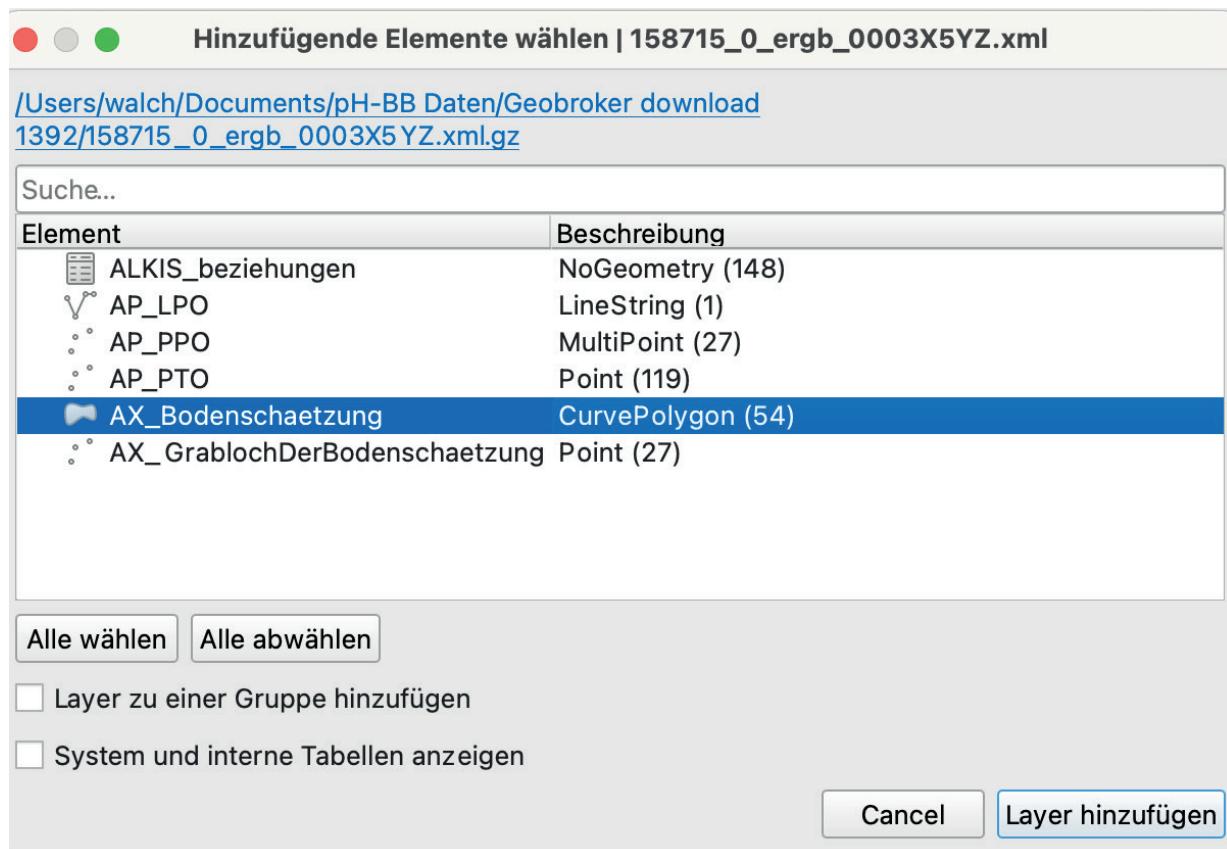
II. Importieren in QGIS

Der Download besteht aus einer XML-Datei in einem ZIP-Ordner. Dieser lässt sich per Drag & Drop unkompliziert in QGIS importieren und muss vorher nicht entpackt werden. Stellen Sie sicher, dass das richtige Koordinatenbezugssystem eingestellt ist (hier für Ostbrandenburg EPSG:25833), andernfalls kommt es zu Verschiebungen oder die importierten Layer sind nicht sichtbar.

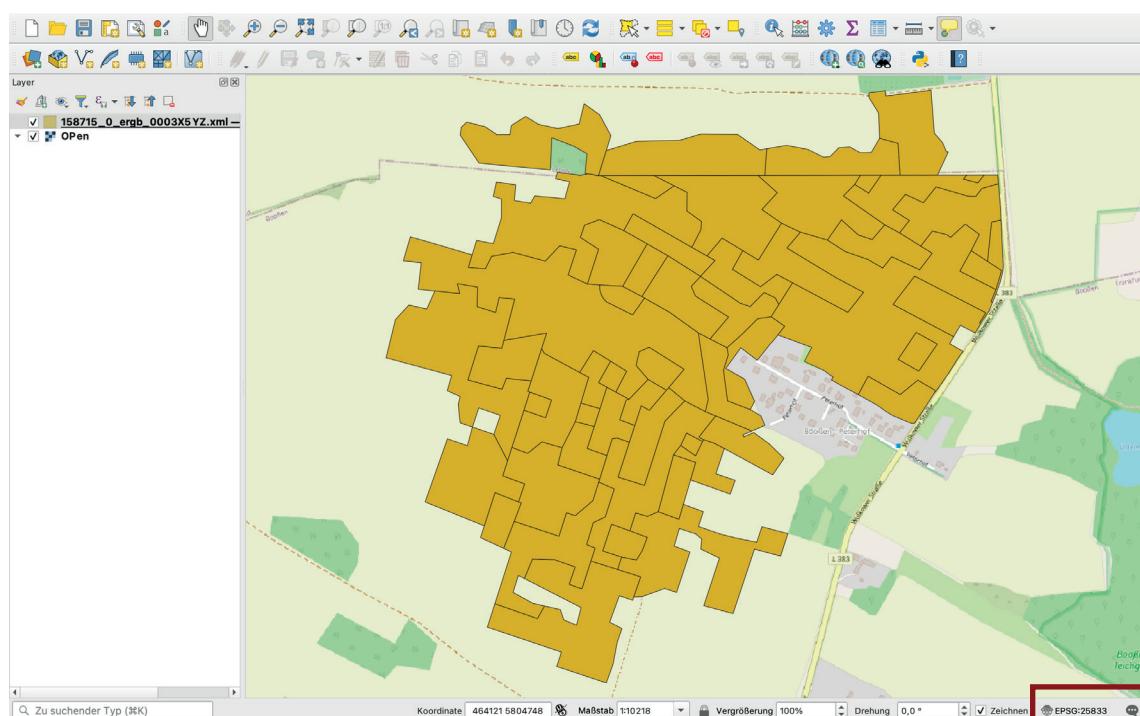


67 | Anhang

Als zu importierendes Element genügt für diesen Anwendungsfall der Layer, in welchem die Bodenschätzungsdaten gespeichert sind. Klicken Sie auf **Layer hinzufügen**.



Es empfiehlt sich eine Hintergrundkarte einzubinden, notwendig ist es allerdings nicht. Im Beispiel wurde die OpenStreetMap verwendet. Wenn Sie GoogleMaps (EPSG Code 3857) oder eine andere Hintergrundkarte einbinden, kann es sein, dass das Koordinatenbezugssystem geändert werden muss.

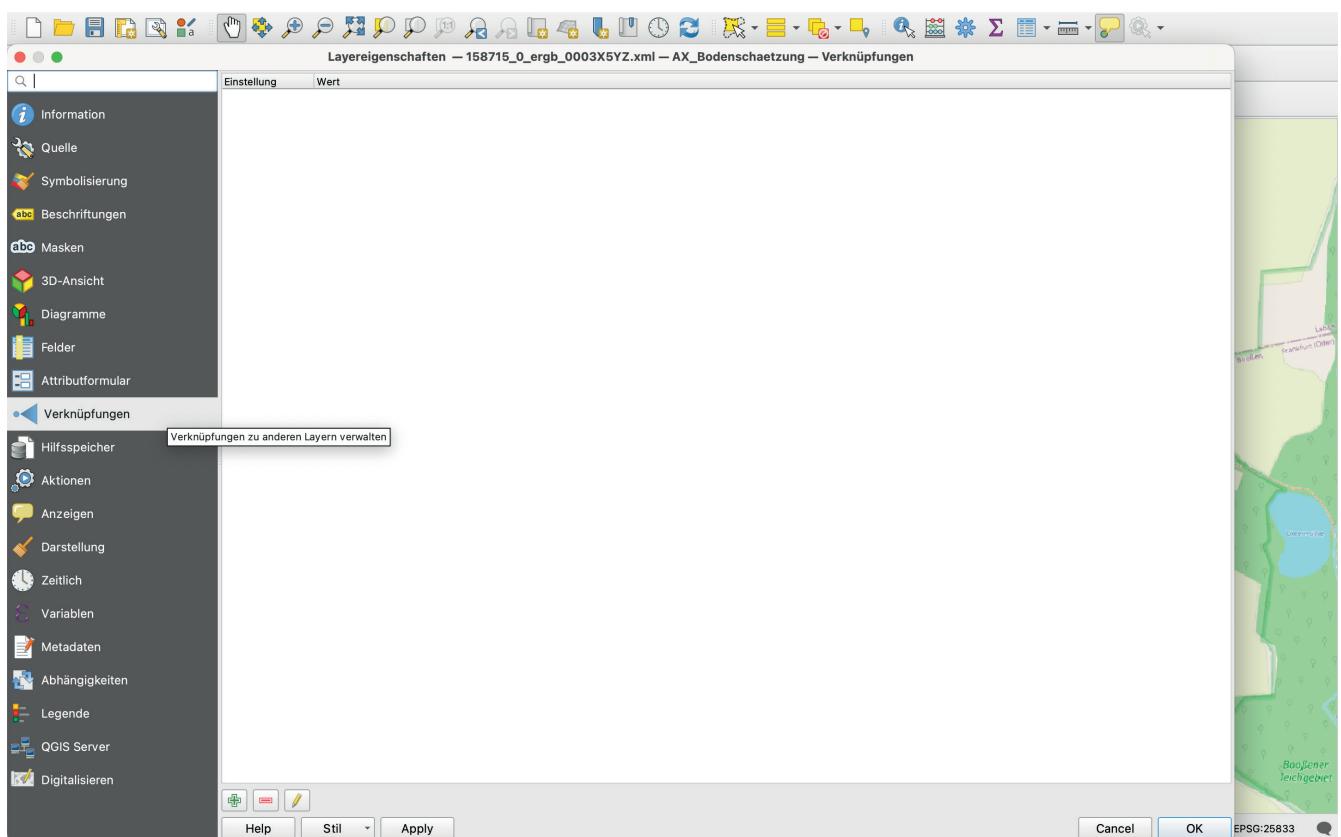


III. Verknüpfen der Geometrie in QGIS (Table Join)

Der Vektorlayer, der aus dem Geobroker heruntergeladen wurde, besitzt in der Attributabelle statt Buchstabenkennzeichnung für die Bodenarten lediglich einen vierstelligen Zahlencode. Dieser muss mit einer weiteren Datei übersetzt werden, in welcher für jeden Zahlencode die entsprechende Übersetzung in die Bezeichnungen der Bodenschätzung vorhanden ist. Diese Datei ist auf der Homepage des pH-BB-Projekts als Download hinterlegt und gilt universell für alle Bodenschätzungsdaten aus dem GEOBROKER in Brandenburg.

Importieren Sie diesen „Übersetzungsschlüssel“, der als CSV-Datei vorliegt per Drag & Drop in QGIS und klicken Sie dann per Doppelklick auf den Vektorlayer aus dem GEOBROKER. Im sich öffnenden Eigenschaftenmenü wählen Sie **Verknüpfungen**.

