



Mehrwert von Bodeninformationen für die Landwirtschaft

Einführung in die Merkblattreihe

Impressum

Autor:innen: Gunnar Petter¹, Lucie Greiner¹, Alessia Schorro¹, Liv Kellermann³, Frank Liebisch²

¹Kompetenzzentrum Boden KOBO

²Agroscope, Agrarökologie und Umwelt, Gruppe Gewässerschutz und Stoffflüsse

³Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Gruppe Bodennutzung und Bodenschutz

Erscheinungsjahr: 2025

Herausgeberschaft: Kompetenzzentrum Boden (KOBO), ccsols.ch.

Das KOBO arbeitet im Auftrag der drei Bundesämter BAFU (Bundesamt für Umwelt), BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) und ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) und ist an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) der Berner Fachhochschule (BFH) in Zollikofen angesiedelt.

Herausgegeben in Partnerschaft mit: Agroscope, Agrarökologie und Umwelt, Gruppe Gewässerschutz und Stoffflüsse & Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Gruppe Bodennutzung und Bodenschutz

Titelbild: Foto aus dem Pilotprojekt Diemerswil, © KOBO

Layout: Fabrice Wullschleger (KOBO) auf Grundlage von Magma Branding, Sandrainstrasse 3, 3007 Bern, <https://magma-branding.ch>

Empfohlene Zitierweise: Petter G., Greiner L., Schorro A., Kellermann L., Liebisch F. (2025). Mehrwert von Bodeninformationen für die Landwirtschaft: Einführung in die Merkblattrihe. KOBO-Merkblatt. BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen–Bern, verfügbar unter <https://ccsols.ch/de/downloadcenter/>

Copyright: Gemäss untenstehendem Creative Commons-Lizenzsymbol ist die nicht-kommerzielle Vervielfältigung erwünscht, jedoch mit Quellenangabe und einem Belegexemplar an die Herausgeberschaft. Die Weitergabe erfolgt nur unter gleichen Lizenzbedingungen.



KOBO
CCSols
CCSuolo

Kompetenzzentrum Boden
Centre de compétences sur les sols
Centro di competenze per il suolo



Berner Fachhochschule
► Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope

Inhaltsverzeichnis

1.Ausgangslage	4
2.Einleitung	4
3.Bodenkartierung nach KA23	6
3.1. Vorbereitungsphase	6
3.2. Konzeptphase	7
3.3. Profilphase	8
3.4. Kartierphase	8
3.5. Datenaufbereitung und Kontrolle	9
3.6. Infobox Bodenkartierung nach KA23	10
4.Weiterentwicklung der Kartiermethodik für eine schweizweite Bodenkartierung (BoKa-CH)	11
4.1. Projektvorbereitung	11
4.2. Konzeptphase	12
4.3. Feld- und Laborarbeiten	13
4.4. Kartenerstellung	14
4.5. Auswertung und Produkte	14
4.6. Infobox Bodenkartierung nach BoKa-CH	16
5.Produkte von Bodenkartierungen	17
5.1. KOBO-Pilotprojekt Diemerswil (BoKa-CH)	17
5.1.1. Karten von Bodeneigenschaften	17
5.1.2. Korrekturfaktor der Stickstoffnorm	19
5.1.3. Nutzungseignungsklassen	20
5.2. Pilotkartierung Wohlen-Meikirch (Wyss-Projekt)	22
5.2.1. Pflanzennutzbare Gründigkeit	22
5.2.2. Bodentypen	24
6.Literaturverzeichnis	25

1. Ausgangslage

Dieses Dokument stellt die Einführung in eine Reihe von Merkblättern¹ dar, in denen der Mehrwert von Bodeninformationen für die Landwirtschaft anhand von praxisnahen Beispielen veranschaulicht wird. Die Grundlage in diesen Beispielen bilden Bodenkarten, die im Rahmen von Bodenkartierungen in verschiedenen Projekten erstellt wurden. Doch wie wurden diese Karten erstellt? Im Folgenden werden Informationen zur Bodenkartierung in der Schweiz präsentiert und einige Bodenkarten vorgestellt, die in den Merkblättern verwendet werden.

2. Einleitung

Böden bilden die dünne Haut der Erde, die sich in der Schweiz seit der letzten Eiszeit aus unterschiedlichen Ausgangsgesteinen gebildet hat (BAFU 2017). Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind Böden typischerweise einige Dezimeter bis etwa 2 Meter mächtig. Sie setzen sich aus verwitterten Mineralien verschiedener Grössen, organischem Material, Wasser und Luft zusammen und erbringen viele wichtige Dienstleistungen für Mensch und Natur (Amelung et al. 2018). Böden dienen beispielsweise als Filter für sauberes Trinkwasser, sie speichern Nährstoffe und CO₂, sie halten Schadstoffe zurück und können als Wasserspeicher Hochwasserereignisse abmildern (Steiger et al. 2018). Als Standortfaktor für das Pflanzenwachstum bilden Böden die Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion und damit für unsere Nahrungsmittelversorgung. Der Schutz der landwirtschaftlichen Böden und der langfristige Erhalt ihrer Funktionen ist daher eine wichtige gesellschaftliche Aufgabe (Steiger et al. 2018; BAFU und BLW 2013).

Die Fähigkeit der Böden, wichtige Dienstleistungen zu erbringen und als Produktionsstandorte in der Landwirtschaft zu dienen, wird wesentlich von ihren Eigenschaften bestimmt (Steiger et al. 2018). Hierzu zählen beispielsweise die Mächtigkeit und der vertikale Aufbau der Böden (Bodenhorizonte), die Grösse und chemische Zusammensetzung der Bodenpartikel, das Wasserspeichervermögen, der Gehalt an organischem Material im Boden, und vieles mehr. Aufgrund der naturräumlichen Vielfalt in der Schweiz gibt es viele verschiedene Böden mit verschiedenen Bodeneigenschaften², die sich teilweise auf kleinem Raum stark unterscheiden können. Zur Erfassung des Aufbaus und der Eigenschaften dieser Böden werden Bodenkartierungen durchgeführt. Die daraus resultierenden Bodenkarten können für verschiedene Nutzer:innen in vielen Themenbereichen (z. B. Hochwasserschutz, Forst- und Landwirtschaft, Raumplanung) wertvolle Informationen liefern. In der Landwirtschaft beispielsweise können sie helfen, das Potenzial und die Limitierungen der eigenen Böden besser zu erkennen, wodurch die Bewirtschaftung (z.B. Düngung, Bewässerung) optimiert und die Produktivität erhöht werden kann. In der Schweiz sind jedoch nur für rund 13 % der Landwirtschaftsflächen gut aufgelöste Bodenkarten vorhanden (Rehbein et al. 2019; Abbildung 1).

¹ Merkblätter verfügbar unter <https://ccsols.ch/de/downloadcenter/> und <https://www.bfh.ch/hafli/de/forschung/forschungsbereiche/bodennutzung-bodenschutz/#merkblatt>

² Der Begriff «Bodeneigenschaften» wird nicht einheitlich verwendet. Teilweise wird zwischen Bodeneigenschaften und pedologischen Kenngrössen unterschieden, wobei unter Bodeneigenschaften die am Boden direkt mess- oder beschreibbaren Parameter (z.B. Ton-/Humusgehalt) und unter pedologischen Kenngrössen die aus diesen Parametern abgeleiteten Eigenschaften (z.B. Bodentyp, Wasserhaushaltsgruppe) verstanden werden. In diesem Dokument werden Bodeneigenschaften als breit gefasster Begriff verwendet, sie umfassen alle mess-, beschreib- und ableitbaren Eigenschaften von Böden.

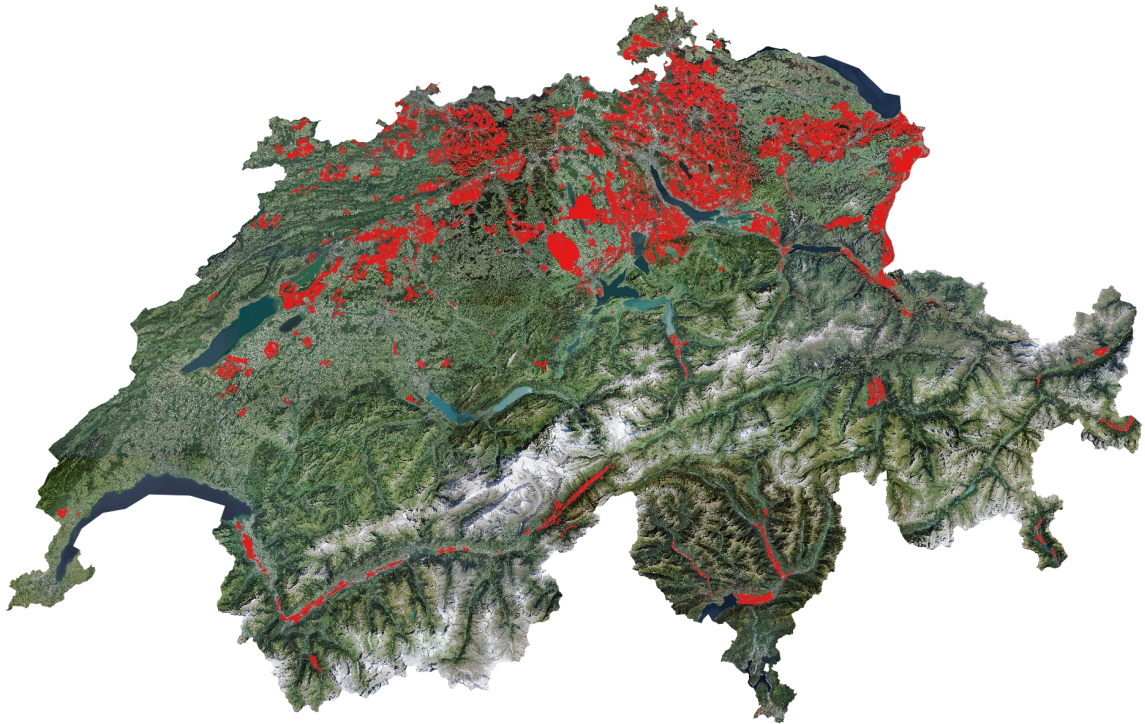


Abbildung 1. Übersicht über Bodenkartierungen in der Schweiz. Die rot eingefärbten Gebiete wurden im Massstab von 1:10.000 oder grösser kartiert. Für etwa 13% der Landwirtschaftsflächen werden die Bodenkarten als qualitativ hochwertig betrachtet, für weitere 6% liegen Karten vor, die noch im Feld verifiziert oder deren Datenschlüssel übersetzt werden müssen (Rehbein et al. 2019).

Die in der Schweiz verfügbaren Bodenkarten (Abbildung 1) wurden bisher nicht mit einer einheitlichen Kartiermethode erstellt. In verschiedenen Regionen wurden unterschiedliche Methoden zum Kartieren von Böden angewendet, wobei sich die generelle Vorgehensweise ähnelt. Anhand dieser Methoden werden Flächenkartierungen im Feld durchgeführt, bei denen Teilflächen mit ähnlichen Bodeneigenschaften (sogenannte «Kartiereinheiten») voneinander abgegrenzt und in einer Bodenkarte ausgewiesen werden. Die Kartieranleitung 2023 (KA23) basiert auf den verschiedenen Kartieranleitungen, Dokumentationen und Projekthandbüchern, die die Grundlage bisheriger Kartierungen in der Schweiz darstellen. Sie bildet das gemeinsame Verständnis über den Ablauf von Flächenkartierungen ab (Siegrist und Marugg 2023).

