



# Jahresbericht 2022

Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen –  
Wyss Academy-Projekt LANAT1

**Simon Tanner, Madlene Nussbaum, Stefan Oechslin, Liv Kellermann, Tobias Sprafke,  
Stéphane Burgos**

**Version 1.0 5.6.2023**

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Inhalt des Berichtes	3
2	Durchgeführte Arbeiten	3
2.1	Feldarbeiten	3
2.1.1	Maschinelle Bohrungen für Flächenkartierung	3
2.1.2	pH-Messungen	6
2.1.3	Etappe 3	6
2.2	Datenmanagement und Kartenerstellung	7
2.3	Transektbearbeitung	11
Teil 3:	Arbeitspaket 5	13
2.4	Anwenderkarten für die Landwirtschaft	13
	Literaturverzeichnis	14

# 1 Einleitung und Inhalt des Berichtes

Der vorliegende Bericht beschreibt die ausgeführten Arbeiten im Projekt der Wyss Academy «Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen» (LANAT 1) im Jahre 2022. Weiter sind die wichtigsten aus den Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse, die zur Beantwortung der Forschungsfragen relevant sind, aufgeführt. Der Bericht entspricht somit dem jährlichen inhaltlichen Statusbericht für das Jahr 2022 zuhanden der Wyss Academy in Bern.

## 2 Durchgeführte Arbeiten

### Teil 1: Arbeitspaket 1

#### 2.1 Feldarbeiten

##### 2.1.1 Maschinelle Bohrungen für Flächenkartierung

Zwischen Januar und April 2022 wurde die Flächenkartierung in den Etappen 1 und 2 zu Ende gebracht. In dieser Periode wurden auch die Versuche mit den maschinellen Stechbohrungen mit der Firma bodenproben.ch durchgeführt (für die Beschreibung der verschiedenen maschinellen Bohrsysteme siehe Jahresbericht 2021 (Tanner 2022)). Im Folgenden wird der Einsatz des bodenproben.ch-Systems detailliert geschildert. Weiter wird eine qualitative Würdigung dieses Einsatzes mit Einschätzung zur möglich zukünftigen Anwendung vorgenommen.

##### Vorbereitung und Organisation

Der Einsatz dieses maschinellen Bohrsystems wurde im Rahmen der Erhebung der Beprobungspunkte in der Flächenkartierphase getestet, um es auf mögliche Effizienzeffekte zu prüfen. Auch aus diesem Grund musste dieser Einsatz sorgfältig geplant werden.

Zu Beginn wurde eine Karte mit potenziellen Einsatzflächen generiert, die alle Waldgebiete, bereits kartierte und drainierte Gebiete ausschliesst. Diese Gebiete wurden ca. 2 Wochen vor der geplanten Ausführung im Feld begangen, um die aktuellen Kulturen, respektive den Zustand der Bodenoberfläche festzuhalten. Daraus wurden vier Kategorien gebildet, um die Befahrbarkeit einzuschätzen:

- Gut befahrbar, keine Einschränkungen. Dazu gehören Dauer- und Kunstwiesen, sowie Zwischenbegrünungen und bedeckte, abgeerntete Flächen.
- Gut befahrbar, Koordination mit Bewirtschafter\*innen notwendig. Dazu gehören temporäre und Dauerweiden.
- Eingeschränkt befahrbar. Es darf nur bei trockenen oder gefrorenen Böden gearbeitet werden. Dazu gehören frisch angesäte Wintergetreideparzellen und fast vollständig offenliegende Flächen.
- Nicht befahrbar. Dazu gehören Rapsfelder, frisch umgebrochene und vollständig offenliegende Flächen.

Anschliessend wurde den betroffenen Bewirtschafter\*innen per E-Mail mitgeteilt, welche ihrer Parzellen in welchem Zeitraum wie und mit was befahren werden.

Die Einsatzplanung mit der Bohrfirma und den involvierten Ingenieurbüros musste frühzeitig geschehen, damit bei der Bohrkampagne genügend Feldpersonal zur Beschreibung der Bohrkerne zur Verfügung steht. Als erstens wurde mit der Fa. Bodenproben.ch eine zweiwöchige Zeitspanne definiert, in der die fünf bis sieben geplanten Feldtage stattfinden sollten. Dieses Zeitfenster wurde den beiden involvierten Kartierbüros ebenfalls mitgeteilt, damit sie sich intern organisieren konnten, damit genügend Feldfachkräfte zur Verfügung stehen, um den Bohrouput bewältigen zu können (siehe untenstehender Abschnitt «Feldeinsatz»).