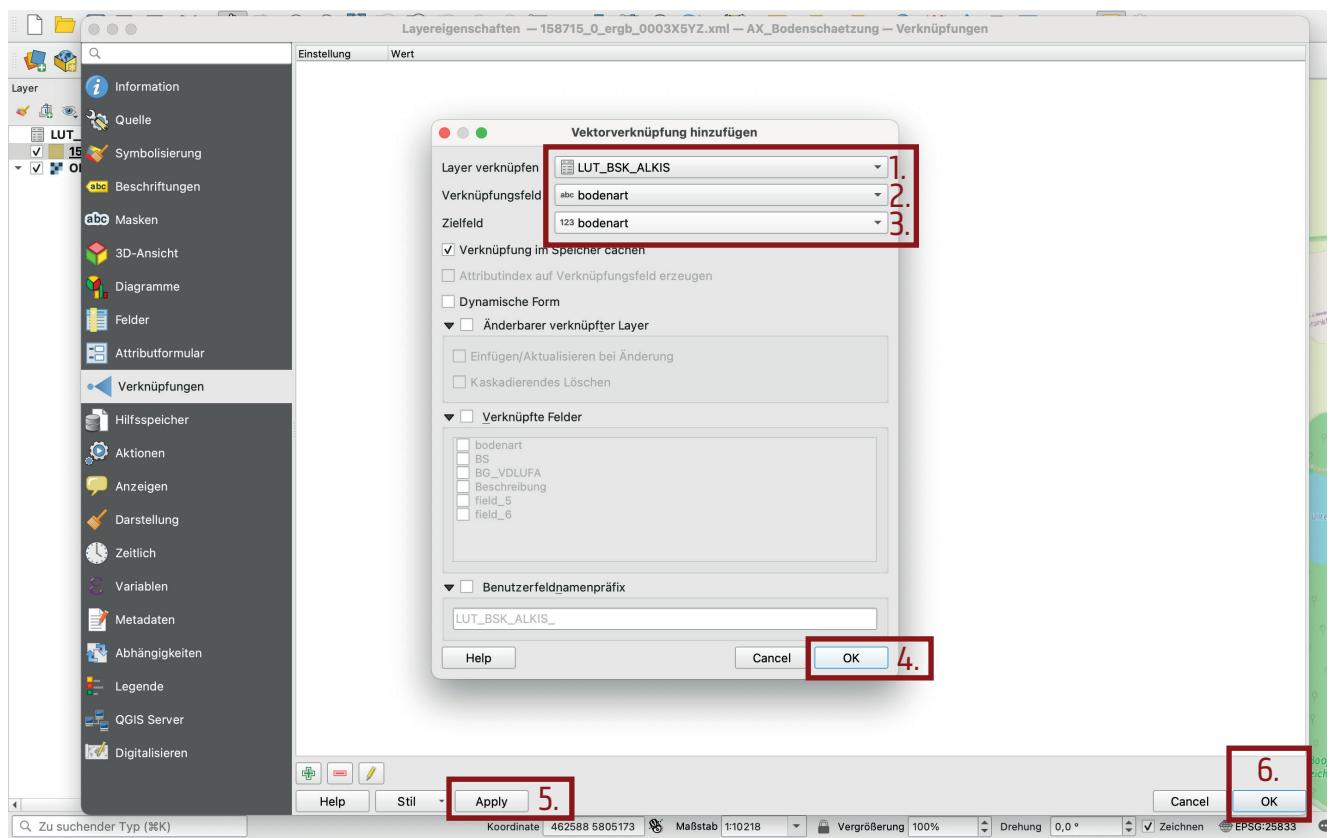
Starten Sie die Tabellenverknüpfung des Bodenschätzungsdatenlayers mit der CSV-Datei, indem Sie das grüne Plussymbol anklicken (Table Join).





Hinweis:

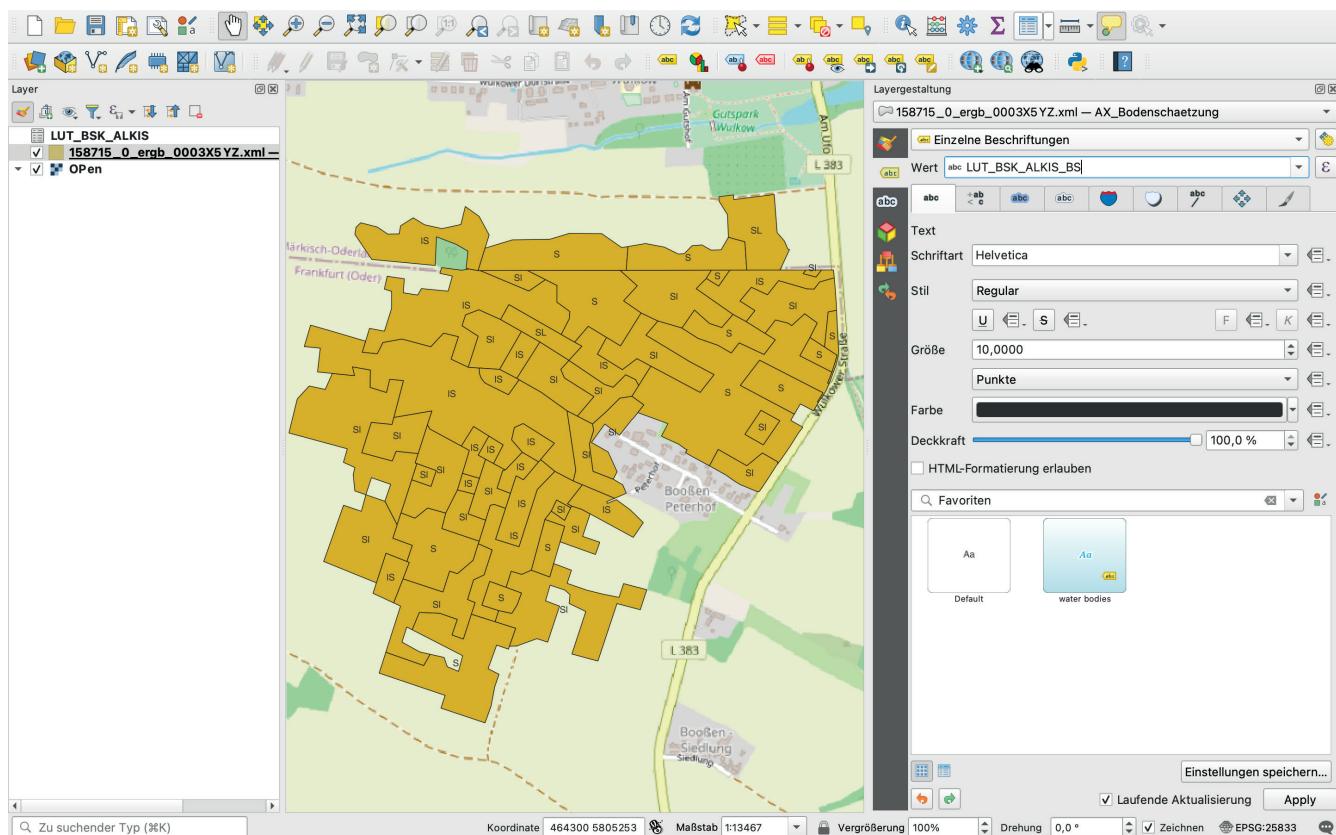
Es ist entscheidend hier die richtigen Angaben bei der Verknüpfung zu machen, da andernfalls der Table Join nicht funktioniert. Als zu verknüpfenden Layer (1.) die CSV-Datei LUT_BSK_ALKIS wählen. Im Verknüpfungsfeld (2.) das Attribut **bodenart** wählen und (3.) im Zielfeld ebenfalls **bodenart** wählen, allerdings das Attribut aus dem BodenschätzungsLayer. Zum Beenden auf (4.) **OK** klicken und das kleinere Pop-Up-Fenster schließt sich. Anschließend auf (5.) **Apply** klicken, damit die Verknüpfung durchgeführt wird und erst danach auf (6.) **OK** zum finalen Bestätigen. Nun ist der Attributabelle des Layers die Bodenschätzungspspalte angefügt.



Dies kann kontrolliert werden, indem Sie die Attributabelle über Rechtsklick auf den Layer oder in der Taskleiste aufrufen. Eine anschaulichere Variante ist es, die Layergestaltung zu ändern. Diesen Schritt können Sie auch überspringen und direkt mit dem Zuschneiden des Layers beginnen. Die Bodenschätzungsmappe muss noch an die tatsächliche Feldgrenze, die auch in der pH-BB-Toolbox verwendet wird, angepasst werden.

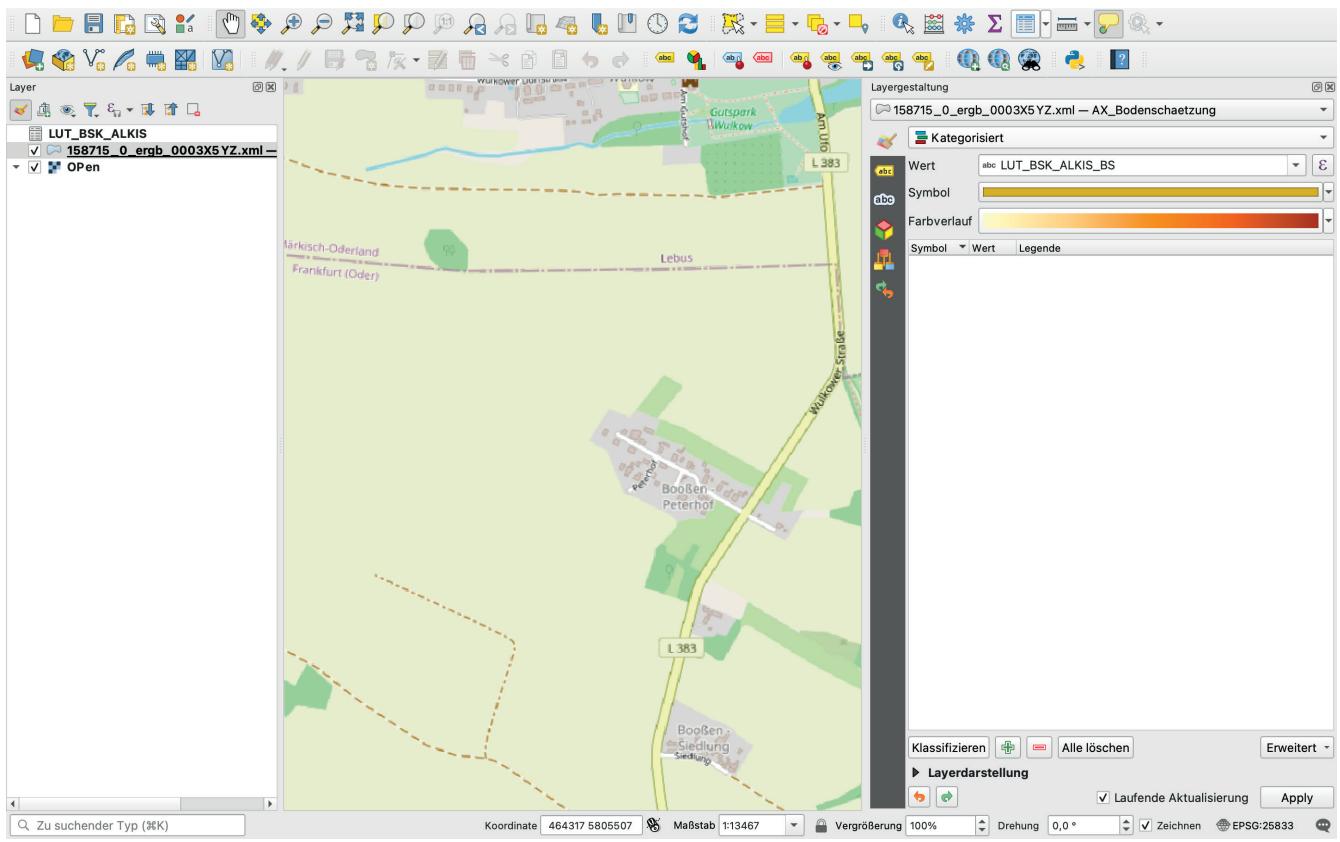
IV. Layergestaltung (optional)

Für die Layergestaltung wählen Sie **Layerbeschriftungseinstellungen** und ändern Sie die Beschriftung des Bodenschätzungslayers auf **einzelne Beschriftungen**. Als Wert muss dann das Attribut LUT_BSK_ALKIS_BS ausgewählt werden. Waren die Vorgänge erfolgreich sind nun die Bodenschätzungsgruppen, wie in folgendem Bild, sichtbar.