In den letzten Jahrzehnten hat sich das «Digital Soil Mapping» (DSM) rasant weiterentwickelt (Malone et al. 2023; Minasny und McBratney 2016). Hierunter wird der Einsatz von mathematischen und statistischen Methoden zur Erstellung von Bodenkarten verstanden. Hauptziel von DSM-Methoden ist die Erstellung von Bodenkarten auf Basis von quantitativen Beziehungen zwischen bodenkundlichen Felddaten und flächendeckend vorliegenden Umwelt- und Geodaten. International wurde in den letzten zwei Jahrzehnten in vielen Studien ein breites Spektrum von DSM-Methoden angewendet (Chen et al. 2022). In der Schweiz werden DSM-Methoden in verschiedenen Projekten eingesetzt und getestet, z. B. in dem von der Wyss Academy for Nature und dem Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT, Kanton Bern) lancierten Projekt «Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen» (kurz Wyss-Projekt; Tanner und Nussbaum 2022; Nussbaum und Burgos 2019) und im Rahmen der vom Kompetenzzentrum Boden (KOBO) in Zusammenarbeit mit den Bundesämtern für Raumentwicklung (ARE), Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW) und den Kantonen vorangetriebenen Weiterentwicklung der Kartiermethodik für eine schweizweite Bodenkartierung (kurz BoKa-CH; Keller et al. 2023).

Das Vorgehen bei Bodenkartierungen nach KA23 und unter dem Einsatz von DSM-Methoden weist einige Überschneidungen, aber auch grössere Unterschiede auf. Einen wesentlichen Unterschied gibt es hinsichtlich der Form der aus den Kartierungen resultierenden Bodenkarten. Bei der KA23 wird *eine Bodenkarte* in Form einer *Vektorkarte*

erstellt, in der die räumliche Verteilung der Bodeneigenschaften über Kartiereinheiten dargestellt wird. Bei Kartierungen mit DSM-Methoden hingegen werden für viele verschiedene Bodeneigenschaften jeweils *separate Bodenkarten* in Form von *Rasterkarten*³ erzeugt. Bei den bisher in der Schweiz durchgeführten Kartierungen (Abbildung 1) wurden Vektorkarten erstellt, im folgenden Kapitel wird daher zuerst die allgemeine Vorgehensweise bei solchen Kartierungen am Beispiel der KA23 skizziert. Anschliessend wird das Vorgehen bei Bodenkartierungen mit DSM-Methoden am Beispiel der BoKa-CH-Methode erläutert und Bodenkarten aus zwei verschiedenen Projekten vorgestellt.

3. Bodenkartierung nach KA23

Im Jahr 2023 wurde die Kartieranleitung 2023 (KA23) veröffentlicht (Siegrist und Marugg 2023). Die KA23 ist ein Teil des vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) beauftragten Projekts «Revision der Klassifikation und der Kartieranleitung der Böden der Schweiz» (www.boden-methoden.ch). Im Folgenden werden die einzelnen Phasen einer Bodenkartierung nach KA23 in einer zusammengefassten Form präsentiert.

3.1. Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase wird ein Kartierprojekt organisatorisch und fachlich geplant. Dies beinhaltet viele Aspekte wie die Definition des Zwecks der Kartierung, die Organisation der Qualitätssicherung und der Kommunikation zwischen allen beteiligten Akteuren, eine Kostenschätzung und eine Zeitplanung. Für die Kartierarbeiten im Feld besonders relevant sind die Festlegung des Projektperimeters und des Massstabs sowie die Beschaffung von Umwelt- und Geodaten, die grundlegende Informationen über das Projektgebiet in Kartenform darstellen. Der Projektperimeter definiert die zu kartierende Fläche und der Massstab bestimmt, in welcher räumlichen Dichte die Bodeninformationen erhoben und in der Bodenkarte dargestellt werden. Umwelt- und Geodaten wie beispielweise geologische Karten, digitale Geländemodelle, Vegetationskarten oder alte Bodenkarten (siehe Abbildung 2) bilden Informationen über verschiedene bodenbildende Faktoren ab, d.h. Faktoren, die die Entwicklung von Böden über einen langen Zeitraum beeinflussen. Die Umwelt- und Geodaten sind daher wichtige Informationsquellen, die Kartierende bei der Erarbeitung eines Verständnisses über das Projektgebiet und später bei der Kartierung im Feld unterstützen.

³ Bei Kartierungen mit DSM-Methoden werden Rasterkarten als primäres Produkt erstellt. Es ist jedoch möglich, aus den Rasterkarten Vektorkarten zu erzeugen. Ein Beispiel ist in Abbildung 17 dargestellt.

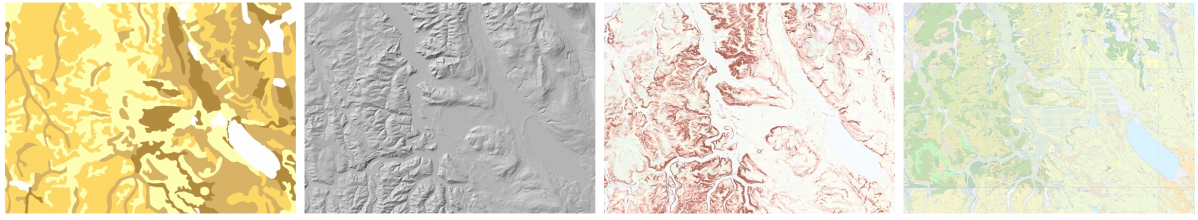


Abbildung 2. Auswahl von Umwelt- und Geodaten, die bei Bodenkartierungen als Informationsquellen über die räumliche Verteilung von bodenbildenden Faktoren eingesetzt werden können. Von links nach rechts: Bodeneignungskarte der Schweiz im Massstab 1:200.000 (© BLW), Digitales Höhenmodell DHM25 (© swisstopo), Hanglagen (© BLW), GeoCover (© swisstopo). Diese Abbildung dient nur der Darstellung einiger Beispiele, auf Legenden wurde daher verzichtet.

3.2. Konzeptphase

Das Ziel der Konzeptphase ist die Erarbeitung eines vertieften Verständnisses über die Bodenbildungsprozesse im Projektgebiet. Dazu werden zunächst die gesammelten Umwelt- und Geodaten (Abbildung 2) studiert und aufbereitet. Anhand dieser Informationen werden Hypothesen über die vorherrschenden Bodenbildungsfaktoren gebildet und das Projektgebiet in Konzepteinheiten eingeteilt. Bei Konzepteinheiten handelt es sich um Flächen, von denen angenommen wird, dass sie von einheitlichen oder zumindest ähnlichen Bodenbildungsfaktoren beeinflusst werden. In Übersichtsbegehungen werden anschliessend erste Bohrungen (Rekognoszierungsbohrungen) durchgeführt, um die Hypothesen und die Lage der Konzepteinheiten zu überprüfen. Hierbei wird besonders darauf geachtet, ob die Bohrungen neue Bodenformen (eine Bodenform ist eine vereinfachte Beschreibung eines Bodenkörpers mit einem typischen Aufbau und repräsentativen Eigenschaften) hervorbringen und ob die Lage der Bohrungen sich als Standort für ein Bodenprofil eignet. Anhand dieser Schritte werden in einem iterativen Prozess Informationen über das Projektgebiet gesammelt, die Hypothesen gegebenenfalls angepasst und ein Bodeninventar angelegt, in dem die vorkommenden Konzepteinheiten und Bodenformen gesammelt werden (Abbildung 3). Die gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Kartierkonzept zusammengefasst. Anschliessend wird eine Konzeptkarte entworfen, in der die Konzepteinheiten, die Standorte der erfolgten Bohrungen und priorisierte Standorte für Profilgruben dargestellt werden.



Bodenform	Konzepteinheit	Rekognoszierungsbohrung und Priorität	Relevanz für Kartiergebiet
tV, wW	Alluvium (AL), Schotter (SC) am See	7, 9, 10	hoch
bB, kB, IB	Alluvium (AL) und Kolluvium (KO) in Grundmoränenlandschaft	12, 24	mittel
gB, oY	Drumlin in (Grund-)Moräne	2, 6, 14, 26, 27, 32	hoch
fB, IB	Grundmoräne	15, 16, 18, 34	hoch
IB, tV	kolluviale Muldenlagen in der Moräne	3, 21, 22, 33	mittel
gB, fB, bB, IB	Grundmoräne auf Molasse	1, 36, 39, 42	hoch
gB, fB, bB, kB	Moräne über Molasse in Hanglage	4, 5, 17, 19, 20, 28, 30, 31	hoch
fB, IB, kB	Moräne in Hanglage	8, 11, 37, 38, 40, 41	hoch
cB	Sandstein	13, 25	gering
gO	Moränenwall	23, 43	gering
fB	Rundhöcker	29, 35	gering

Abbildung 3. Feldkartierende verschaffen sich in Übersichtsbegehungen (links) einen Eindruck vom Projektgebiet und führen erste Bohrungen durch (Mitte). Die gewonnenen Informationen werden in einem Bodeninventar festgehalten (rechts: fiktives Beispiel aus der KA23; Siegrist und Marugg 2023).

3.3. Profilphase

In der Profilphase steht die Beschreibung des Boden anhand von Bodenprofilen im Fokus. Auf Basis des Kartierkonzepts werden zunächst die definitiven Standorte der Bodenprofile unter Berücksichtigung von möglichen Werkleitungen (Drainagen, Abwasserleitungen, usw.) festgelegt. An diesen Standorten werden Profilgruben gegraben, in denen der Boden anhand einer präparierten, senkrechten Profilwand detailliert beschrieben werden kann (Abbildung 4). Dies erfolgt mit standardisierten Erfassungsformularen (sogenannten «Profilblättern»), in denen die einzelnen Bodenhorizonte anhand von festgelegten Parametern beschrieben werden. Es werden ebenfalls weitere Informationen über den Boden und den Standort vermerkt. Zusätzlich werden Bodenproben für Laboranalysen entnommen, die die Beschreibung des Bodenprofils im Feld ergänzen. Das Ziel der Profilphase besteht darin, die im Projektgebiet vorkommenden typischen Böden mit den Bodenprofilen möglichst repräsentativ zu beschreiben. Diese Profile dienen in der anschliessenden Kartierphase als Referenzböden und zur Eichung der Kartierenden.



Abbildung 4. Profilgruben (links) ermöglichen einen sicheren Einstieg zum Beprobieren und Beschreiben des Aufbaus und der Eigenschaften von Böden anhand einer senkrechten Profilwand (Mitte). Die Informationen über das Bodenprofil werden in einem standardisierten Profilblatt festgehalten (rechts).