### Fahrzeug und Bohrgerät

- Ramm-Kernbohrungen Ø 36mm; Länge ca. 95 cm.  
Die Firma bodenproben.ch bietet dieses Bohrsystem auf einem kleinen traktorähnlichen Träger gefährt an. Der Bohrkern wird dabei in ein Plastikrohr gefüllt. Dies ermöglicht eine Bodenansprache vor Ort oder ortsungebunden. Es wurden im Rahmen der Etappen 1 und 2 insgesamt 128 solcher Kerne erbohrt und angesprochen.
- Stechbohrungen Ø 18mm; Länge ca. 120 cm.  
Mit dem gleichen Setup wie der 36mm-Kern lässt sich mit einer 120cm-langen Nadel auch ein halb so dicker (Halb-)Kern erbohren. Davon wurden 63 Stück abgeteuft.



Abbildung 1. Bohrfahrzeug der Firma bodenproben.ch. Mit dem Bohrturm lässt sich sowohl die Bohrhülse für den 36-mm-Bohrkern bedienen (auf dem Bild montiert), wie auch den 18-mm-Stechbohrer (in der Hand des Geschäftsführers von bodenproben.ch). (Foto: KOBO).

### Feldeinsatz

Aufgrund des Erfahrungswertes bezüglich des Zeitbedarfs für die horizontweise Ansprache eines ca. 1m-langen Bohrkerns und dem Zeitbedarf des Bohrfahrzeugs für das Ansteuern und Abteufen einer Bohrung, wurden vier Feldfachkräfte pro Einsatztag aufgeboden.

Ein Maschinist der Fa. bodenproben.ch hat das Trägerfahrzeug inkl. Bohrturm bedient und die vorgegebenen Bohrpunkte angesteuert und die Bohrungen abgeteuft. Zudem wurde er in die Bedienung von Soildat eingewiesen, damit er nach dem Abteufen und der Entnahme je einer Materialprobe von Ober- und Unterboden für die feldfrische pH-Messung den Beobachtungspunkt in soildat.ch generieren und die Probe erfassen konnte.

Zuerst wurden möglichst viele Bohrungen mit den insgesamt zwei 18mm-Nadeln durchgeführt. Die These, die dieser Strategie zu Grunde lag war, dass diese Bohrungen schneller und billiger und damit effizienter sind.

Diese Bohrkern müssen in der Nadel angesprochen werden. Das bedeutet, dass die Nadeln nach der Ansprache wieder zum Bohrgerät transportiert werden müssen. Da das Bohrgerät pro bodenkundliche Aufnahme ca. 4 Bohrungen abteufen kann, ist das Bohrfahrzeug zum Zeitpunkt der Nadel-Rückgabe möglicherweise schon ziemlich weit von der pedologischen Fachkraft und der leeren Nadel entfernt. Dies macht diese Art Bohrungen ineffizienter als angenommen. Mit mehr Nadeln könnte dies etwas abgemildert werden, wenn die pedologischen Feldfachkräfte die Nadeln beim Bohrloch liegen lassen könnten und sie ein bis zweimal pro Tag mit dem Bohrfahrzeug eingesammelt werden würden. Nachteil dabei ist das mehrfache Befahren von landwirtschaftlichen Flächen. Im vorliegenden Fall wurden die gefrorenen Oberflächen am Vormittag ausgenutzt, um beispielsweise Winterweizen-Flächen zu beproben. Im Laufe des Tages tauten diese Oberflächen auf, was ein erneutes Befahren nicht ohne Fahrspuren und potenzieller Boden- und Kulturschaden möglich machte.

#### Anwendung und Eigenheiten der Bohrsysteme

Die horizontweise Ansprache der 18mm-Nadeln ist anspruchsvoll. Die Art des Bohrkerns ist deckungsgleich wie desjenigen aus dem Pürckhauer-Hohlmeissel. Dies meint, dass es einen halben Kern gibt, der nicht zerstörungsfrei ausgelöst werden kann. Durch den geringen Durchmesser können einige Merkmale nur schwer beobachtet werden. Dazu gehören schwach ausgeprägte Hydromorphieflecken, Tonverlagerungen oder diffuse Horizontgrenzen. Auch können kleine Artefakte wie bspw. verlagertes organische Material (ob pedogen oder durch die Sondage) oder ein verwitterter Stein die Interpretation stark verzerren.

Solche kleinkalibrigen Hohlmeisselsondagen werden typischerweise in der klassischen Polygonkartierung (FAL24/FAL24+) zur Festlegung der Grenzen verwendet. Diese Bohrungsart erfordert nur einen reduzierten Datensatz an Beobachtungsmerkmalen.