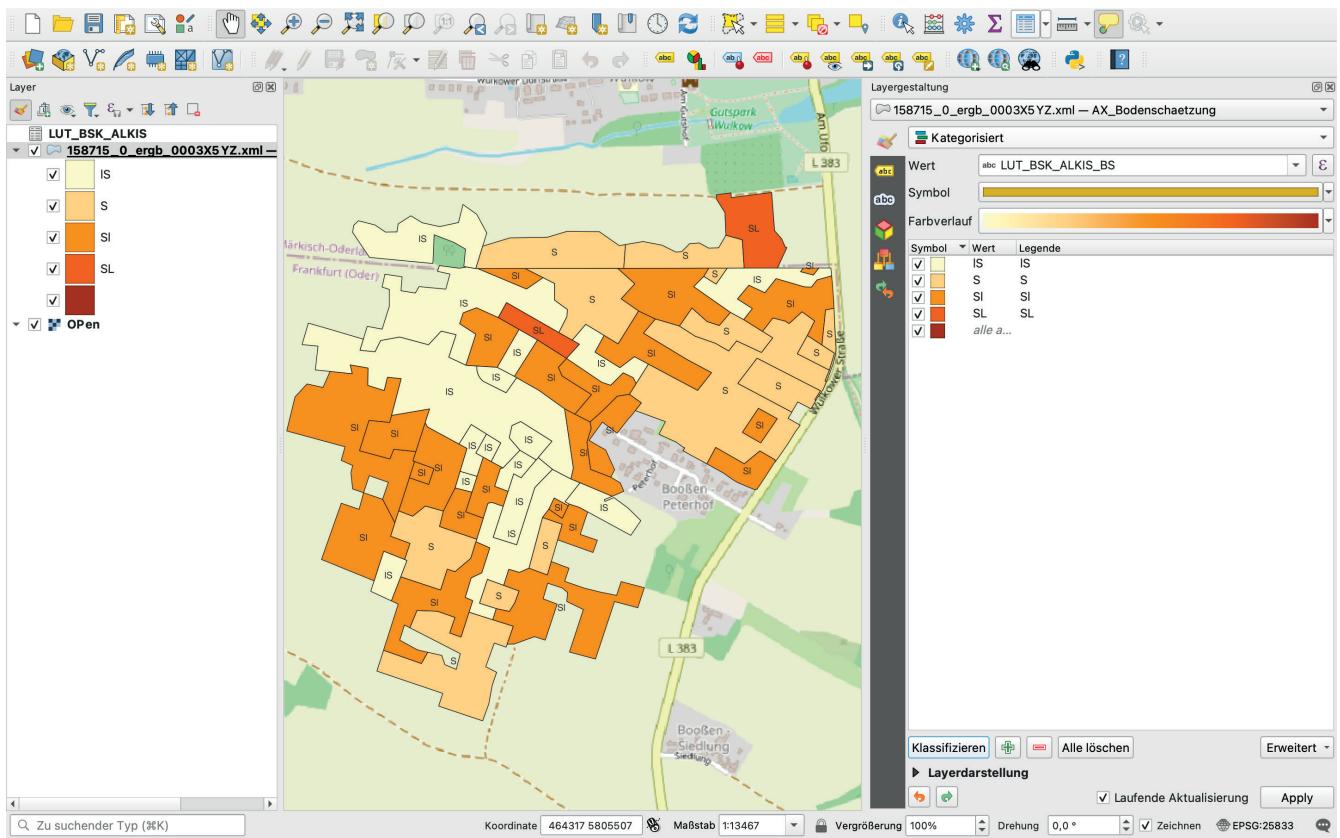


Dieser Schritt ist optional, wie auch die folgende Anleitung für die Symbolisierung der Bodengruppen. Dazu **Symbolisierung** in der Layergestaltung anklicken und den Reiter **Kategorisiert** auswählen. Als Wert bleibt LUT_BSK_ALKIS_BS eingetragen und auch das Symbol bleibt erhalten. Als Farbverlauf wurde im Beispiel **YlOrBr** gewählt, aber dies ist unerheblich. Im Wesentlichen geht es hier um die Unterscheidung der Klassen durch farbliche Einteilung, egal wie diese aussieht.

71 | Anhang



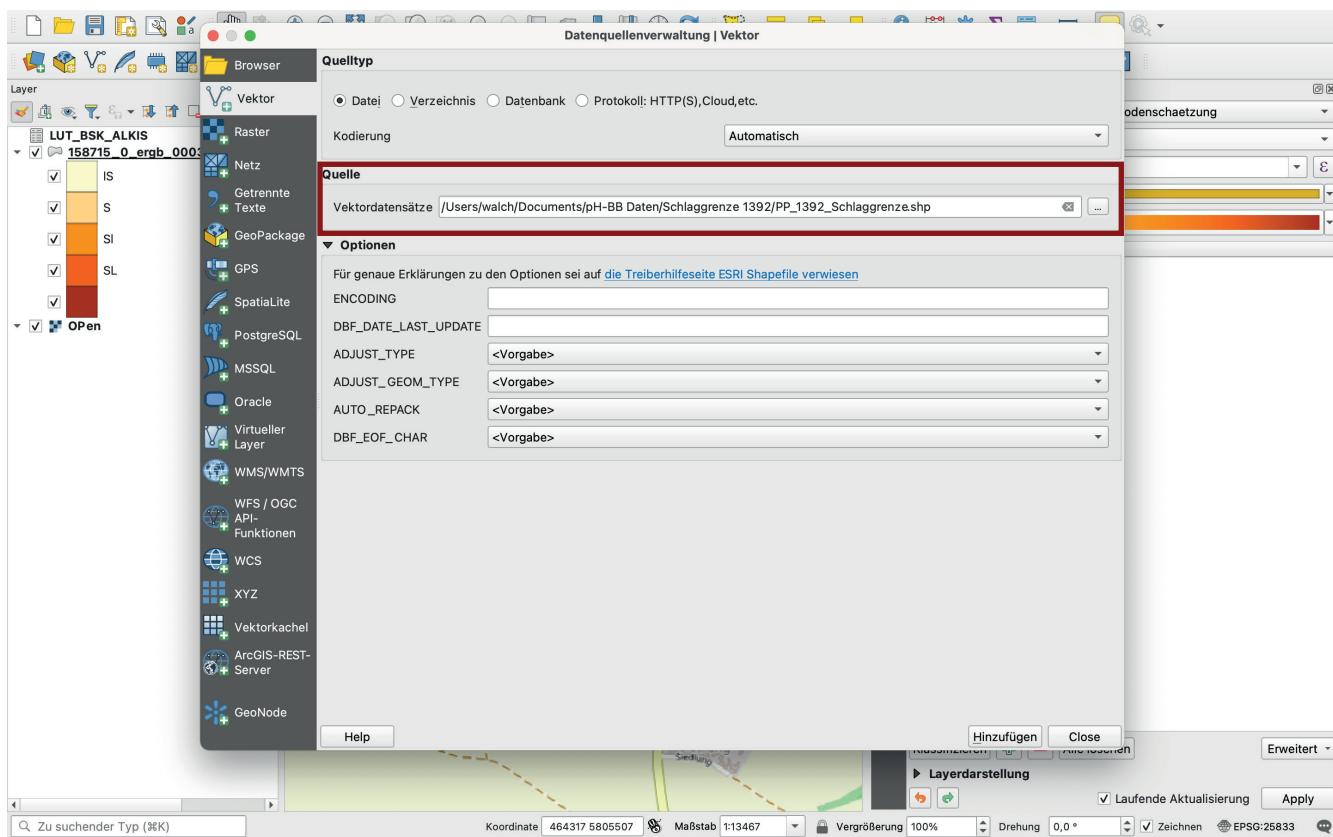
Nachdem ein Farbverlauf bestimmt ist, müssen die Änderungen übernommen werden, indem Sie auf **Klassifizieren** klicken. Teilstücke mit gleichen Bodenschätzungsgruppen sind nun mit derselben Farbe belegt. Es sollte sich etwa folgendes Bild einstellen.



V. Zuschneiden der Geometrie

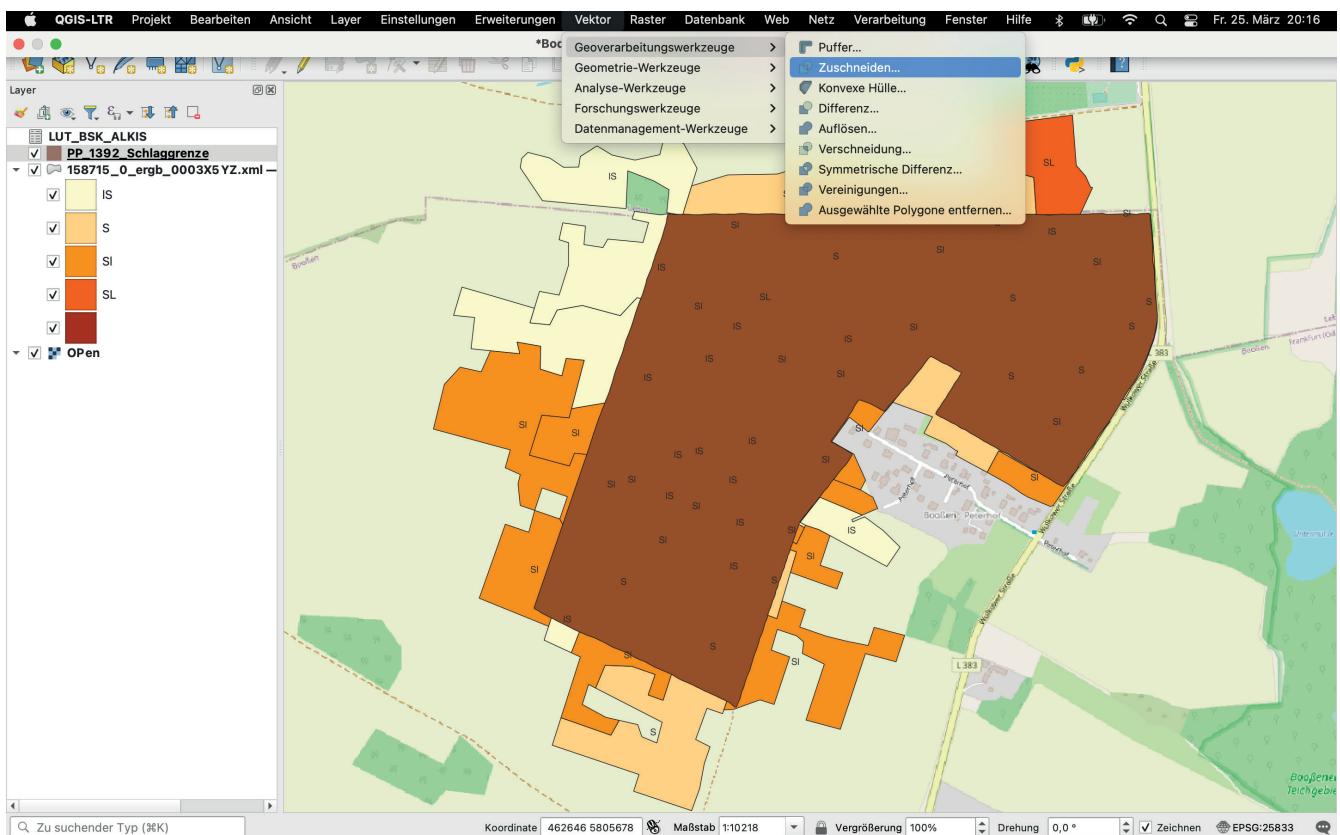
Die Geometrie ist nun mit den richtigen Attributen versehen, doch sie muss noch an die tatsächliche Feldgrenze angepasst werden. Bei der Bestellung im GEOBROKER wurde diese nicht genau angegeben, sodass noch angrenzende, störende Polygone mit vorhanden sind.

Dafür zusätzlich zur neu erstellten Geometrie der Bodenschätzung die Schlaggrenze als Vektorlayer in QGIS laden. Am einfachsten lässt sich dies per Drag & Drop durchführen, alternativ öffnen Sie die **Datenquellenverwaltung** und fügen als Quelle den Vektordatensatz für die Schlaggrenze des Feldes hinzu, das Sie zuschneiden möchten.