3.4. Kartierphase

In der Kartierphase wird die Flächenkartierung manuell im Feld durchgeführt. Das Ziel ist die Erstellung einer Bodenkarte, in der Kartiereinheiten räumlich voneinander abgegrenzt und beschrieben werden (Abbildung 5). Eine Kartiereinheit beschreibt dabei einen Bodenkörper, dessen Bodeneigenschaften möglichst einheitlich sind bzw. nur in einem definierten Rahmen variieren. Kartiereinheiten werden anhand wichtiger Bodeneigenschaften wie der Körnung, dem Wasserhaushalt und dem Bodentyp beschrieben und ihr vertikaler Aufbau wird mit Hilfe von mindestens zwei Schichten (Ober- und Unterboden) charakterisiert. Bei einer Änderung des Bodenaufbaus oder der Bodeneigenschaften werden Grenzen zwischen Kartiereinheiten gezogen. Die Grösse der Kartiereinheiten hängt dabei massgeblich von dem Zielmassstab der Kartierung ab. Je kleiner der Massstab ist, desto grösser ist die Mindestgrösse einer Kartiereinheit. Grössere Kartiereinheiten können kleinräumige Unterschiede in den Bodeneigenschaften nicht abbilden, sie beinhalten daher oft mehrere Bodenformen und weisen eine grössere Varianz der Bodeneigenschaften auf.

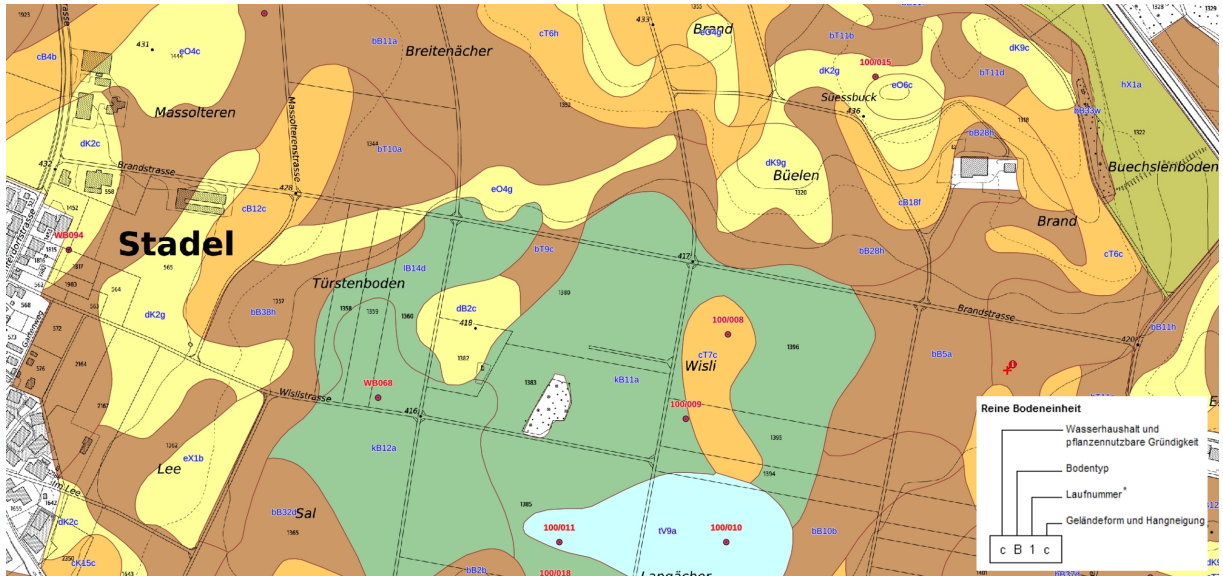


Abbildung 5. Beispiel einer Bodenkarte im Masstab 1:5.000 aus dem Kanton Zürich (<https://maps.zh.ch/?topic=BoKaZH>; Jäggli et al. 1998). Die Kartiereinheiten (hier «Bodeneinheiten» genannt) werden räumlich voneinander abgegrenzt und mit einem vierstelligen Code (siehe Legende) beschriftet. Jede Kartiereinheit wird anhand einer Reihe von Bodeneigenschaften charakterisiert. Je nach Eigenschaft werden diese für den Gesamtboden (z.B. Bodentyp, Wasserhaushaltsgruppe) oder sowohl für den Ober- als auch für den Unterboden (z.B. Skelettgehalt, Körnung) ausgewiesen (© Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich).

Um eine Bodenkarte in der Praxis zu erstellen, werden zunächst Hypothesen zur Abgrenzung der Kartiereinheiten auf Basis der in den vorherigen Schritten gewonnenen Informationen erarbeitet. Zur Überprüfung dieser Hypothesen werden anschliessend Bohrungsstandorte festgelegt und Bohrungen durchgeführt. Entsprechen die dabei erhobenen Bodeninformationen den Hypothesen, werden die Grenzen der Kartiereinheiten bestätigt. Ist dies nicht der Fall, müssen die Grenzen korrigiert werden. Es kann vorkommen, dass neue Bodeneinheiten erbohrt werden, die bisher nicht im Bodeninventar erfasst wurden. In diesem Fall muss das Bodeninventar erweitert werden. In einem iterativen Prozess erfolgt anhand dieser Schritte die Erstellung der finalen Bodenkarte.

3.5. Datenaufbereitung und Kontrolle

In der letzten Phase der Kartierung werden verschiedene Schritte durchgeführt, um die erhobenen Daten und die Bodenkarte zu bereinigen. Dazu gehört eine Prüfung aller Punkt- und Flächendaten auf Vollständigkeit und Plausibilität sowie ein Abgleich der Bodenkarte, insbesondere in Grenzbereichen zwischen Gebieten, die von verschiedenen Personen kartiert wurden. Die Profildaten werden ebenfalls erneut geprüft und mit Laborresultaten ergänzt. Falls die Daten während der Kartierung analog aufgenommen wurden, werden die Feldkarten digitalisiert und zusammen mit den Profil- und Bohrungsdaten in eine Datenbank überführt.

3.6. Infobox Bodenkartierung nach KA23

Wie werden Bodeninformationen erhoben?

- _ Bodeninformationen werden an Bodenprofilen und Bohrungen erhobene (Abbildung 3 und 4). Dies umfasst die Beschreibung und Schätzung von Bodeneigenschaften im Feld sowie Messungen im Labor.

Was sind die Produkte der Bodenkartierung?

- _ Das wichtigste Produkte ist eine Bodenkarte in Form einer Vektorkarte, in der die räumliche Verteilung der Bodeneigenschaften anhand von Kartiereinheiten dargestellt wird (Abbildung 5).
- _ Eine Kartiereinheit grenzt eine Fläche ab, in der die Bodeneigenschaften möglichst einheitlich sind bzw. nur innerhalb eines definierten Rahmens variieren.
- _ Jede Kartiereinheit wird mit einem Code markiert, der wichtige Information wie Bodentyp, Wasserhaushaltsgruppe und Terrain ausweist (Abbildung 5). Zusätzlich werden in der Regel verschiedene Bodeneigenschaften (z.B. Ton, Skelett) für jede Kartiereinheit bestimmt und teilweise separat in Karten ausgewiesen.

Welchen räumlichen Detailgrad bilden die Bodenkarten ab?

- _ Der räumliche Detailgrad über die Fläche wird vom Massstab bestimmt. Je grösser der Massstab (1:5.000 > 1:25.000), desto mehr räumliche Details werden abgebildet. Der Massstab und die Mindestgrösse einer Kartiereinheit hängen zusammen: Bei einem für Kartierungen auf Landwirtschaftsflächen typischen Massstab von 1:5.000 beträgt die Mindestgrösse einer Kartiereinheit 0.25 ha, bei einem für Übersichtskarten typischen Massstab von 1:25.000 beträgt sie 6.25 ha.
- _ Unterschiede des Bodenaufbaus über die Tiefe werden berücksichtigt, indem die Bodeneigenschaften je Kartiereinheit für mindestens zwei Schichten (Ober- und Unterboden) beschrieben werden. Je nach Ziel des Kartierprojekts ist eine Berücksichtigung von drei Schichten (Oberboden, 2 Unterbodenschichten) ebenfalls möglich.
- _ Die Punktdichte, d.h. die Anzahl der Profile/Bohrungen pro Fläche, ist massstabsabhängig. Für eine Bodenkarte im Massstab 1:5.000 sollten mindestens 400 Punktinformationen (Profile und Bohrungen) pro 100 ha erhoben werden, bei einem Massstab von 1:25.000 mindestens 16 Punktinformationen.

Einordnung

- _ Vektorkarten wie die Bodenkarten nach KA23 existieren schon seit mehreren Jahrzehnten und sind für viele Nutzer:innen mit einem bodenkundlichen Hintergrund intuitiv begreif- und nutzbar. Die klare Abgrenzung der Kartiereinheiten kann die Lesbarkeit der Karten erhöhen.
- _ Für Nutzer:innen ohne einen bodenkundlichen Hintergrund sind die Karten mit ihren Codierungen oftmals schwer interpretier- und nutzbar. Die Bodenkarten werden daher teilweise in einfacher lesbare Themenkarten übersetzt, in denen abgeleitete, interpretierte Informationen wie beispielsweise die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden⁴ oder die landwirtschaftliche Nutzungseignung⁵ ausgewiesen werden.

⁴ Beispiel im Geoportal Kanton Solothurn (<https://geo.so.ch/map/> => Verdichtungsempfindlichkeit (Landwirtschaftsboden)).

⁵ Beispiel im Geoportal des Kanton Zürich (<https://maps.zh.ch/> => Landwirtschaftliche Nutzungseignungskarte).

4. Weiterentwicklung der Kartiermethodik für eine schweizweite Bodenkartierung (BoKa-CH)

Der Bundesrat hat im März 2023 ein Konzept für eine schweizweite Bodenkartierung (BoKa-CH) bewilligt⁶. Das KOBO hat den Auftrag, in Zusammenarbeit mit den Bundesämtern ARE, BAFU und BLW, Kantonen und Ingenieurbüros, die technische Weiterentwicklung der Bodenkartierung im Hinblick auf eine Skalierbarkeit für eine schweizweite Bodenkartierung voranzutreiben. Mit technischen Neuerungen soll die Kartierung grosser Gebiete zeit- und kostengünstiger gestaltet werden. Zu diesem Zweck führt das KOBO seit 2021 in verschiedenen Kantonen sogenannte KOBO-Pilotprojekte durch; seit 2024 werden zusätzlich kantonale Pilotprojekte vom BAFU unterstützt. In diesen Projekten wird das Konzept zur Bodenkartierung getestet und schrittweise weiterentwickelt. Es kann sich dementsprechend noch in Details ändern, beim grundsätzlichen Vorgehen werden aber keine wesentlichen Anpassungen erwartet. Im Folgenden wird das grundsätzliche Vorgehen nach dem derzeitigen Stand skizziert, weitere Details finden sich in den Fachberichten zu den KOBO-Pilotprojekten (www.ccsols.ch).

4.1. Projektvorbereitung

In der Projektvorbereitung wird das Kartierprojekt unter Einbezug der zuständigen kantonalen Fachämter und beteiligter Ingenieurbüros organisatorisch geplant. Zur Einarbeitung in das Projektgebiet werden Gebietsbegehungen durchgeführt und Umwelt- und Geodaten beschafft, aufbereitet und ausgewertet. Bei diesen Datensätzen handelt es sich vorwiegend um Karten, die wichtige Hinweise für die Durchführung der Kartierung liefern (z.B. kantonale Drainagepläne, Amtliche Vermessung, Leitungskataster) oder bodenbildende Faktoren darstellen (z.B. Relief-, Vegetations- und Landnutzungskarten). Zusätzlich zu den kantonal oder landesweit verfügbaren Daten (siehe Beispiel in Abbildung 2) hat das KOBO eine Reihe von Karten speziell für die Verwendung bei Bodenkartierung entwickelt (Stumpf et al. 2023; Behrens et al. 2023). Hierzu zählen verschiedene Ableitungen aus dem digitalen Höhenmodell und aus Fernerkundungsdaten, die verschiedene bodenbildende Faktoren abbilden (Abbildung 6).