Die 36mm-Nadeln generieren einen ganzen zylindrischen Bohrkern mit einem Durchmesser von 36mm in einer Kunststoffröhre und lässt sich meist problemlos auslösen. Höchstens sehr feinkörnige oder stark organische Bodenzylinder können an der Innenseite der Kunststoffröhre haften bleiben. Der Kern lässt sich von den Feldpedolog\*innen gut aufschneiden und/oder aufbrechen, was sich positiv auf das Erkennen von Bodeneigenschaften auswirkt. Nachteilig wirkt sich die relativ geringe Sondagetiefe von 95cm aus, ist doch der unverwitterte Untergrund in vorliegender Region häufig tiefer anzutreffen.

Weil der Bohrkern in der Plastikröhre gelagert wird, kann das Bohrfahrzeug ohne Rücksicht auf die Feldfachkräfte in seinem Arbeitstempo agieren. Die Plastikröhren können von den Feldfachkräften am Feldrand für das Bohrfahrzeug deponiert oder bei Gelegenheit (z.B. Bei der Mittagspause) dem Bohrfahrzeug zurückgegeben kann, damit sie wiederverwendet werden können.

Ein Teil der so generierten Bohrkern konnten aus Kapazitätsgründen von den ausführenden Ingenieurbüros nicht im Feld aufgenommen werden und wurden ins Büro transportiert. Dort wurden sie später geöffnet und angesprochen. Diese Ansprachen gestalteten sich ausserhalb des Landschaftskontextes schwierig, obwohl die Standorteigenschaften wie Landschaftselement oder Kleinrelief etc. inkl. Umgebungsfotos im Feld erhoben wurden. Dies bestätigten einerseits die Rückmeldungen der ausführenden Personen. Andererseits wurde es bei der Qualitätskontrolle der Bohraufnahmen ersichtlich. So waren viele der im Büro aufgenommenen Bohrkern nicht konsistent mit den umliegenden Sondagepunkten, die im Feld angesprochen wurden.

#### Bewertung und Ausblick

Der Einsatz von Bohrfahrzeugen für die Flächenkartierung muss spezifisch und gut geplant sein, soll er einen Effizienzgewinn bringen. Zu beachten dabei ist insbesondere, dass der limitierende Zeitfaktor die pedologische Beschreibung der Kerne ist, unabhängig von der eingesetzten Bohrmethode. Dies bedeutet, dass der Nutzen von Bohrfahrzeugen nicht ökonomischer Natur sein kann. Die höhere Geschwindigkeit beim Bohren macht den Kostenmehraufwand von Maschine und menschlicher Bedienung nicht wett. Der Mehrwert von maschinellen Bohrungen zur Flächenkartierung muss anderweitig generiert werden:

- Zur Erhöhung der Qualität der Feldaufnahmen
  - Um einschränkende Rahmenbedingungen von Handsondagen zu umgehen.
- Im Hinblick auf die grosse zu kartierende Fläche in relativ kurzer Zeit, kann die Umgehung von einschränkenden Rahmenbedingungen ein grosser Vorteil sein. So sind tiefe Temperaturen (gefrorene Bodenoberfläche, Einschränkungen bei der Feldansprache), schlechte Lichtverhältnisse (v.a. in den Monaten Dezember bis Februar), trockene Böden und akuter

Niederschlag limitierend für Handsondagen und Feldansprache. Um die grössten negativen Effekte der off-site Bodenansprachen zu eliminieren, könnte ein mobiler Arbeitsraum aus einem Baucontainer, Anhänger oder Lieferwagen eingesetzt werden. Dieser kann im Kartiergebiet platziert werden, und bietet Schutz vor Nässe, Kälte und diffusem Licht. Die Feldfachkraft kann die entnommene Beprobungsstelle vom mobilen Arbeitsplatz aus einsehen und/oder die Bodenkerne im Feld einsammeln, um zugleich die Standortdaten zu erheben.

### 2.1.2 pH-Messungen

Ein interner kleiner Feld- und Laborversuch zu pH-Messungen hat gezeigt, dass eine schnelle ad hoc-Methode (im Folgenden «pH feldfrisch» genannt) zur Messung des pH-Wertes (im Feld oder im Labor) zuverlässigere Resultate liefert als der aktuell anerkannte Feld-Test mit der Indikatorlösung des Hellige pH-Meter. Deshalb wurde entschieden, die pH-Bestimmungen der Flächenkartierung der Etappen 1 und 2 von jeweils eines Ober- und Unterbodenhorizontes pro Bohrung mit der pH feldfrisch-Methode im Labor durchzuführen. Hypothese dabei war, dass die Probenahme im Feld gleich oder weniger aufwändig ist als die Bestimmung mittels Hellige und die Bestimmung im Labor durch studentische Hilfskräfte und dank Skaleneffekten nur geringen Mehraufwand bedeute.