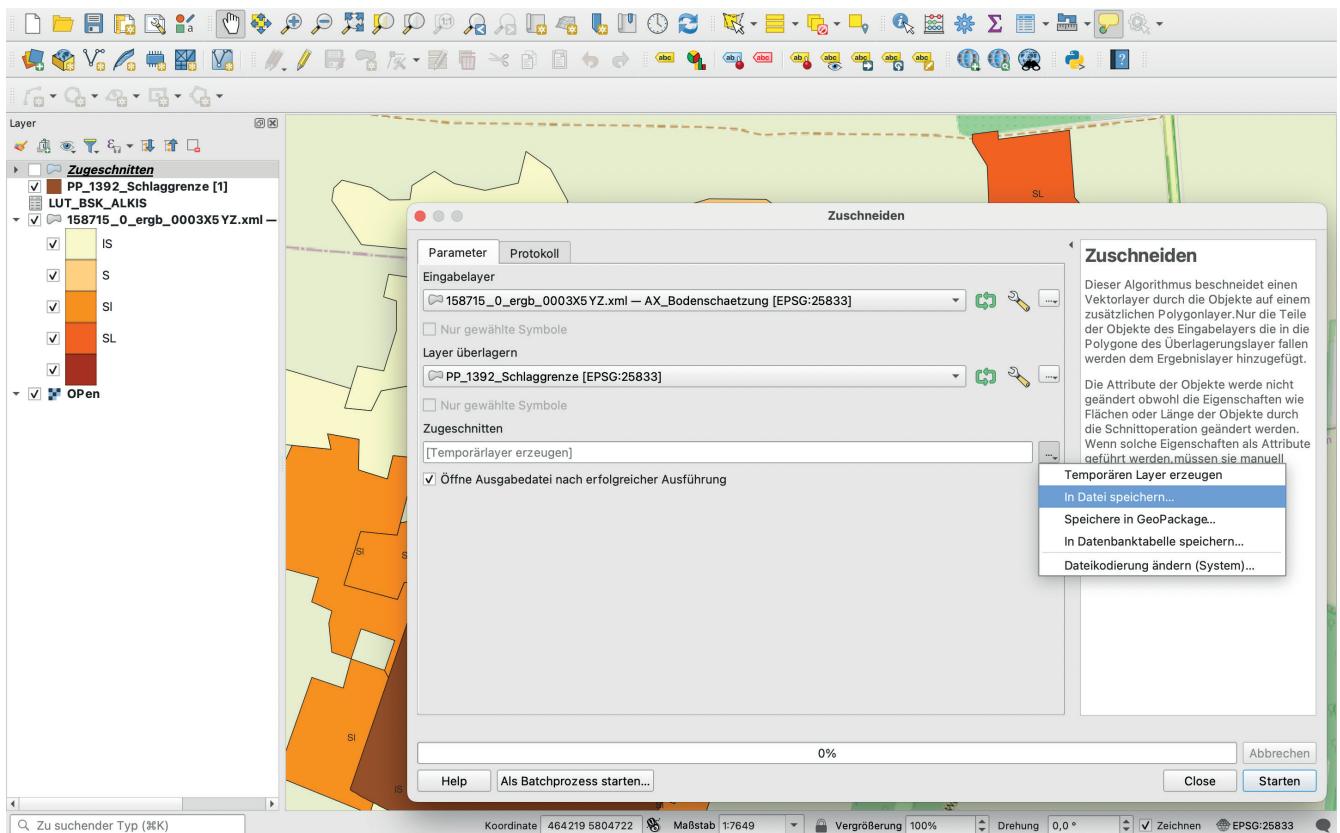


Der Schlaggrenzenlayer dient nur zum Zuschneiden der Bodenschätzungskarte, denn er enthält keine weiteren Informationen. Über das Vektormenü gelangen Sie über **Geoverarbeitungswerzeuge** und **Zuschneiden** zum Algorithmuseingabefeld.

73 | Anhang

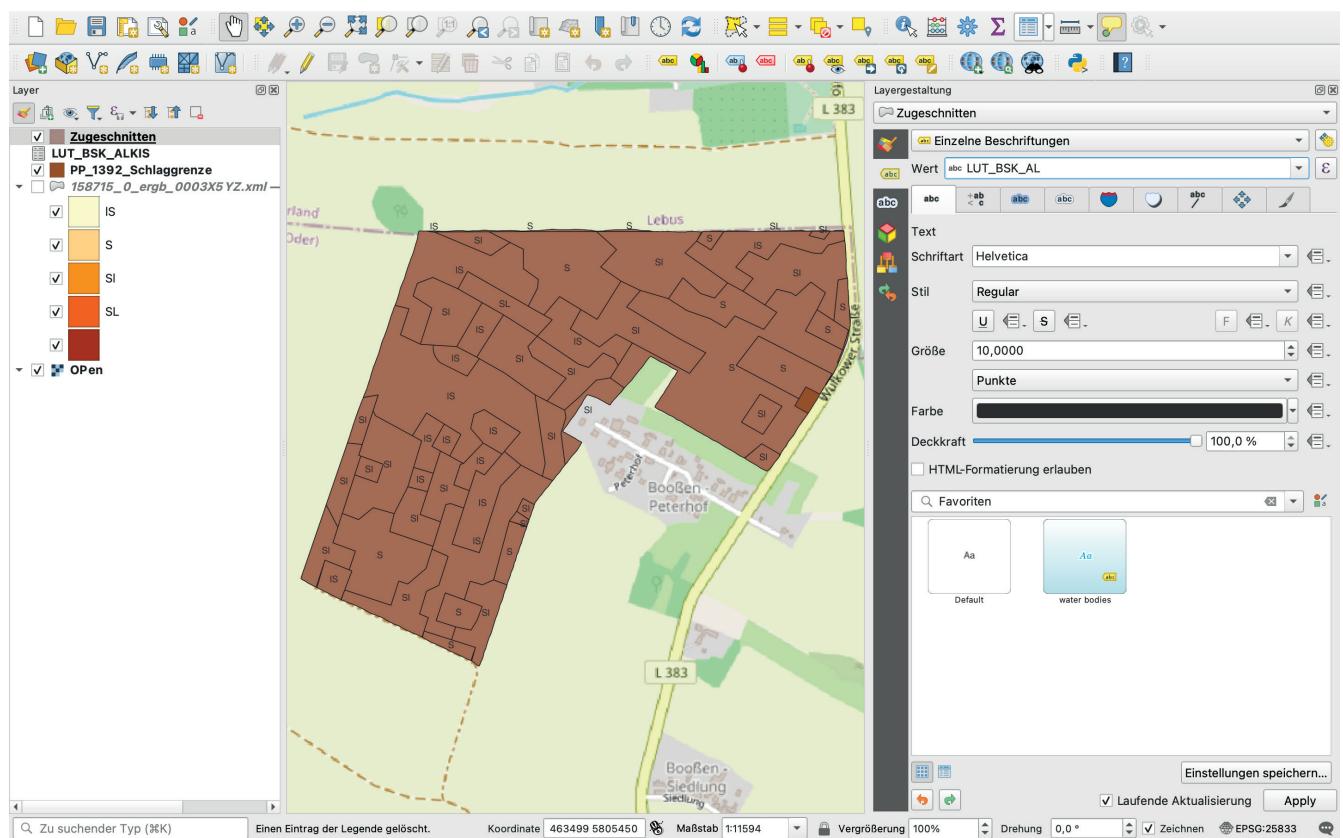


Als Eingabelayer ist der Bodenschätzungs layer mit den vorher verknüpften Attributen einzusetzen. Der zweite Layer ist die Schlaggrenze. Damit nach dem Zuschneiden nicht nur ein Temporärlayer entsteht, sondern eine dauerhafte Shape-Datei, muss ein Speicherort für die neu entstehende Geometrie festgelegt werden. Anschließend kann der Zuschneideprozess gestartet werden und der Layer liegt in der finalen Form vor.



74 | Anhang

Somit ist die Bodenschätzungsmappe aus dem Geobroker fertig bearbeitet und bereit, um in die pH-BB Software importiert zu werden.



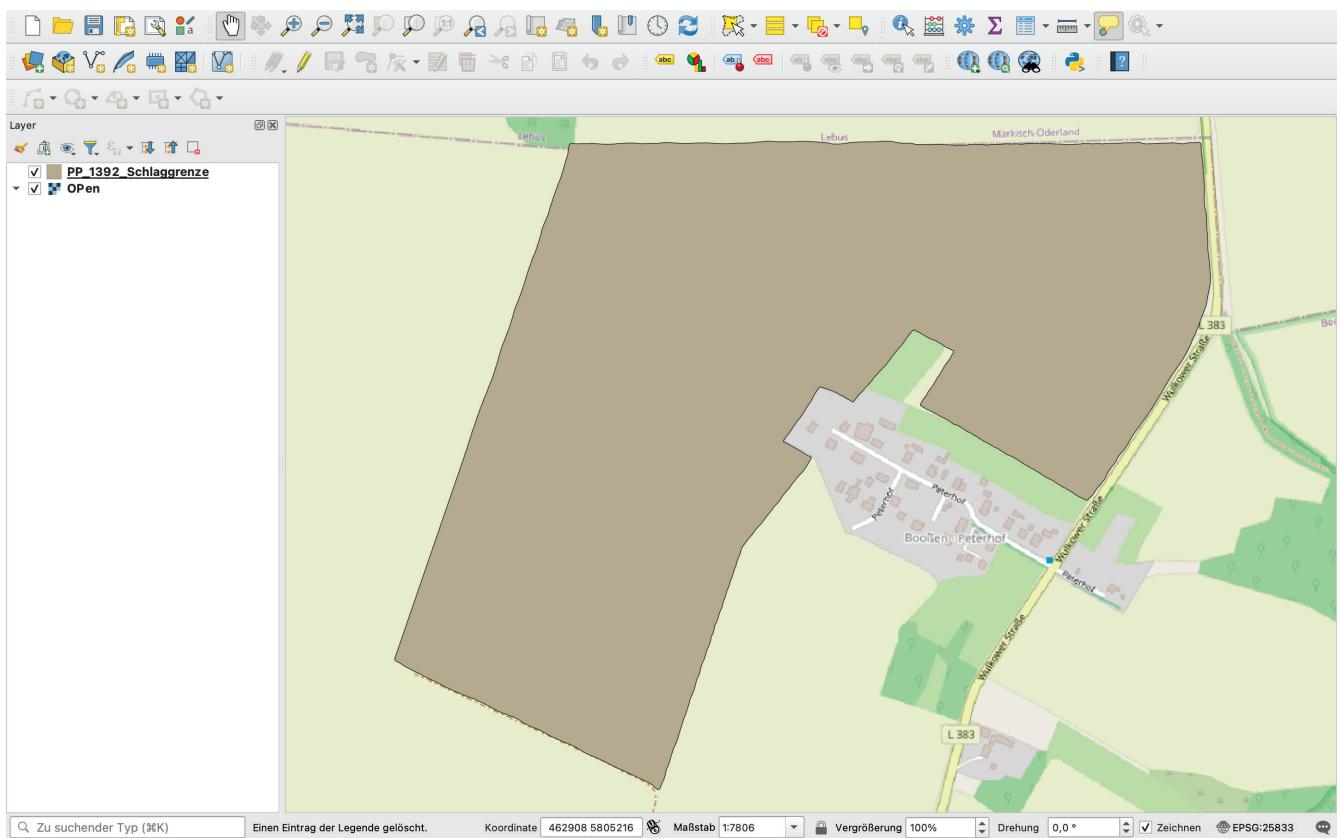
VI. Fahrspur/Leitlinie in QGIS erstellen

Dieses Kapitel soll dazu anleiten, wie eine Fahrspur, beziehungsweise eine einfache AB-Linie in QGIS erstellt werden kann, um in der pH-BB-Toolbox die Ausrichtung der Streu- und Kalkapplikationskarten an diese anzupassen. Es muss sich nicht um permanente Fahrspuren handeln, die dauerhaft im Betrieb genutzt werden. Vielmehr geht es darum die Ausrichtung so zu gestalten, dass die Ausbringung im Feld bei geringen Wendezügen möglichst effizient ist. Es wird sich daher meist an der üblichen Bearbeitungsrichtung orientiert. Diese können Sie mithilfe von QGIS individuell passend für das jeweilige Feld festlegen.