⁶ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-94004.html>

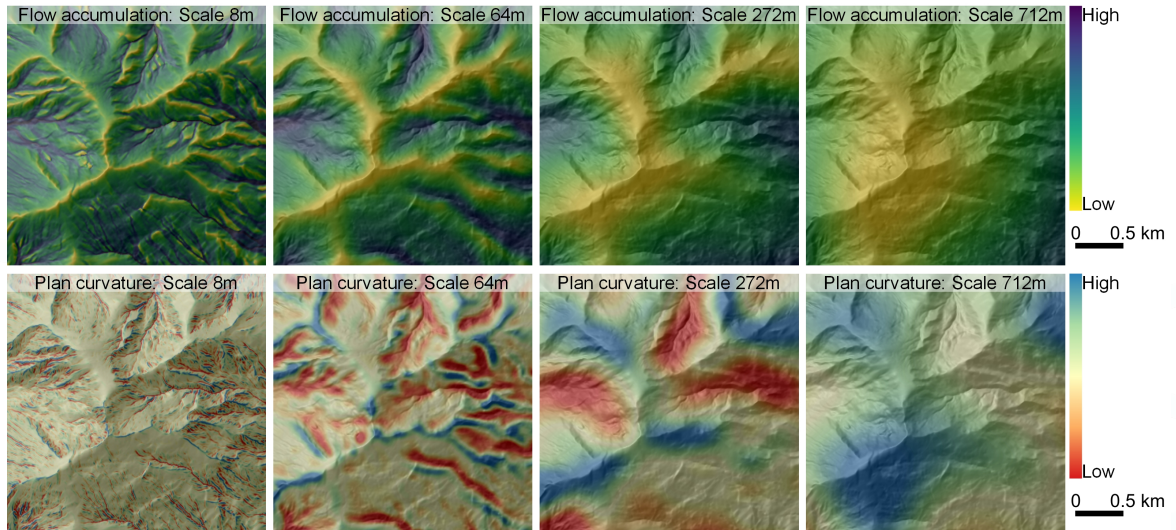


Abbildung 6. Beispiele von Ableitungen aus dem digitalen Höhenmodell, die bei Bodenkartierungen mit DSM-Methoden verwendet werden (Behrens et al. 2023). Verlagerungsprozesse spielen bei der Entwicklung von Böden eine wichtige Rolle, Bodenmaterial wird tendenziell von höher gelegenen Standorten (z. B. einer Bergkuppe) abgetragen und sammelt sich an niedriger gelegenen Standorten an (z. B. einem Tal). In einem Tal wiederum gibt es oftmals auch kleinräumige Höhenunterschiede, die zu kleinräumigen Verlagerungen innerhalb des Tals führen. Derartige gross- und kleinräumige Prozesse können durch Ableitungen aus dem Höhenmodell auf verschiedenen räumlichen Skalen abgebildet und bei der Erstellung von Bodenkarten mit DSM-Methoden berücksichtigt werden. Aber auch bei der «klassischen» Feldkartierung können diese Informationen wertvoll sein, eine Auswahl dieser Ableitungen steht allen Kartierenden zur Verfügung (Behrens et al. 2023).

4.2. Konzeptphase

Das Ziel dieser Phase besteht in der Erstellung eines Beprobungskonzepts bzw. einer Konzeptkarte, in der die Standorte von Bodenprofilen und Bohrungen festgelegt werden (Abbildung 7). Bei der BoKa-CH werden dabei drei Hierarchiestufen (kurz: H) unterschieden:

- _ H1: Bodenprofile,
- _ H2: Bohrungen für pedologische Aufnahmen,
- _ H3: Bohrungen für spektroskopische Messungen im Labor.

Mit steigender Hierarchiestufe (H1 -> H2 -> H3) nimmt die Anzahl der zu beprobenden Standorte zu, der Detaillierungsgrad der aufgenommenen Bodeninformationen hingegen ab (mehr Details im nächsten Abschnitt). In einem optimalen Beprobungskonzept werden die Standorte so gewählt, dass sie möglichst repräsentativ das gesamte Spektrum der Bodeneigenschaften im Kartiergebiet abbilden. Das Beprobungskonzept wird vorrangig mit DSM-Methoden erstellt und ist in der Lage, eine grosse Anzahl der oben genannten Umwelt- und Geodaten bei der Festlegung der optimalen Standorte zur Beprobung von Profilen und Bohrungen zu berücksichtigen. Auf der Basis des Beprobungskonzepts werden die exakten, definitiven Standorte für die Profile durch die Kartierenden festgelegt. Für Bohrungen weist das Beprobungskonzept zusätzliche Ausgleichflächen aus, die Kartierende bei schwer zugänglichen Standorten alternativ beprobieren können.



Abbildung 7. Darstellung eines Ausschnitts des Beprobungskonzepts im Pilotprojekt des KOBO in Diemerswil (Keller et al. 2023). Die Hierarchiestufen sind farblich gekennzeichnet. H1 (Bodenprofile): rot; H2 (Bohrungen für pedologische Aufnahmen): grün; H3 (Bohrungen für spektroskopische Messungen im Labor): gelb.

4.3. Feld- und Laborarbeiten

In dieser Phase werden Bodeninformationen gemäss Beprobungskonzept für die drei Hierarchiestufen erhoben. Bei den H1-Standorten handelt es sich um Bodenprofile, die horizontweise detailliert beschrieben und digital erfasst werden. Das Vorgehen entspricht im Wesentlichen dem Vorgehen bei der KA23 (siehe Abbildung 4). Zusätzlich werden Proben zur Laboranalyse einiger weiterer physikalischer und chemischer Bodeneigenschaften und für spektroskopische Aufnahmen genommen. An den H2-Standorten werden wahlweise Bohrfahrzeuge zur automatisierten Probennahme eingesetzt (Abbildung 8) oder die Bohrungen manuell durchgeführt. Die entnommenen Bohrkern ermöglichen eine horizontweise Ansprache des Bodens (Abbildung 8). Für einen gewissen Anteil werden ebenfalls Laboranalysen durchgeführt. Die H3-Standorten werden ebenfalls anhand einer automatisierten Probennahme mit einem Bohrfahrzeug beprobt. Die dabei erhobenen Proben werden spektroskopisch im Labor analysiert. Zusätzlich werden für etwa 10% der Proben Laboranalysen für ausgewählte Bodeneigenschaften (z.B. Ton-, Schluff- und Humusgehalt, pH-Wert) nach den konventionellen Labormethoden durchgeführt. Für alle Bodenproben werden die Spektraldaten mit diesen Labormessungen kalibriert und auf diese Weise für alle H3-Standorte kostengünstig Bodeneigenschaften prognostiziert. Alle erhobenen Punktdaten werden digital dokumentiert und bilden die Grundlage für die Modellierung von Bodeneigenschaftskarten mit DSM-Algorithmen im nächsten Schritt.



Abbildung 8. An H2-Standorten werden Bohrungen für pedologische Aufnahmen (links) mit einem Bohrfahrzeug (rechts) oder manuell entnommen. An H3-Standorten findet keine bodenkundliche Beschreibung statt, es werden Proben aus verschiedenen Tiefen für Analysen im Labor entnommen. Die Bohrfahrzeuge können mit verschiedenen Bohrsystemen betrieben werden. Im Beispiel auf der rechten Seite ist der Aufsatz für die H2-Bohrungen montiert.

4.4. Kartenerstellung

Die Erstellung von Bodenkarten erfolgt mittels DSM-Algorithmen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens. Diese Algorithmen sind in der Lage, anhand der erhobenen Punktdaten (H1 bis H3) und der die bodenbildenden Faktoren abbildenden Umwelt- und Geodaten, die räumliche Verteilung der Bodeneigenschaften im Kartiergebiet zu berechnen. Als Resultat liegen Rasterkarten (und bei Bedarf auch Vektorkarten) für eine Vielzahl von Bodeneigenschaften (z.B. Tongehalt, Humusgehalt, Skelettgehalt, Wasserhaushaltsgruppe, Bodentyp) mit jeweils spezifischen räumlichen Mustern für verschiedene Tiefenstufen vor (siehe Abbildung 9). Diese Karten können mit verschiedenen zu Verfügung stehenden Methoden (z.B. Kreuzvalidierung oder unabhängige Validierung mit zusätzlichen Felddaten) validiert werden. Zusätzlich findet eine Qualitätssicherung und Plausibilitätsprüfung im Feld statt.

4.5. Auswertung und Produkte

Die Erstellung von Themenkarten als zusätzliche Produkte der Bodenkartierung ist im Kartierkonzept der BoKa-CH fest integriert. Themenkarten stellen spezifische, aus den Bodeneigenschaften abgeleitete Informationen dar, die für Nutzer:innen aus unterschiedlichen Themenbereichen (z.B. Landwirtschaft, Gewässerschutz, Raumplanung) einen Mehrwert erzeugen können (Abbildung 10). Die Nutzer:innen benötigen aufbereitete und für sie lesbare Informationen wie etwa das Wasserspeichervermögen des Boden oder sein Vermögen zur Filterung von Schadstoffen. Viele solcher abgeleiteter Informationen werden als Themenkarten entworfen, mit den Nutzer:innen besprochen und bei Bedarf weiterentwickelt. Das Ziel besteht darin, mit der Zeit über einen breiten Katalog an Themenkarten zu verfügen, um die verschiedenen Bedürfnisse abzudecken.