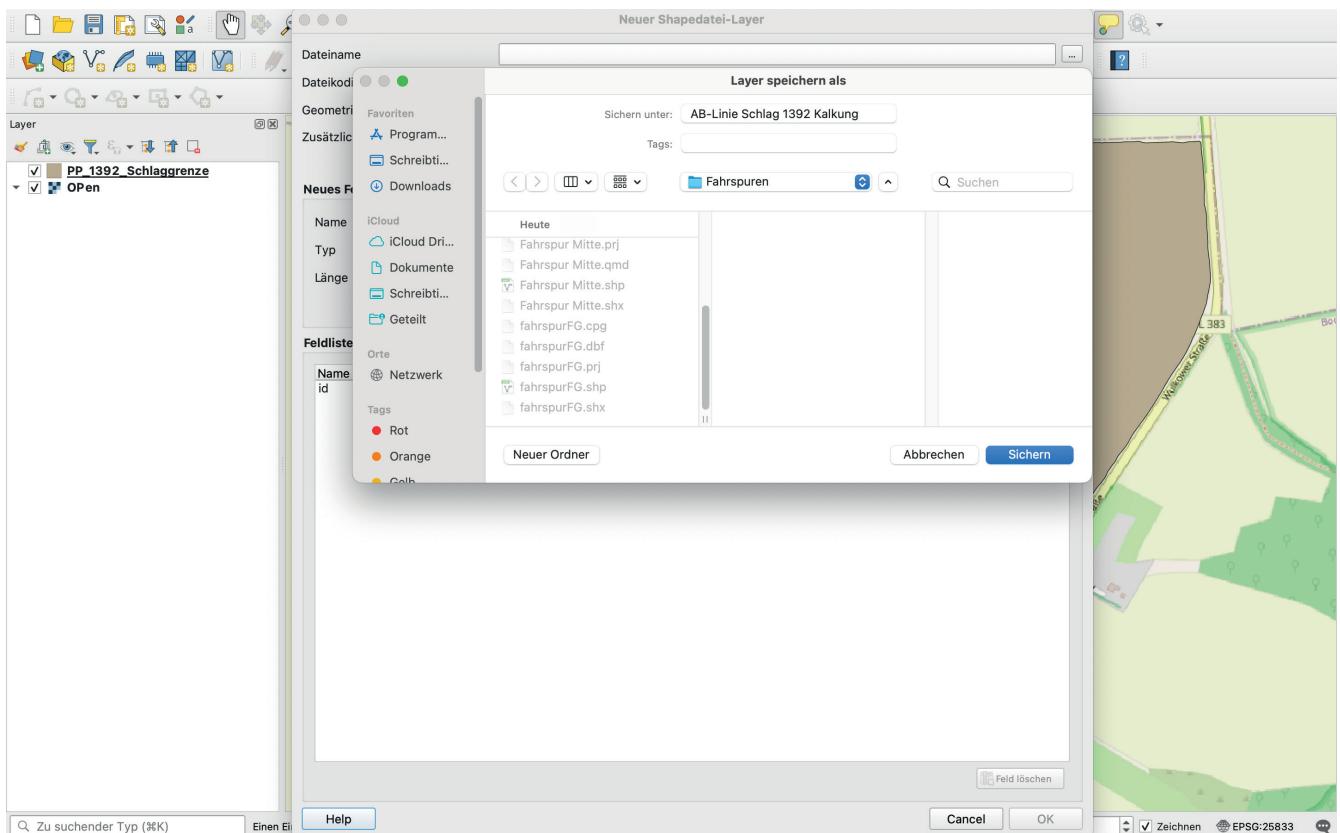
Öffnen Sie ein neues Projekt in QGIS. Zunächst sollte eine Hintergrundkarte eingebunden werden (hier im Beispiel OpenStreetMap). Wenn Sie ein Satellitenbild verwenden, wie z.B. von GoogleMaps, können Sie teilweise bereits Ihre Fahrgassen erkennen und die AB-Linie daran orientieren. Andernfalls sind die Schlaggrenzen des Feldes zu importieren, für das die AB-Linie erstellt werden soll. So haben Sie genaue Anhaltspunkte und können am besten entscheiden, welche Ausrichtung die AB-Linie haben soll.

Nun erstellen Sie einen neuen Vektorlayer, damit Sie in diesem die AB-Linie als Linien-Geometrie speichern können.

Dafür klicken Sie auf ***Neuer Shapedatei-Layer***.

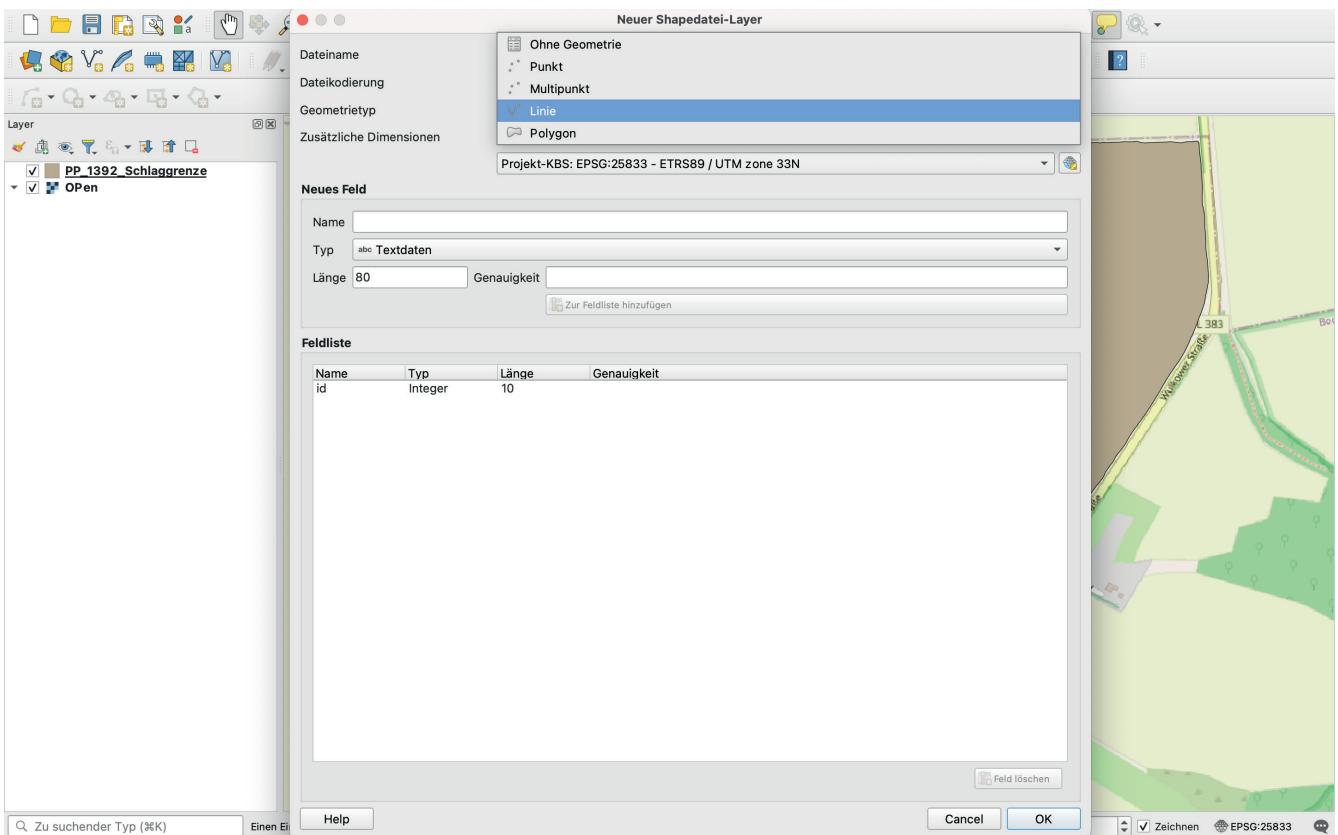


Es öffnet sich ein Pop-Up-Fenster, in welchem ein Name und Dateipfad für den neuen Layer festgelegt werden. Nach Eingabe der Namens und auswählen des Pfades speichern Sie dies.

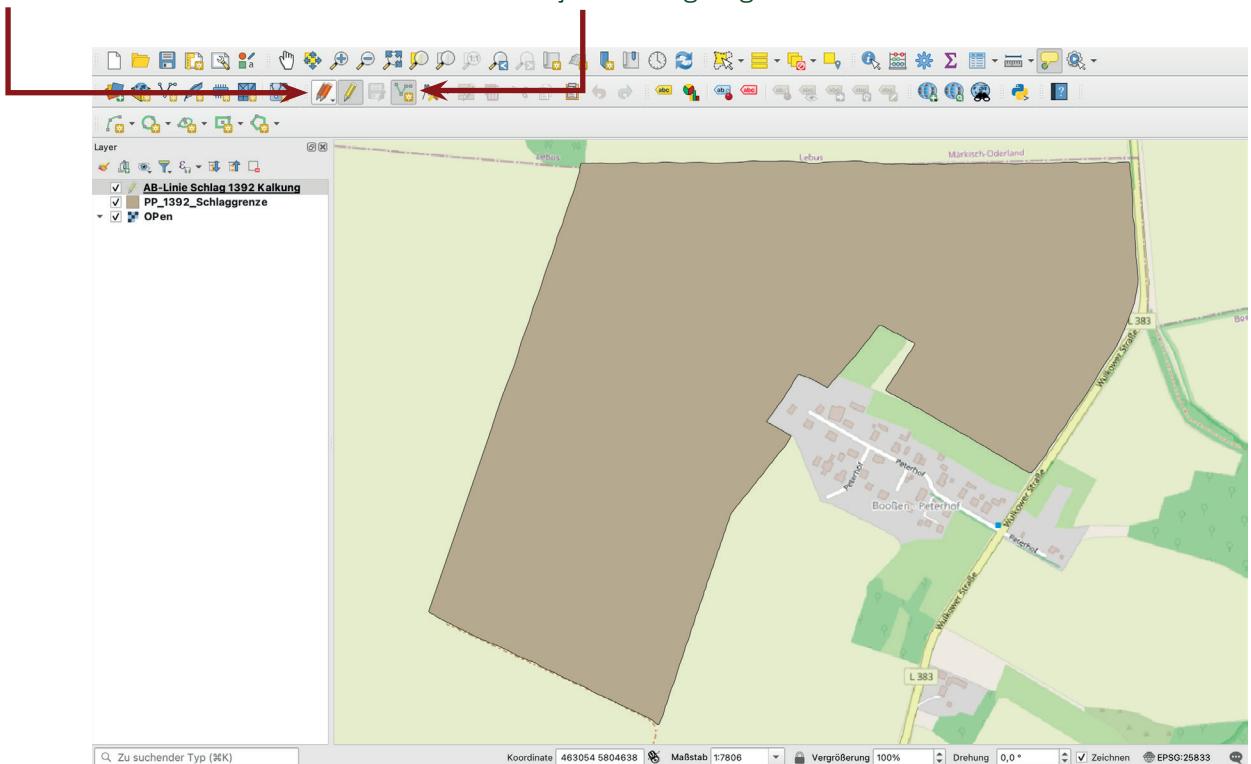


Als Geometriertyp wird **Linie** festgelegt, und nachdem das richtige Koordinatenbezugssystem festgelegt wurde, mit **OK** gespeichert.