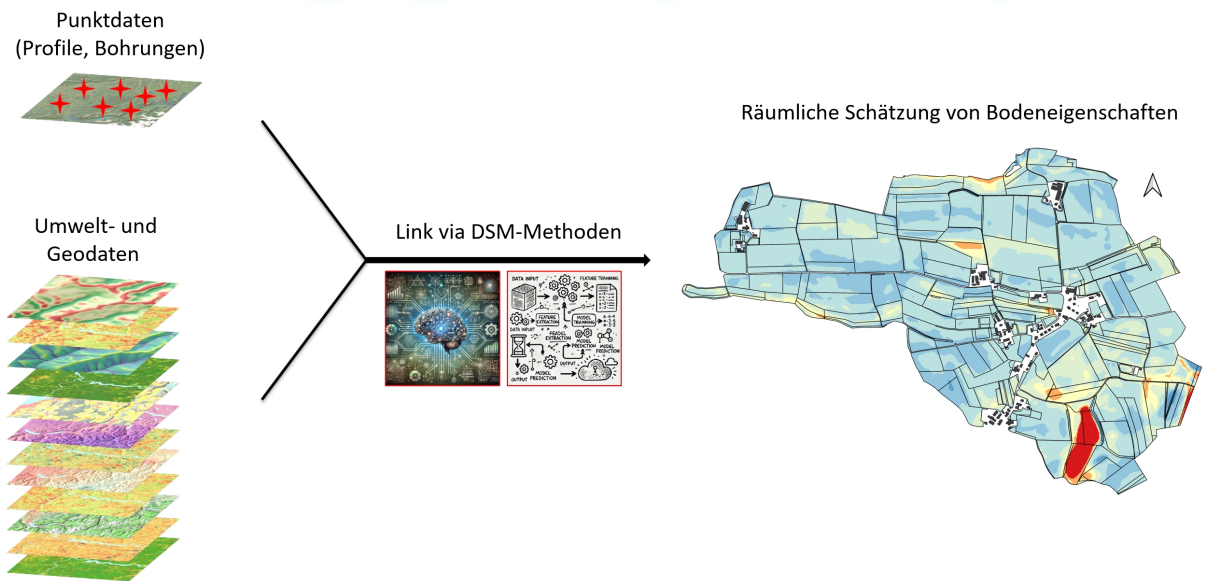


Abbildung 9. Schematische Darstellung des Prozesses der Erstellung von Bodenkarten mit DSM-Methoden. Die Grundlage bilden die an Profilen und Bohrungen erhobenen Bodeninformationen (Labordaten, Feldbeschreibungen) und eine Reihe von Umwelt- und Geodaten, die verschiedene bodenbildenden Faktoren abbilden. Ein DSM-Algorithmus kombiniert diese Daten und ermittelt Zusammenhänge zwischen ihnen. Beispielsweise kann der Algorithmus erkennen, wenn Böden in Tallagen durch Ablagerungen tiefergründiger und eher vom Grundwasser beeinflusst sind als solche auf Kuppen. Anhand der identifizierten Zusammenhänge kann der wahrscheinlichste Wert einer Bodeneigenschaft an jedem Ort des Projektgebiet berechnet werden. Zudem werden mit dem DSM-Algorithmus die für ein Gebiet wichtigsten bodenbildenden Faktoren für jede Bodeneigenschaft bestimmt.

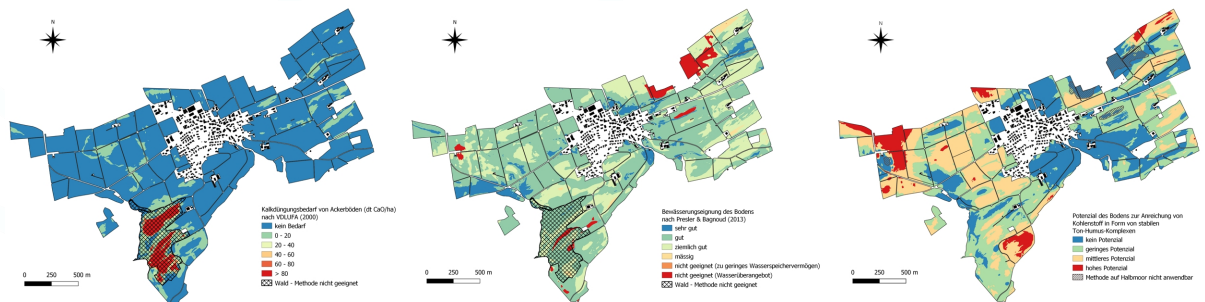


Abbildung 10. Beispielhafte Darstellung von Themenkarten: Kalkdüngungsbedarf (links), Bewässerungseignung des Bodens (Mitte), Potenzial des Bodens zur Anreicherung von organischem Kohlenstoff (rechts).

4.6. Infobox Bodenkartierung nach BoKa-CH

Wie werden Bodeninformationen erhoben?

- _ Bodeninformationen werden an Bodenprofilen und Bohrungen erhoben (Abbildung 4 und 8). Dies umfasst die Beschreibung und Schätzung von Bodeneigenschaften im Feld sowie Messungen im Labor.
- _ Zusätzlich werden Bohrungen für die spektroskopische Bestimmung von Bodeneigenschaften durchgeführt.

Was sind die Produkte der Bodenkartierung?

- _ Für jede Bodeneigenschaft wird eine separate Rasterkarte pro Tiefenstufe erzeugt, in der die räumliche Verteilung der jeweiligen Bodeneigenschaft (z.B. Tongehalt, Humusgehalt, Bodentyp) dargestellt wird (Abbildung 11). Bei Bedarf werden ebenfalls Vektorkarten anhand der Rasterkarten erstellt.
- _ Zusätzlich werden Themenkarten erzeugt, in denen aus den Bodeneigenschaftskarten abgeleitete und interpretierte Informationen dargestellt werden (z.B. landwirtschaftliche Nutzungseignungsklassen, Abbildung 14).

Welchen räumlichen Detailgrad bilden die Bodenkarten ab?

- _ In den ersten Pilotprojekten des KOBO wurde eine Auflösung von 4x4 m verwendet. Je nach Fragestellung können die Flächendaten auf grössere Flächeneinheiten aggregiert werden (z.B. Parzellenebene). Hochauflösende Rasterkarten können kleinräumige Variationen der Bodeneigenschaften selbst innerhalb von Ackerbauparzellen abbilden. Sie eignen sich daher für den Einsatz in der Präzisionslandwirtschaft.
- _ Unterschiede des Bodenaufbaus über die Tiefe werden berücksichtigt, indem für fixe Tiefenschichten jeweils separate Karte erstellt werden.
- _ In den ersten Pilotprojekten des KOBO wurden verschiedene Aufteilungen der Tiefenschichten (z.B. 0–20, 20–40, 40–60, 60–90 cm) getestet. Die Anzahl der Tiefenschichten lag zwischen 3 und 5.
- _ Die Güte der Karten wird mit einer unabhängigen Validierung als auch anhand von Kreuzvalidierungen ausgewiesen. Die Abhängigkeit zwischen der Beprobungsdichte (=Anzahl der Profile/Bohrungen pro Fläche) und der Güte der Karten wird in Pilotprojekten in verschiedenen Regionen der Schweiz untersucht.

Einordnung

- _ Rasterkarten (und Vektorkarten) für einzelne Bodeneigenschaften sind für viele Nutzer:innen gut lesbar und flexibel in der Anwendung.
- _ Eine zusammenfassende Interpretation der vielen verschiedenen Karten kann herausfordernd sein. Die Auswertung und Übersetzung der bodenkundlichen Informationen in leicht verständliche Themenkarten für verschiedene Nutzergruppen (z.B. Abbildung 12 und 14) ist daher fest in den Kartierablauf der BoKa-CH integriert.
- _ Im Gegensatz zum Ausland sind mit DSM-Methoden erstellte Bodenkarten in der Schweiz noch wenig verbreitet. In den ersten Pilotprojekten wurden die erzeugten Bodenkarten von den lokalen Landwirten und kantonalen Fachämtern überwiegend positiv bewertet.
- _ Grundsätzlich wird durch die Integration von neuen Methoden in den Kartierablauf mit einem starken Skalierungseffekt für grosse Gebiete gerechnet.

5. Produkte von Bodenkartierungen

In diesem Abschnitt werden mit DSM-Methoden erstellte Bodenkarten aus zwei Projekten vorgestellt. Zunächst wird das KOBO-Pilotprojekt in Diemerswil (BoKa-CH) und die Pilotkartierung Wohlen-Meikirch (Wyss-Projekt) kurz beschrieben. Aus den jeweiligen Projekten werden einige Beispiele für Bodeneigenschaftskarten und Themenkarten vorgestellt. Dazu zählen Karten, die grundlegende Bodeneigenschaften (Tongehalt, pH-Wert, Humusgehalt) flächennah und für verschiedene Tiefenstufen darstellen (Abbildung 11). Ausserdem werden zwei Themenkarten gezeigt, die interpretierte Informationen darstellen (Korrekturfaktor Stickstoffnorm, Nutzungseignungsklassen; siehe Abbildung 12 und 14). Aus dem Wyss-Projekt werden Karten zu abgeleiteten Bodeneigenschaften (pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG), Bodentypen) gezeigt. Bei der pnG wird der Aspekt der Unsicherheit mit einer Unsicherheitskarte (Abbildung 16) verdeutlicht, die Bodentypen (Abbildung 17) werden sowohl als Rasterkarte als auch als Vektorkarte dargestellt.

5.1. KOBO-Pilotprojekt Diemerswil (BoKa-CH)

Das Pilotprojekt wurde im Rahmen der BoKa-CH in den Jahren 2021–2022 in der Umgebung von Diemerswil (BE) auf einer Fläche von etwa 185 ha durchgeführt, es handelt sich um vornehmlich landwirtschaftlich genutzte Böden (Keller et al. 2023). An 13 Profilen und mehr als 150 Bohrungen wurde der Boden pedologisch beschrieben, Proben aus unterschiedlichen Horizonten entnommen und im Labor analysiert. Zusätzlich wurden indirekte Messungen mit verschiedenen Sensoren (VIS- und NIR-Spektroskopie, GAMMA-Sensoren) an >1.000 Standorten durchgeführt. Auf Basis dieser Informationen und einer Reihe von Umweltparametern wurden Karten für eine Reihe von Bodeneigenschaften mit einer Auflösung von 4x4 m für mehrere Tiefenstufen mit DSM-Methoden erstellt, sowie daraus abgeleitete Themenkarten.

5.1.1. Karten von Bodeneigenschaften

Als Beispiele für Karten von grundlegenden Bodeneigenschaften sind der Humusgehalt in zwei Tiefenstufen sowie der Tongehalt und der pH-Wert im Oberboden in Abbildung 11 dargestellt. Die bodenbildenden Faktoren variieren räumlich in der Fläche und Tiefe und wirken unterschiedlich auf die verschiedenen Bodeneigenschaften. Die Rasterkarten veranschaulichen deutlich, wie unterschiedlich die räumlichen Muster von verschiedenen Bodeneigenschaften im gleichen Gebiet sein können.

Bei den Karten zum Humusgehalt (Abbildung 11a/b) sticht besonders ein Gebiet im Süden des Projektgebiets hervor. Hierbei handelt es sich um ein ehemaliges Halbmoor, das über einen langen Zeitraum von einem hohen Grundwasserstand gekennzeichnet war. Unter diesen sauerstoffarmen Bedingungen ist der Abbau der organischen Substanz (Humus) durch Mikroorganismen stark gehemmt, sie kann sich daher stark anreichern und viel höhere Gehalte als in den umliegenden mineralischen Böden erreichen. Auffallend ist ebenfalls die Abnahme des Humusgehalts vom Oberboden (0–20 cm) zu der darunter liegenden Tiefenstufe (20–50 cm; vergleiche Abbildung 11a und b). Dies ist ein typisches Muster, da die organische Substanz zu grossen Teilen von der Bodenoberfläche (abgestorbene Pflanzenbestandteile, Ernterückstände) von Organismen in den Boden eingetragen und mit dem Boden vermischt wird.

Diese Aktivität nimmt mit der Tiefe ab, weshalb die höchsten Mengen an organischer Substanz im Oberboden zu finden sind.