77 | Anhang



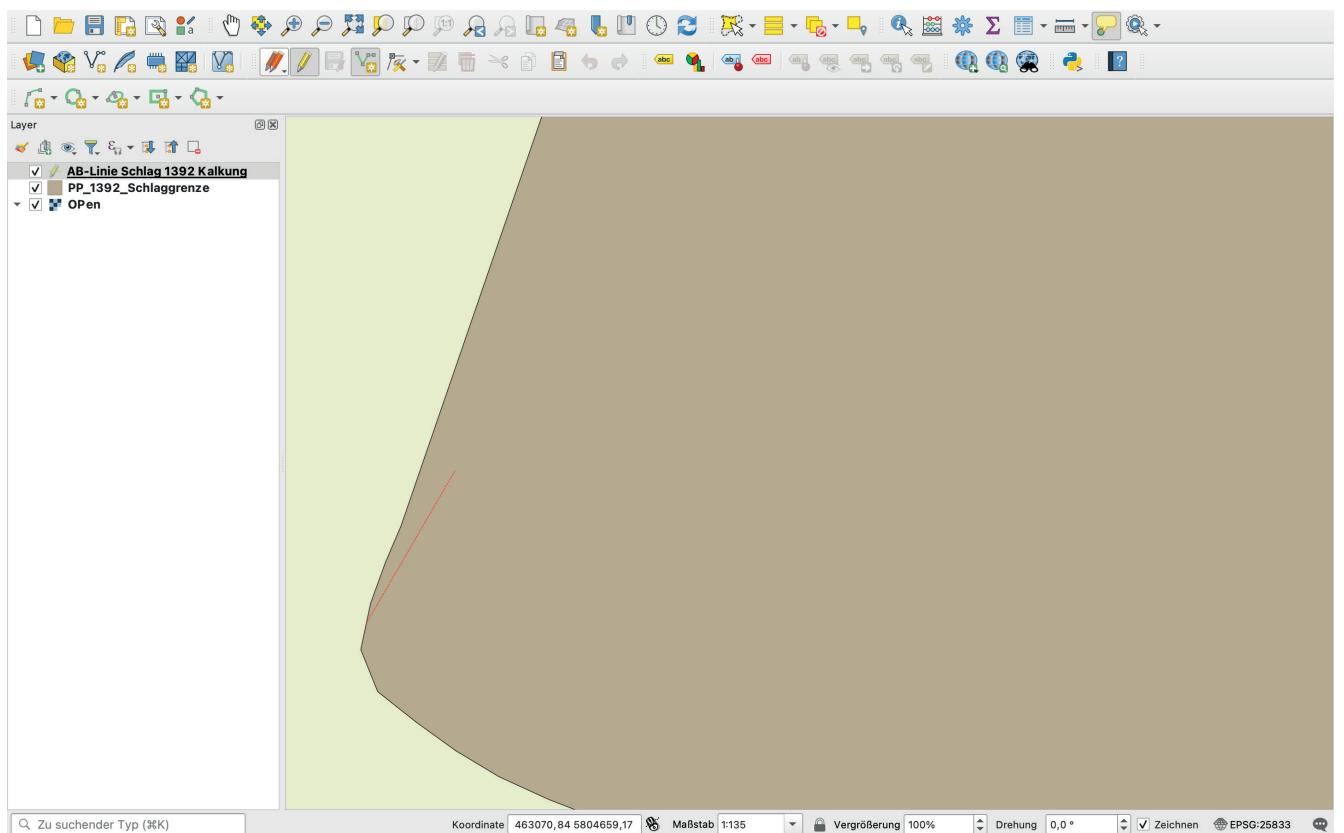
Der Layer ist nun erstellt und gespeichert, doch sind noch keine Geometrien darin vorhanden. Die AB-Linie wird erstellt, indem Sie den neuen Layer auswählen: per einfachem Links-Klick und (1) in den Bearbeitungsmodus umschalten. Nun wird (2) ein Linienobjekt hinzugefügt.



Der Cursor wird jetzt dazu benutzt, um auf der Karte zwei Punkte zu setzen. Diese markieren den Start- und Endpunkt der neuen AB-Linie, die automatisch durch die beiden Punkte gezogen wird und diese verbindet. Im Beispiel wird sich an der westlichen (im Bild links)

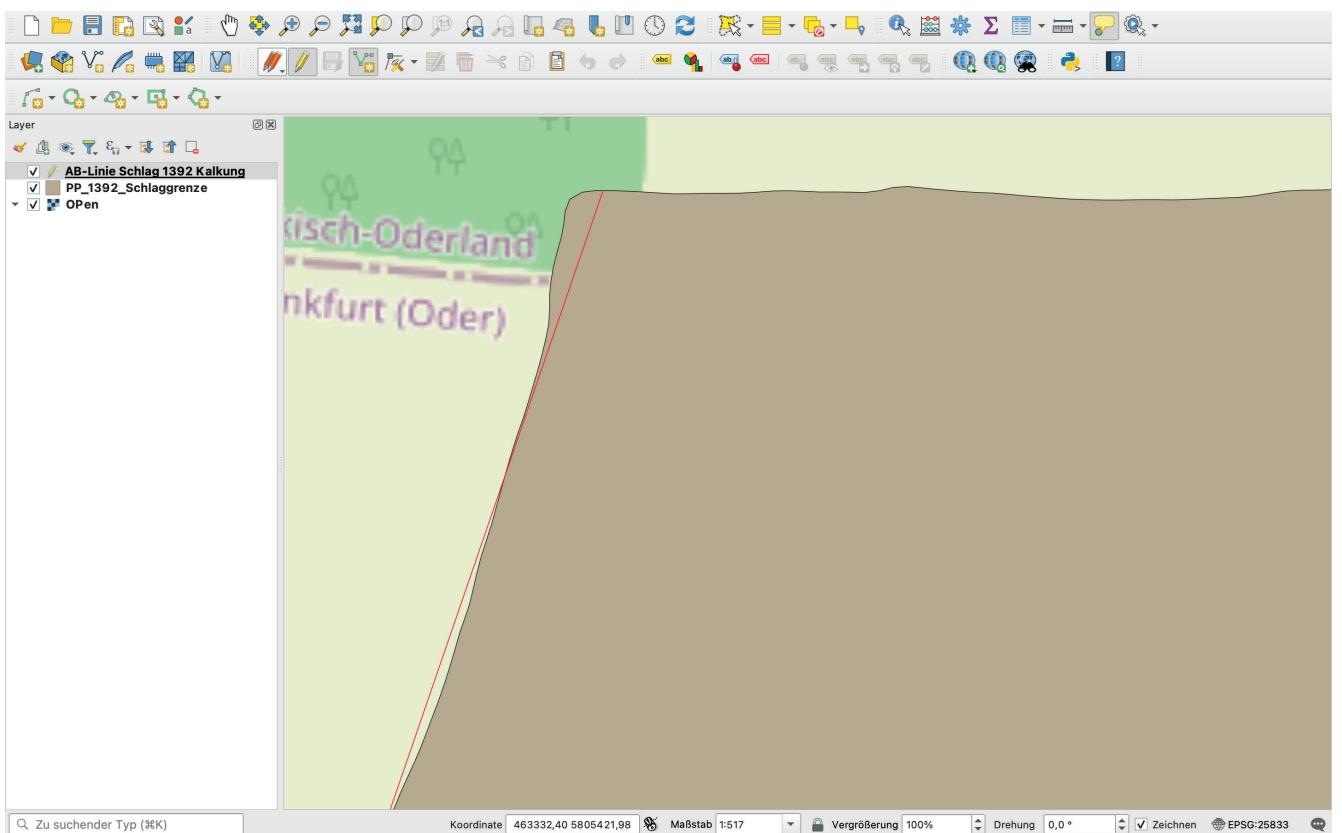
Schlaggrenze orientiert, damit die AB-Linie parallel dazu verläuft. Dies ist die ideale Ausrichtung der Applikationskarte.

Per Maus-Klick wird der erste Punkt gesetzt und mit dem Weiterbewegen des Cursors wird die rote Linie sichtbar, die nicht fixiert ist, da der zweite Punkt noch fehlt.

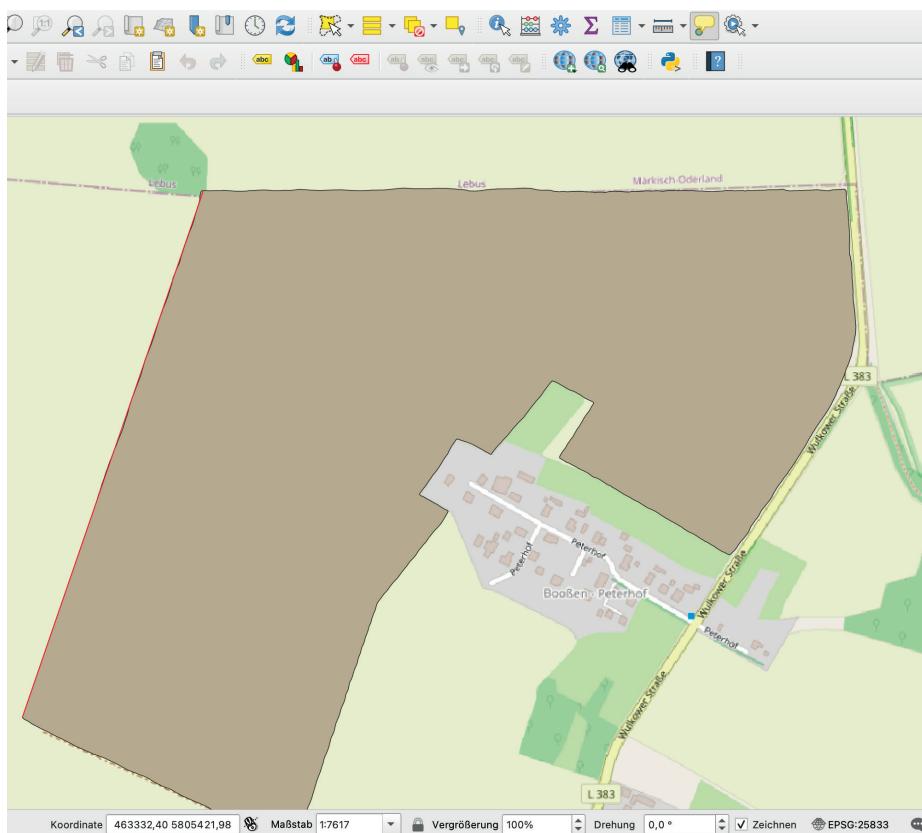


Der zweite Punkt wird auf der gegenüberliegenden Schlagseite gesetzt, sodass die AB-Linie genau auf der westlichen Feldgrenze liegt. Da die meisten Feldgrenzen nie genau gerade sind, muss unter Umständen gemittelt werden. Die Länge der AB-Linie ist weniger von Bedeutung, sie kann auch über das Feld hinaus reichen. Der Algorithmus der pH-BB-Toolbox schneidet die Karte später an den Feldgrenzen ab.

79 | Anhang

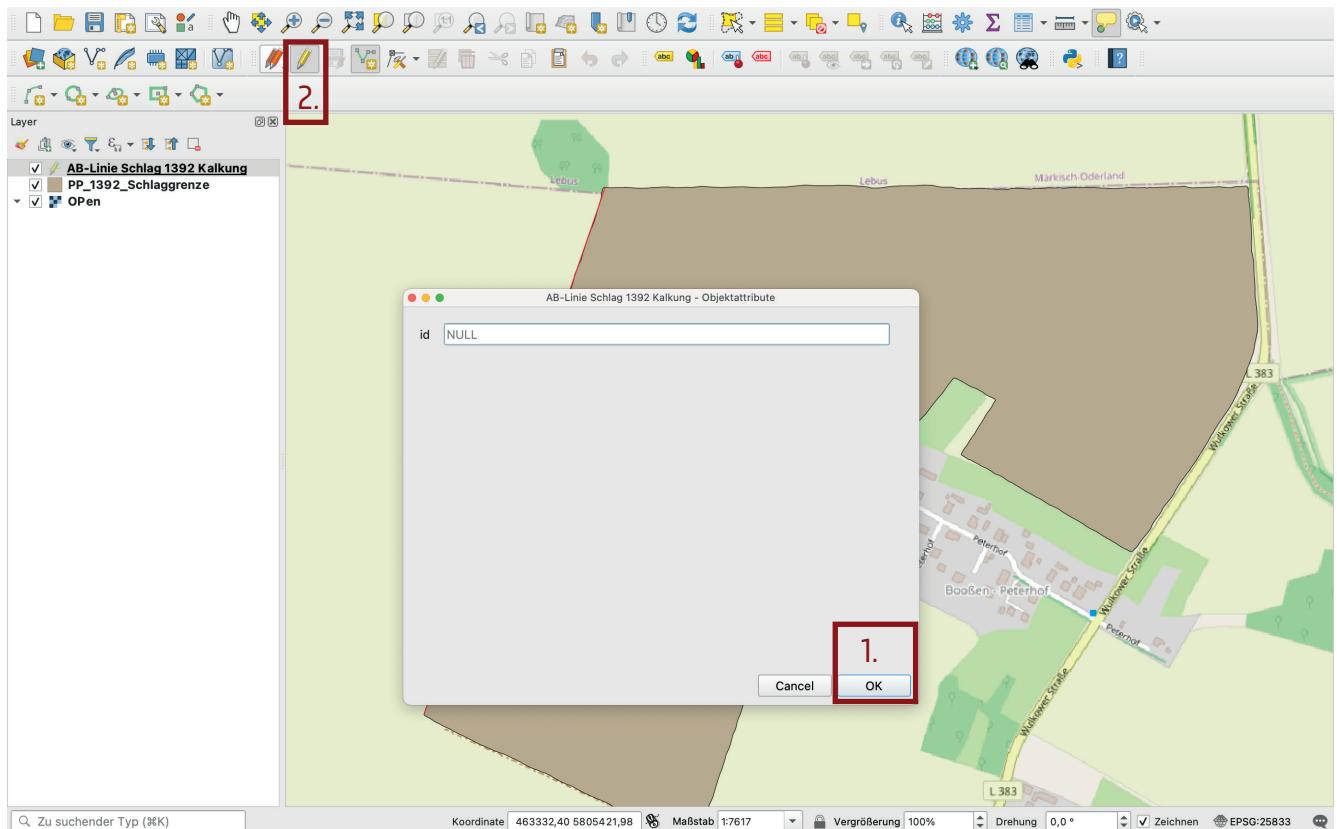


In der Gesamtansicht sieht man nun in Rot die neu eingezeichnete AB-Linie, die dem Layer hinzugefügt wurde.