Das ursprüngliche geologische Ausgangsmaterial (Fest- oder Lockergestein) wurde im Laufe der Bodenbildung über mehrere Jahrtausende durch verschiedene Verwitterungsprozesse zerkleinert. Die dabei entstandenen und verschiedenen grossen Mineralpartikel haben unterschiedliche Eigenschaften. Sie werden anhand ihrer sogenannten Korngrösse in Ton (<2 µm), Schluff- (2–63 µm) und Sand (63–2000 µm) eingeteilt – alle grösseren Partikel werden als «Bodenskelett» zusammengefasst. Der Tongehalt wird vor allem vom geologischen Ausgangsmaterial bestimmt, aber auch von Erosions- und Ablagerungsprozessen (Abbildung 11c). Ton ist besonders für die Nährstoffversorgung von Bedeutung, da wichtige Nährstoffe chemisch an Tonpartikel gebunden werden. Tonpartikel gehen aber auch Verbindungen mit der organischen Substanz ein (Ton-Humus-Komplexe) und verlangsamen ihren mikrobiellen Abbau.

Der pH-Wert (Abbildung 11d) wird auf landwirtschaftlichen Flächen stark durch menschliche Einflüsse (Kalkung) geprägt. Ackerflächen werden in der Regel gekalkt, um einer zunehmenden Versauerung entgegenzuwirken und einen optimalen pH-Wert für die Nährstoffversorgung einzustellen. Auf Wiesen und Weiden wird weniger gekalkt, sie weisen daher oft geringere pH-Werte auf. Im Projektgebiet wird der grösste Teil der Flächen vornehmlich als Acker genutzt, ein kleinerer Teil als Wiese oder Weide. Die räumliche Verteilung dieser Flächen wird in der pH-Karte ziemlich gut abgebildet.

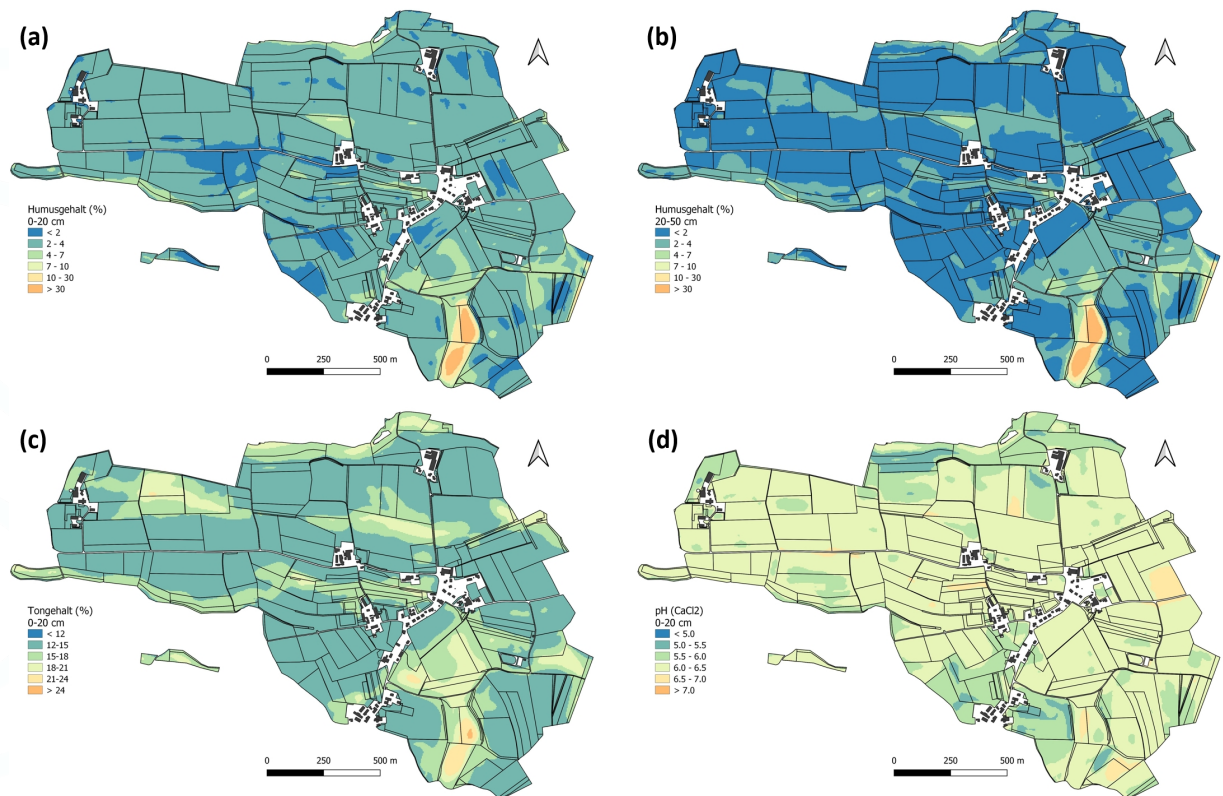


Abbildung 11. Bodeneigenschaftskarten im Pilotprojekt Diemerswil: (a) Humusgehalt (%) im Oberboden (0–20 cm), (b) Humusgehalt (%) in der Tiefenstufe 20–50 cm, (c) Tongehalt (%) im Oberboden (0–20 cm), (d) pH-Wert (CaCl₂) im Oberboden (0–20 cm).

5.1.2. Korrekturfaktor der Stickstoffnorm

Stickstoff ist ein essenzieller Nährstoff für das Pflanzenwachstum. Die Stickstoffdüngung sollte optimal an den Bedarf der angebauten Ackerkultur angepasst werden – eine zu geringe Menge kann den Ernteertrag beeinträchtigen, bei einer zu hohen Menge kann es zu einer Auswaschung ins Grund- oder Oberflächenwasser kommen. In der Schweiz gibt es für die wichtigsten Kulturen Düngungsnormen, die den normalen Bedarf dieser Kulturen quantifizieren. In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie der angebauten Vorfrucht, der lokalen Regenmenge oder den Bodeneigenschaften sollte die entsprechende Düngungsnorm allerdings korrigiert werden (Richner und Sinaj 2017). Von den Bodeneigenschaften sind es insbesondere die Menge an organischer Substanz (Humusgehalt) und der Tongehalt, die die Stickstoffdüngung beeinflussen. Der Humusgehalt bestimmt die potenzielle Nachlieferung von Stickstoff durch Mineralisierung der organischen Substanz, bei einem hohen Humusgehalt muss dementsprechend weniger gedüngt werden. Ein hoher Tongehalt hat einen gegenteiligen Effekt. Ton bindet den in pflanzenverfügbaren Form vorliegenden Stickstoff und verringert das Mineralisierungspotenzial der organischen Substanz, da diese mit Ton stabile Verbindungen eingeht. Bei dem bodenbedingten Korrekturfaktor für die Stickstoffnorm werden diese beiden Faktoren integriert (siehe Abbildung 12). In der Karte ist dementsprechend räumlich ausgewiesen, wie die Normdüngung bodenbedingt korrigiert werden sollte, um die Stickstoffversorgung zu optimieren.

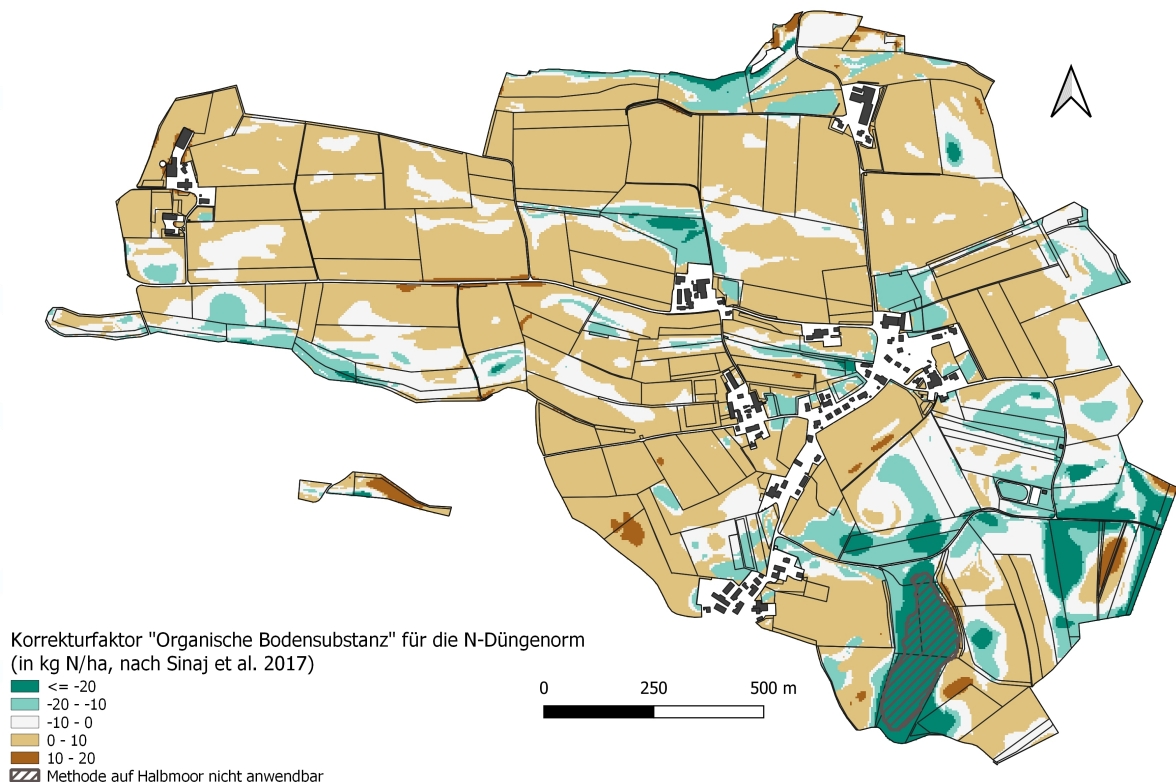


Abbildung 12. Darstellung des Korrekturfaktors «Organische Bodensubstanz» für die Stickstoffdüngenorm im Pilotprojekt Diemerswil. Der Korrekturfaktor quantifiziert, wie viel Dünger auf Grund der Bodeneigenschaften im Vergleich zur Düngungsnorm ausgebracht werden sollte, um eine optimale Stickstoffversorgung zu erreichen.

5.1.3. Nutzungseignungsklassen

Nicht jeder Standort eignet sich gleich gut für den Anbau landwirtschaftlicher Produkte. An einigen Standorten können anspruchsvolle Kulturen wie Getreide oder Gemüse gedeihen, während andere wiederum nur als extensives Grünland genutzt werden können. Die Eignung eines Standorts wird massgeblich von Klima, Terrain und Boden bestimmt. Das Klima (z. B. Vegetationsperiode, Temperatur- und Niederschlagsverteilung, Frost) setzt die Rahmenbedingungen für das Wachstum spezifischer Kulturen, das Terrain (insbesondere die Hangneigung) bestimmt die Befahrbarkeit mit landwirtschaftlichen Maschinen und der Boden beeinflusst die Nährstoffversorgung, die Wasserverfügbarkeit, den Lufthaushalt, die Bearbeitbarkeit und vieles mehr. Für die Schweiz wurde kürzlich die Methode zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung, die aus den 1990-Jahren stammt und auf den genannten Faktoren basiert, neu überarbeitet und als Testversion veröffentlicht (Greiner et al. 2023). Die Beurteilung erfolgt anhand von 10 Nutzungseignungsklassen (NEK), wobei NEK 1 als beste Klasse (uneingeschränkte Fruchtfolge) und NEK 10 als schlechteste Klasse (sehr feuchtes Streuland) bewertet wird. Bei der Bewertung der NEK werden neben dem Klima und Terrain insgesamt sechs verschiedene Bodeneigenschaften berücksichtigt (Abbildung 13). Die NEK-Methode basiert auf dem Prinzip des am stärksten limitierenden Faktors.

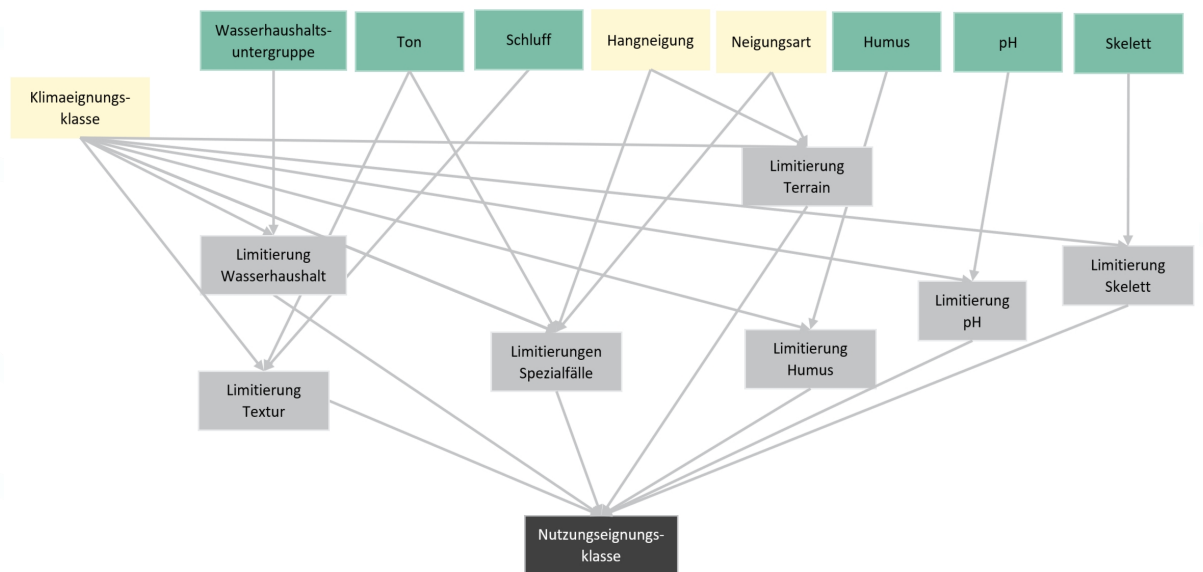


Abbildung 13. Grafischer Überblick der Methode zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung nach Greiner et al. (2023). Grün: Eingangsgrössen Bodendaten, gelb: weitere Eingangsgrössen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

In dem Pilotgebiet Diemerswil sind neun der möglichen zehn NEK anzutreffen (Abbildung 14). In diesem Gebiet stellt das Klima generell keine Limitierung dar, die Unterschiede in der Bewertung der Nutzungseignung beruhen daher ausschliesslich auf den lokalen Terrain- und Bodeneigenschaften. Im grössten Teil des Gebiets ist die Nutzungseignung nur leicht eingeschränkt (NEK 2 und NEK 3), diese Einschränkungen beruhen hauptsächlich auf der Textur der Böden, d.h. auf der Verteilung der unterschiedlichen Korngrössen (Ton, Schluff, Sand). Böden mit einer ausgeglichenen Verteilung der Korngrössen weisen generell einen guten Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt aus, leichte einseitige Verschiebungen zu einer bestimmten Korngrösse im Projektgebiet führen zu einer leichten Einschränkung in der Nutzung. Stärkere Einschränkungen in einigen Teilen des Projektgebiets sind vor allem auf einen ungünstigen Wasserhaushalt (Vernässung der Böden) zurückzuführen. Zusätzlich limitiert die Hangneigung an einigen Hängen die Befahrbarkeit mit landwirtschaftlichen Maschinen und erhöht gleichzeitig das Erosionsrisiko, was die landwirtschaftliche Nutzung ebenfalls einschränkt.



Abbildung 14. Darstellung der Nutzungseignungsklassen (NEK) im Pilotprojekt Diemerswil.

5.2. Pilotkartierung Wohlen-Meikirch (Wyss-Projekt)

Das von der Wyss Academy for Nature und dem Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT, Kanton Bern) lancierte Projekt «Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen» wird von der Hochschule für Agronomie, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (BFH-HAFL) durch die Forschungsgruppe Bodennutzung & Bodenschutz seit Herbst 2020 durchgeführt (Tanner und Nussbaum 2022; Nussbaum und Burgos 2019). Es werden Konzepte, Lösungsansätze, Methoden und Hilfsmittel für eine effiziente flächendeckende Kartiermethodik für den Kanton Bern getestet und entwickelt. Ein Teilprojekt beinhaltet eine ca. 1.000 ha grosse Pilotkartierung im Raum Wohlen/Meikirch (BE). In verschiedenen Arbeitsschritten der Bodenkartierung wurden DSM-Methoden eingesetzt, beispielsweise bei der Erstellung der Beprobungspläne und bei der Erstellung der Bodenkarten. Eine Besonderheit dieses Projekt stellte das stark iterative Vorgehen dar, bei dem in jeder Phase auf Basis der Zwischenergebnisse neue Bodendaten erhoben wurden. In einer ersten Phase wurden ca. 350 Handbohrungen zur Unterstützung bei der Erstellung und Verfeinerung eines ersten Beprobungsplans erhoben. In der zweiten Phase wurden ca. 50 Profile und 60 weitere Rammkernbohrungen zur Kalibrierung der Haupterhebung beprobt. In der dritten Phase erfolgte die Haupterhebung mit ca. 1400 Bohrungen (Handbohrungen und maschinelle Bohrungen). In einer letzten Phase wurden weitere ca. 700 Bohrungen zur Nachverdichtung von Gebieten mit hohen Unsicherheiten durchgeführt. Auf dieser Basis wurden mit DSM-Methoden verschiedene Bodeneigenschafts- und Themenkarten erstellt.

5.2.1. Pflanzennutzbare Gründigkeit

Die pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG) ist eine abgeleitete Grösse und keine direkt am Boden mess- oder ablesbare Eigenschaft wie z. B. der Tongehalt. Sie wird im Feld auf Basis verschiedener Bodeneigenschaften abgeschätzt. Sie beschreibt den unterirdischen Raum, der den Pflanzenwurzeln uneingeschränkt für ihre Entwicklung zur Verfügung steht. Anstehender Fels oder sehr rohes (unverwittertes) Ausgangsmaterial, Wasserstau, Verdichtungen, Steine und Kies verringern die pnG. Da die pnG als eine Tiefe in Zentimetern angegeben wird, entstehen Karten mit kontinuierlichen Werten je Rasterzelle (Abbildung 15). Bei solchen modellierten Karten lässt sich zusätzlich berechnen, wie hoch die Unsicherheit in jeder Rasterzelle ist, d.h. mit welcher Sicher- bzw. Unsicherheit der modellierte Wert der Realität entspricht (Abbildung 16). Diese Zusatzinformation ist nützlich, da sie sofort erkennen lässt, in welchen Bereichen die Prognosen relativ sicher sind und in welchen eher Vorsicht geboten ist. In unsicheren Bereichen kann die Karte mit zusätzlichen Beobachtungen verbessert werden. Ein Unsicherheitskarte gibt den Betrachtern ausserdem die Möglichkeit, eine Qualitätseinschätzung selbst vorzunehmen.

Landwirt:innen im Pilotkartierungsgebiet schätzten die pnG-Karte als interessant und nützlich ein, da sie Informationen über die Tiefe abbildet. Solche Informationen sind aus der Bodenbearbeitung und dem landwirtschaftlichen Alltag schwieriger «ablesbar» als beispielsweise der Tongehalt im Oberboden, den die Landwirt:innen häufig gut durch die Beobachtungen bei der Bodenbearbeitung abschätzen können.

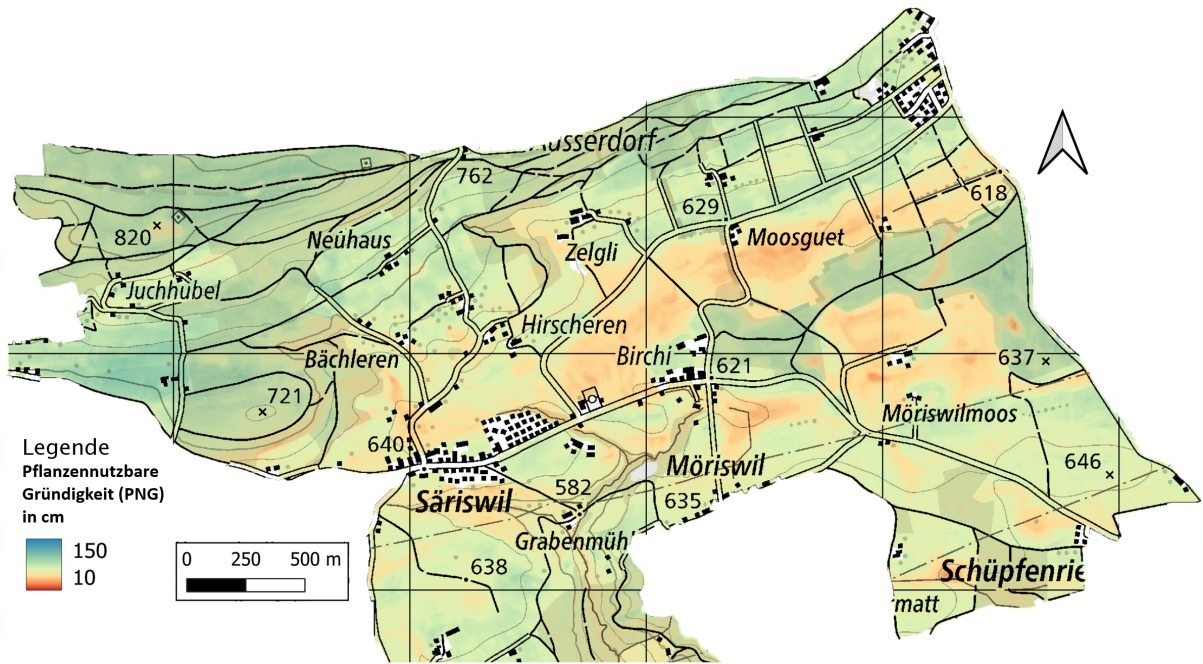


Abbildung 15. Vorhersage der pflanzennutzbaren Gründigkeit (cm) in der Pilotkartierung Wohlen-Meikirch. Karte: Simon Tanner & Madlene Nussbaum. Hintergrund: Landeskarte (© swisstopo).