80 | Anhang

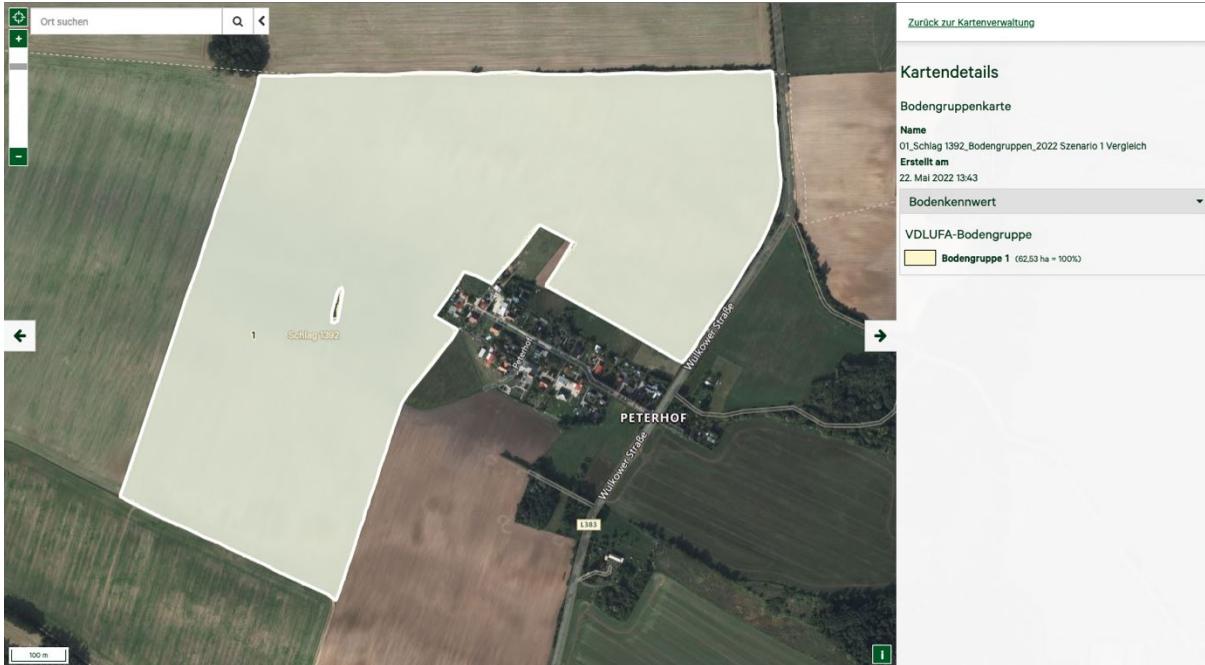
Mit einem Rechts-Klick wird die Zeichnung beendet und es besteht die Möglichkeit dem Objekt eine Bezeichnung zu geben, was aber in diesem Fall nicht erforderlich ist. Bestätigen Sie (1.) mit **OK** und beenden (2.) den Bearbeitungsmodus. Das neue Objekt wird gespeichert und ist bereit, um für die Ausrichtung der Streukarte in der pH-BB Software verwendet zu werden.



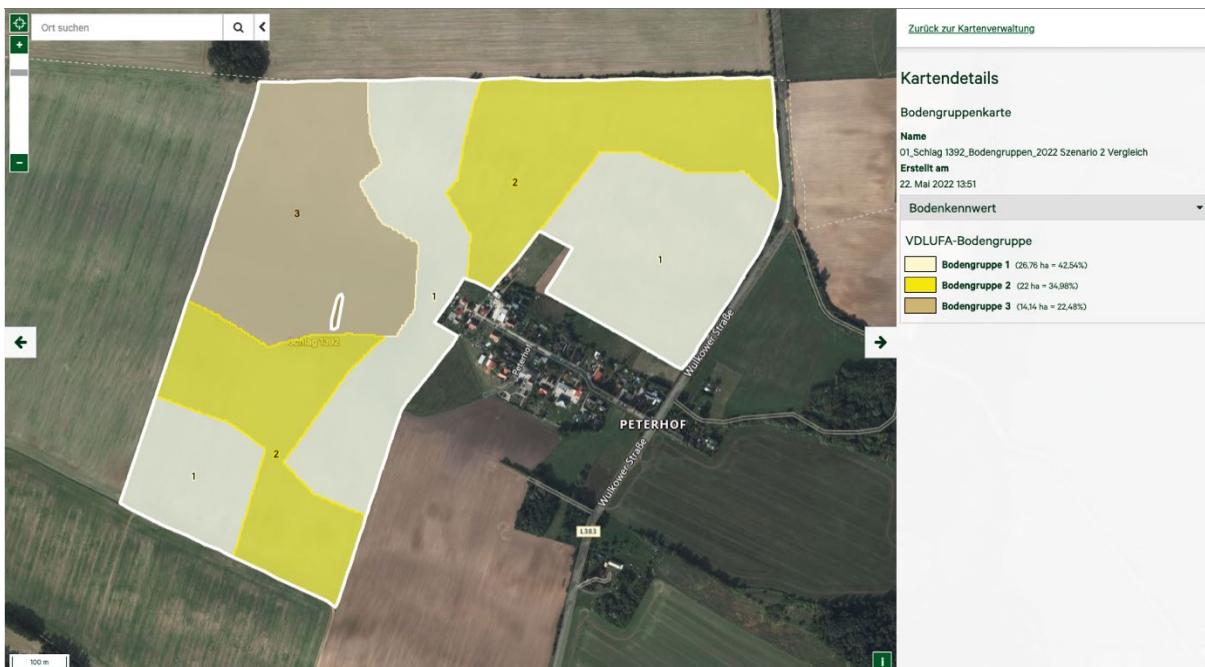
Anhang 2: Kalkdüngungsszenarien

Bodengruppenkarten

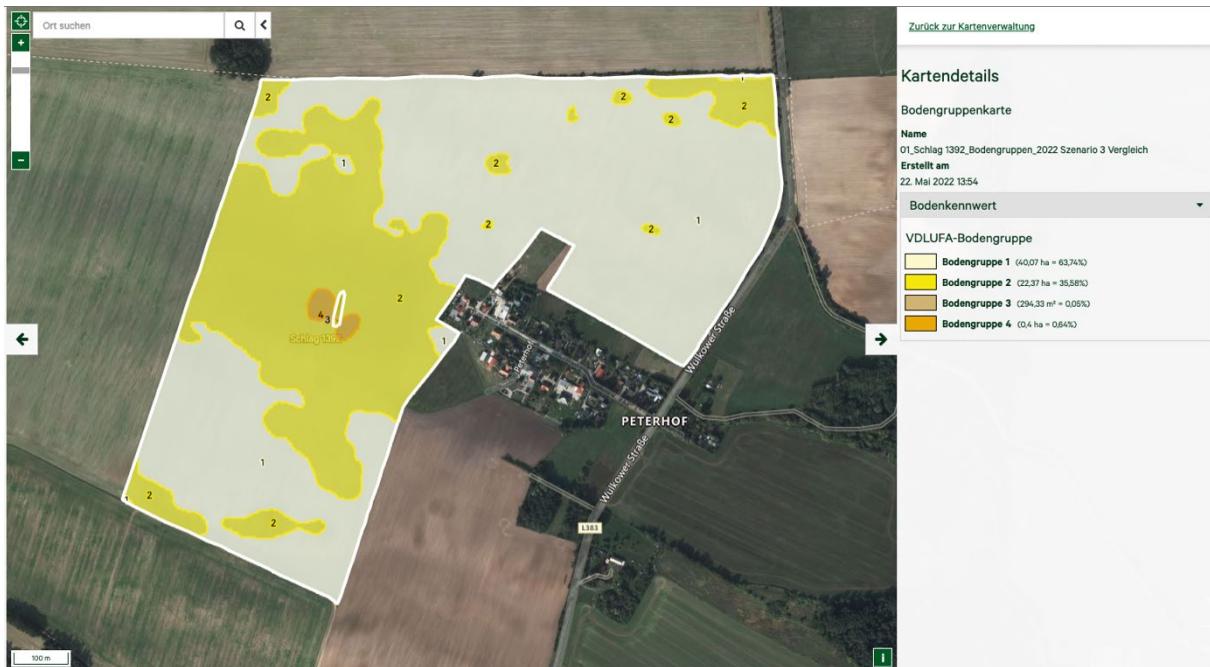
Karte I



Karte II

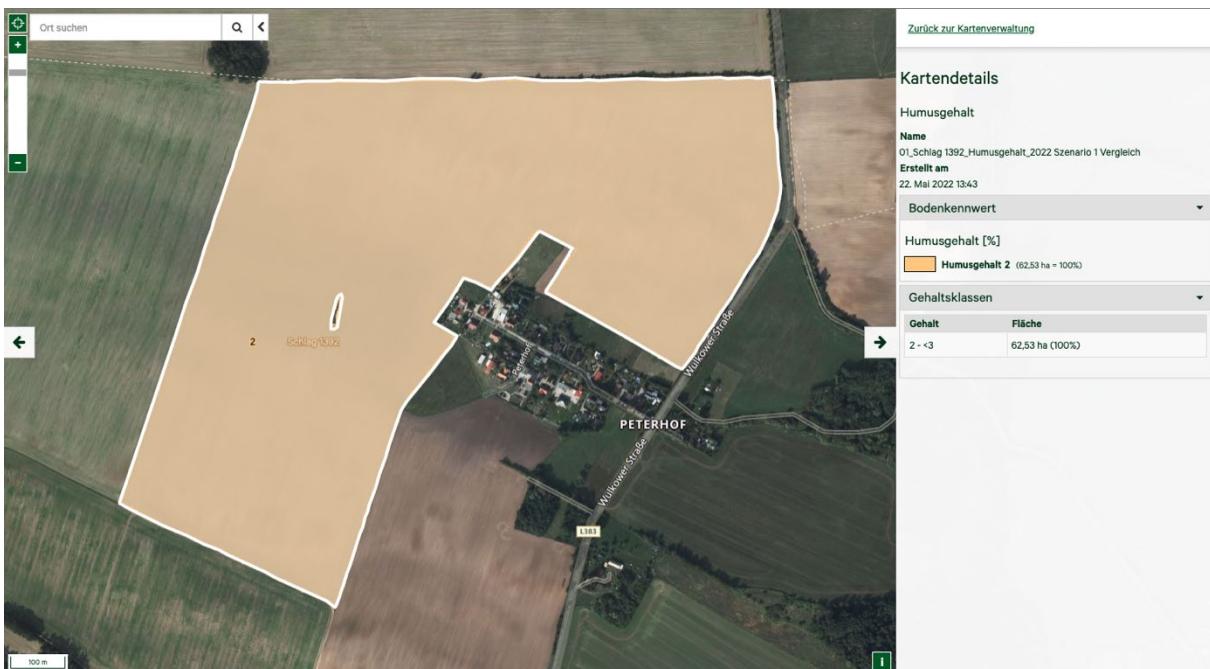


Karte III

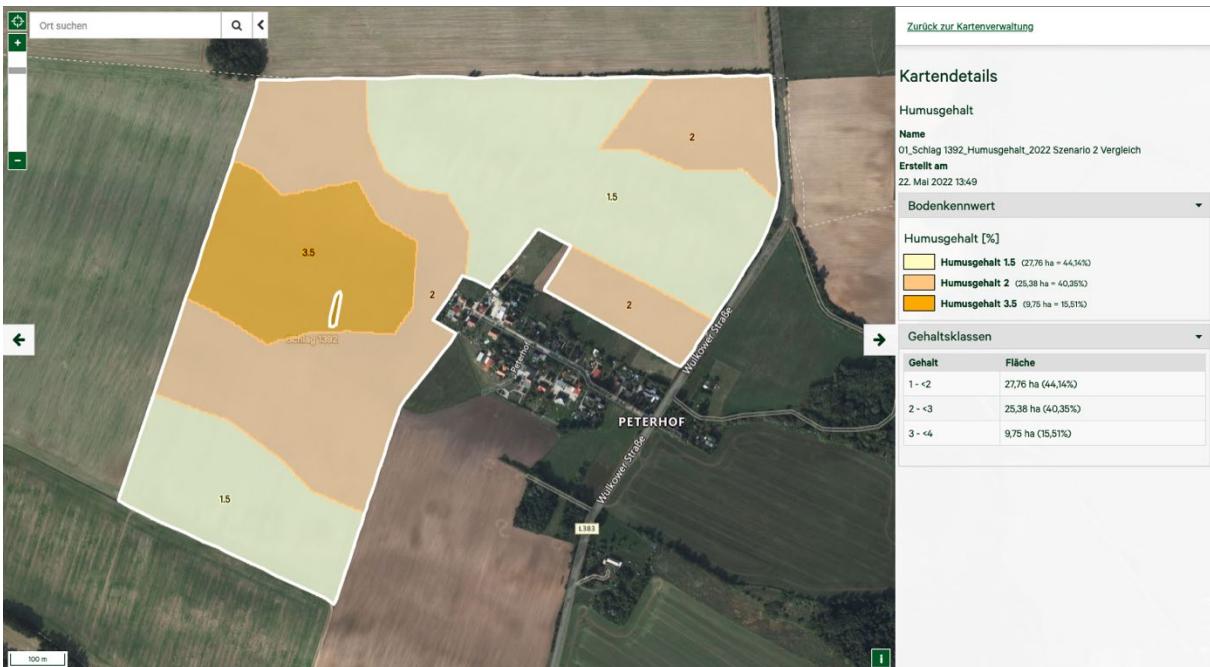


Humuskarten

Karte I



Karte II

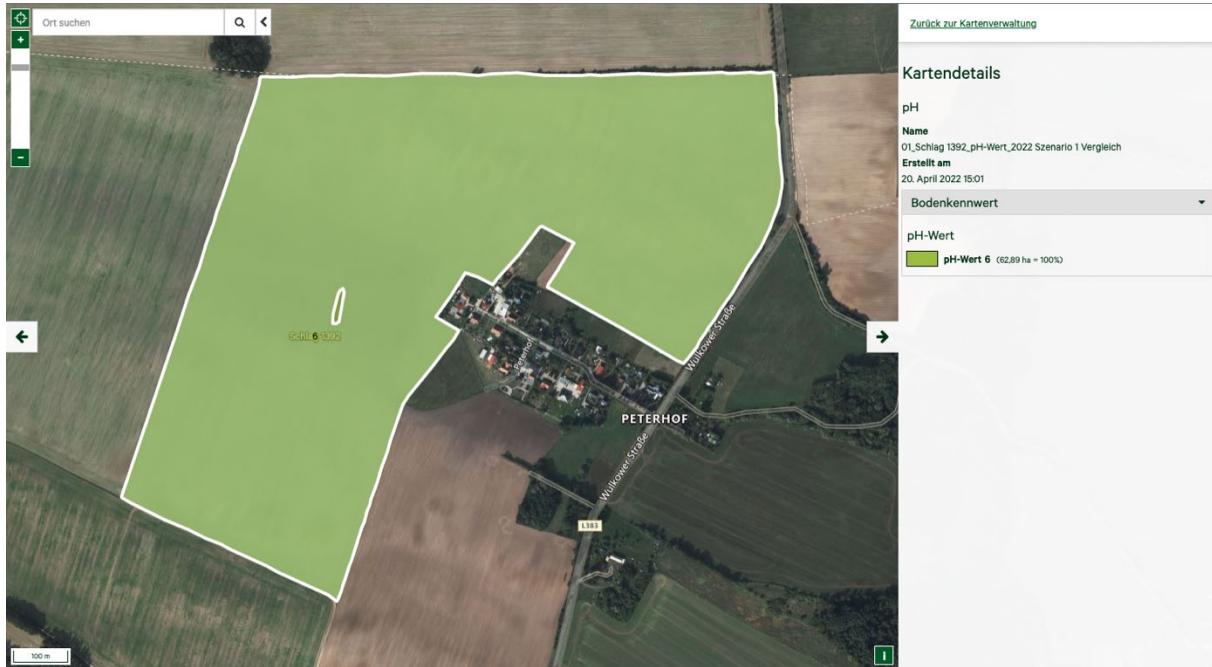


Karte III



pH-Karten

Karte I



Karte II



Karte III

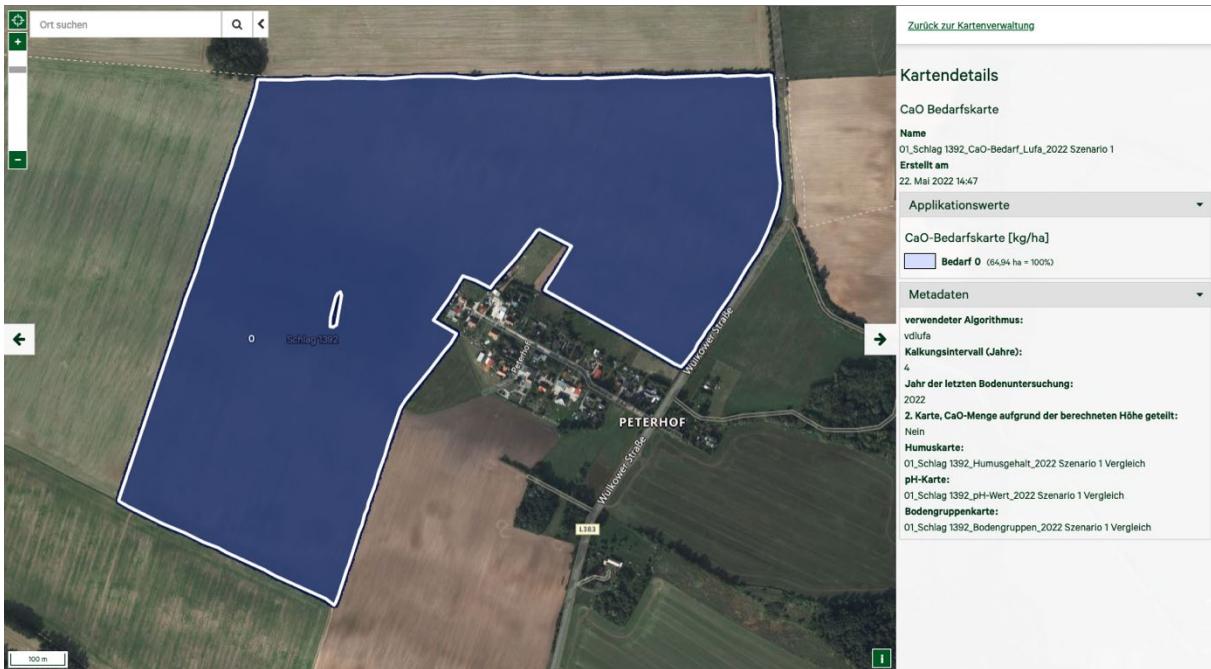


Tonkarte

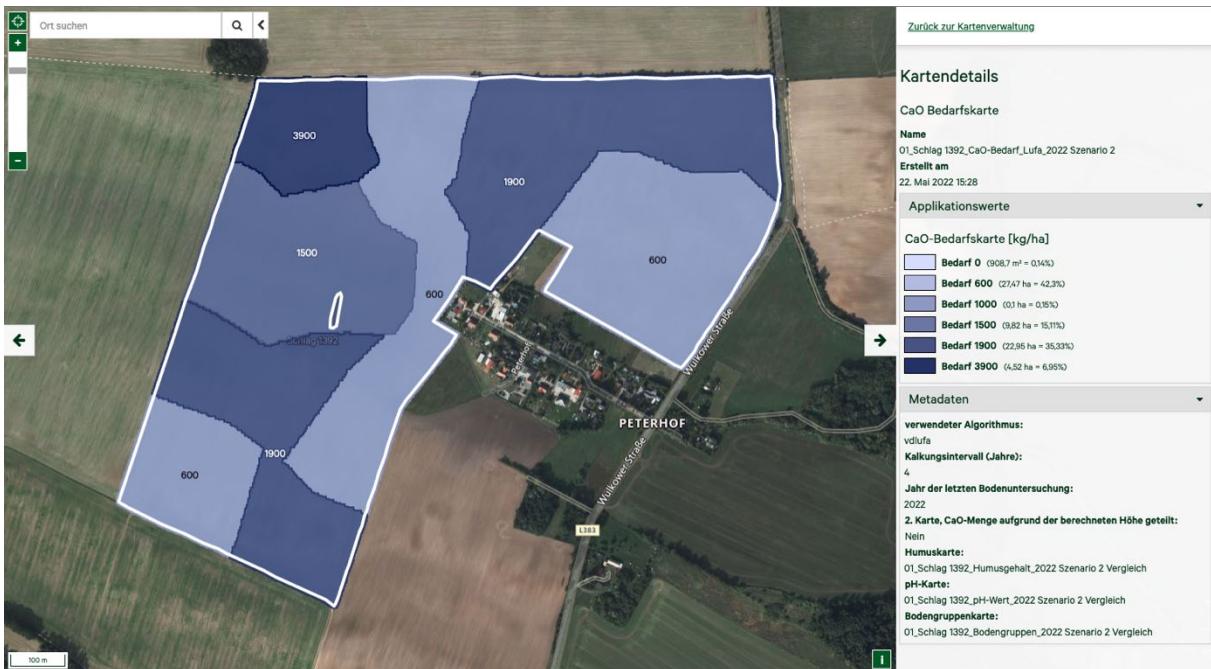


Berechnete CaO-Bedarfskarten

Szenario I



Szenario II



Szenario III LUFA diskret



Szenario III „pH-BB“ stufenlos



DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Ingmar Schröter. Ohne Dich hätte ich die Arbeit nicht in dieser Form vorlegen können. Vielen Dank für die großartige Betreuung von den Anfangsideen bis zur fertigen Umsetzung. Dein Engagement hat mich stets motiviert und ich durfte viel über teilflächenspezifische Landwirtschaft und digitale Kartenerstellung dazulernen.

Bei Eckart Kramer möchte ich mich ebenfalls für die sehr gute Betreuung der Arbeit und die wertvollen Anmerkungen während des Prozesses bedanken.

Eric Bönecke war insbesondere während des Erstellens des Handbuchs ein wichtiger Ansprechpartner und hat die Arbeit mit vielen Ideen bereichert.

Ich bin sehr dankbar, dass ich die Möglichkeit hatte meine Bachelorarbeit im Rahmen des EIP-Projektes „pH-BB“ zu verfassen und danke allen aktuell und ehemals daran beteiligten Personen: Manuele Bettoni, Robin Gebbers, Lukas Gerlach, Charlotte Kling, Eckart Kramer, Alan Liftenegger, Katrin Lück, Swen Meyer, Anne Nagel, Golo Philipp, Jörg Rühlmann, Dirk Scheibe, Torsten Schubert, Ulrike Schwarzlose, Stefan Sorge, Sebastian Vogel, Zina Zaimeche, Karin Zieger.

Förderung

Gefördert wird das „pH-BB“-Projekt im Rahmen der Förderrichtlinie EIP-agri durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) und das Land Brandenburg (Förderkennzeichen 80168341).

Förderzeitraum: 01.04.2017-30.09.2022

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich des Eides statt, die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben. Alle Angaben von Dritten, wörtlich oder sinngemäß, sind ordnungsgemäß belegt.

Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfstelle vorgelegt.



Jakob Walch

Eberswalde, den 07.06.2022