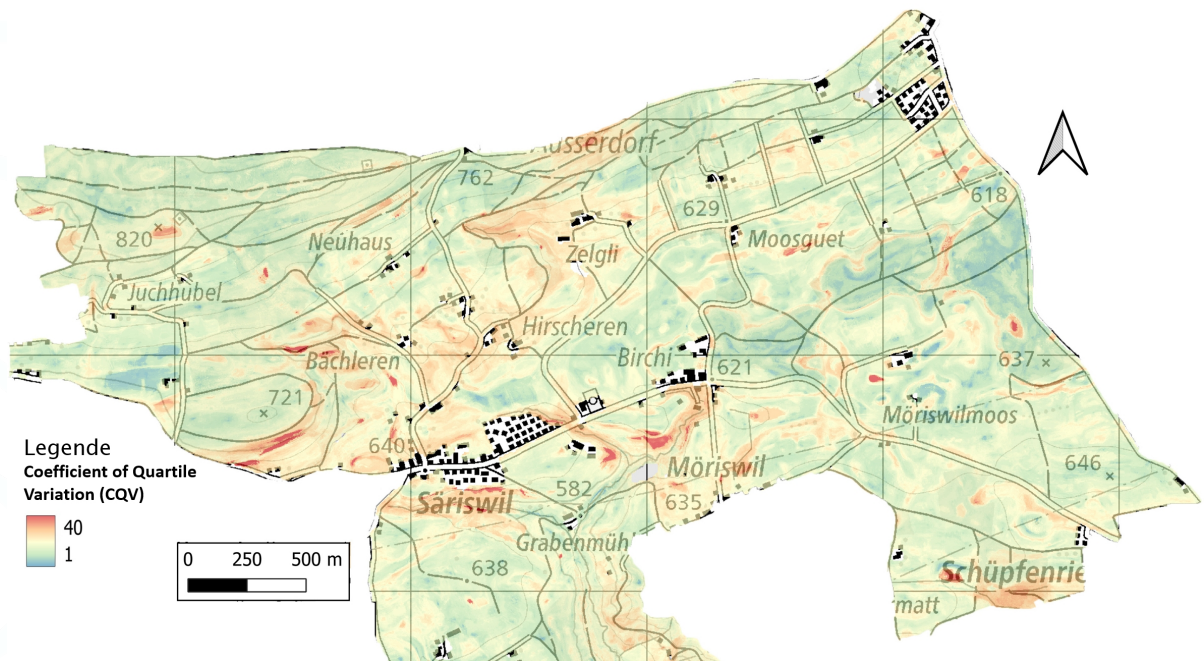


Abbildung 16. Karte der Unsicherheit des Modells für die angegebenen Werte aus Abbildung 15. Eine geringe Unsicherheit (=tiefe Werte) bedeutet, dass die Prognosen der pnG sicher sind. Für die rötlichen Bereiche bestehen grössere Unsicherheiten. Karte: Simon Tanner & Madlene Nussbaum. Hintergrund: Landeskarte (© swisstopo).

5.2.2. Bodentypen

Einige aggregierte Bodeneigenschaften wie die Bodentypen werden nicht in kontinuierlichen Werten, sondern in Klassen angegeben, die keiner Hierarchisierung folgen. Rasterkarten für Bodentypen können mit DSM-Methoden modelliert werden, wobei die einzelnen Rasterzellen dem wahrscheinlichsten Typ zugeordnet werden (Abbildung 17a). Karten für Bodentypen wurden bei «klassischen» Feldkartierungen in der Regel als Vektorkarten erstellt, derartige Vektorkarten können ebenfalls mit DSM-Methoden auf Basis der Rasterkarten erstellt werden (Abbildung 17b). Aufgrund der aggregierten Informationen, die in den einzelnen Bodentypen stecken, eignen sich solche Bodentypenkarten gut, um einen Überblick über eine Region zu erhalten. Neben Karten für einzelne Bodeneigenschaften wie dem Bodentyp können ebenfalls Vektorkarten erstellt werden, die Kombinationen aus mehreren Bodeninformationen darstellen.

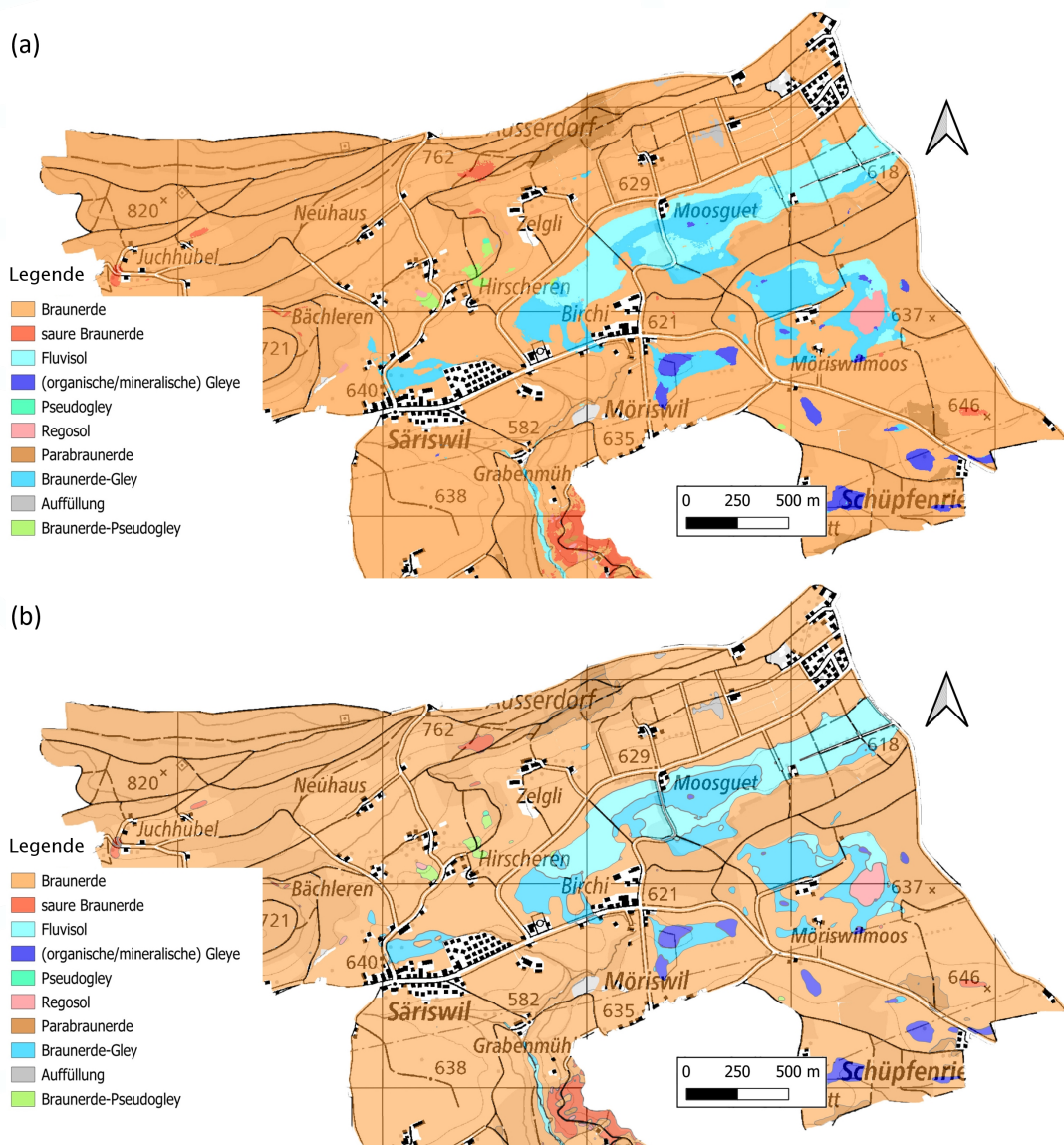


Abbildung 17. Karten der Bodentypen aus der Pilotkartierung Wohlen-Meikirch. Oben sind die Daten als Rasterkarte dargestellt (a), unten wurden sie zu Vektoren (Polygone) umgeformt (b). Karten: Simon Tanner & Madlene Nussbaum. Hintergrund: Landeskarte (© swisstopo).

6. Literaturverzeichnis

- _ Amelung, Wulf; Blume, Hans-Peter; Fleige, Heiner; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid et al. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- _ BAFU (2017): Boden in der Schweiz. Zustand und Entwicklung. Stand 2017. Hg. v. Bundesamt für Umwelt. Bern (Umwelt-Zustand, 1721).
- _ BAFU und BLW (2013): Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt. Bern (Umwelt-Vollzug, 1313).
- _ Behrens, T.; Hertzog, M.; Schmidt, K.; Keller, A. (2023): TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. In: KOBO-Bericht (4). Online verfügbar unter BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- _ Chen, S.; Arrouays, D.; Mulder, V.L.; Poggio, L.; Minasny, B.; Roudier, P.; Libohova, Z.; Lagacherie, P.; Shi, Z.; Hannam, J. (2022). Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma* 409, 115567.
- _ Greiner, L.; Petter, G.; Keller, A. (2023): Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Hg. v. Kompetenzzentrum Boden KOBO. BFH-HAFL. CH-3052 Zollikofen-Bern. verfügbar unter www.ccsols.ch und www.boden-methoden.ch.
- _ Jäggli, F.; Peyer, K.; Pazeller, A.; Schwab, P. (1998): Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, FAL.
- _ Keller, A.; Grob, U.; Hertzog, M.; Zahner, D.; Greiner, L.; Stumpf, F. et al. (2023): Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Diemerswil. KOBO-Bericht Nr. 3. Hg. v. BFH-HAFL CH-3052 Zollikofen-Bern.
- _ Malone, B.; Arrouays, D.; Poggio, L.; Minasny, B.; McBratney, A.B. (2023): Digital soil mapping: Evolution, current state and future directions of the science. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition, Volume 1-5*: S. 684–695. Elsevier.
- _ Minasny, B.; McBratney, A. B. (2016): Digital soil mapping: a brief history and some lessons. In: *Geoderma* 264 (Part B), S. 301–311.
- _ Steiger U., Knüsel P., Rey L. (2018): Die Ressource Boden nachhaltig nutzen. Gesamtsynthese des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68); Hrsg.: Leitungsgruppe des NFP 68, Bern.
- _ Nussbaum, M.; Burgos, S. (2019): Konzept zur Erhebung flächendeckender Bodeninformationen für den Kanton Bern. Technischer Bericht. Hg. v. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (BFH-HAFL).
- _ Rehbein, K.; Sprecher, C.; Keller, A. (2019): Übersicht Stand Bodenkartierung in der Schweiz - Ergänzung des Bodenkartierungskataloges Schweiz um Bodeninformationen aus Meliorationsprojekten. Agroscope, Servicestelle NABO-DAT. Zürich.
- _ Richner, W.; Sinaj, S. (2017): Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Agrarforschung Schweiz, 8 (6)).
- _ Siegrist, J.; Marugg, D. (2023): Beschreibung, Klassifikation und Kartierung der Böden der Schweiz: Teil III Kartieranleitung (KA23). Hg. v. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL.
- _ Stumpf, F.; Behrens, T.; Schmidt, K.; Keller, A. (2023): Vegetation und Landnutzung - Karten zur Vegetation und Landnutzung in Raum und Zeit aus der Fernerkundung zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. In: KOBO-Bericht (5). Online verfügbar unter BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- _ Tanner, S.; Nussbaum, M. (2022): Jahresbericht 2021. Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen -Wysw Academy-Projekt LANAT1. Hg. v. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (BFH-HAFL).

Kompetenzzentrum Boden
BFH-HAFL

Länggasse 85_3052 Zollikofen
info@ccsols.ch_ccsols.ch