Es stellte sich jedoch heraus, dass bereits die Probenahme im Feld den Aufwand der Messung mittels Hellige pH-Meter überstieg und durch die schiere Menge der Proben die pH-Bestimmung sehr lange andauerte. Letzter Punkt könnte mit genügend Ressourcen abgefangen werden. Allerdings muss der Mehrwert der genaueren pH-Bestimmung kritisch betrachtet werden. Insbesondere im Ackerbauggebiet ist der pH-Wert in der Regel zeitlich sehr variabel und nur eine Momentaufnahme. In Gebieten und Landnutzungen ausserhalb intensiven Ackerbaus, wo der Boden-pH-Wert weniger schnell ändert und wichtiger für Fragestellungen und Produkterstellungen ist (beispielsweise Versauerung der Waldböden und Baumartenwahl) könnte diese Methode gewinnbringend eingesetzt werden. Zu berücksichtigen ist hierbei noch, ob auch Spektroskopiemessungen und -modellierungen eingesetzt werden. Je nach Güte der pH-Flächenvorhersagen durch ein solches System, kann u.U. auf separate pH-Messungen ganz verzichtet werden. Gemäss Literatur und ersten Resultaten können  $R^2$ -Werte  $> 0.7$  bei Abweichungen um ca. 0.5 pH-Einheiten erwartet werden (Stenberg et al. 2010).

### 2.1.3 Etappe 3

Die Etappe 3 wurde aus Kostengründen gegenüber der ursprünglichen Ausdehnung um gut einen Drittel reduziert. Grundsätzlich wurden die Feldarbeiten analog den Etappen 1 und 2 durchgeführt (siehe Jahresbericht 2021). Nachfolgend werden Abweichungen davon dokumentiert:

- Die Qualitätssicherung und die Eichtage wurde durch Anina Schmidhauser (Co-Projektleitung des Revisionsprojektes Klassifikation der Böden der Schweiz revKLABS) geleitet. Dadurch konnten einige Bausteine und (Teil-)Konzepte der neu vorgesehenen Bodenansprache einem Praxistest unterzogen werden und den ausführenden Ingenieurbüros vorgestellt werden.
- Da sich die grosskalibrigen Bohrkern (Ø14cm) der Fa. Zurbuchen zur Profilergänzung in der Etappe 1 und 2 bewährt hatten, wurden Sie auch in der dritten Etappe ausgeführt. Nach der Profilphase mit 10 Profilgruben wurden noch 21 solcher Kerne abgeteuft.
- Weiter wurden an 5 Profilstandorten jeweils ein 14cm- und ein 8cm- Kern abgeteuft, und jeweils von zwei Kartierenden aufgenommen. Dies zum systematischen qualitativen Vergleich dieser drei Erhebungsmethoden bezüglich der zu bestimmenden Parameter.
- Auf weitere maschinelle Bohrungen für die Flächenkartierung wurde verzichtet, da die Bohrkampagne in den Etappe 1 und 2 genügend Erkenntnisse brachten (vgl. 2.1.1)
- Die Flächenkartierung wurde einerseits von der HAFL selbst und andererseits von zwei auf Bodenkartierung spezialisierten Büros durchgeführt. Diese im Vergleich mit den Kartierenden aus Etappe 1 und 2 tendenziell erfahreneren Kartierpersonen sollten die aus dem Stichprobenplan vorgegebenen Erhebungspunkte mit frei wählbaren Punkten ergänzen. Folgende Kriterien für die Platzierung dieser Punkte sind:
  - o Gibt es Landschaftselemente, die durch den Stichprobenplan nicht abgebildet werden?
  - o Wo würden die Kartierenden bei einer klassischen Polygonkartierung Punkte setzen, um die Grenzen festzulegen?
  - o Bereiche, wo eine Landschaftsänderung/Änderung des landschaftlichen Bodenbildungsfaktors zu erkennen ist, sind zu erfassen.
  - o Ist der vorgegebene Beprobungspunkt beim erkennbaren Maximum/Minimum/dominanten Element innerhalb eines Landschaftsclusters des Stichprobenplans? Wenn nein,

soll ein zusätzlicher Erhebungspunkt aufgenommen werden (siehe Abbildung 2). Der Stichprobenplan ist nicht so angelegt, dass lokale Maxima und Minima getroffen werden. Durch diese Regel sollen die vorgegebenen Punkte durch ebendiese Extremstandorten ergänzt werden. Einerseits tendiert das Modell zu Mittelwerten, was dadurch vermindert werden soll. Andererseits sollen sich dadurch die Kartierenden bei der Ansprache besser zurechtfinden, da sie sich oft an den lokalen Maxima und Minima orientieren.

Durch dieses Vorgehen soll das bestehende sampling design durch Expertenwissen ergänzt und verbessert werden und die Beprobungsdichte erhöht werden. Diese selbstgewählten Punkte bilden bereits die Verfeinerungsphase (siehe Abb. 2 im Jahresbericht 2021).

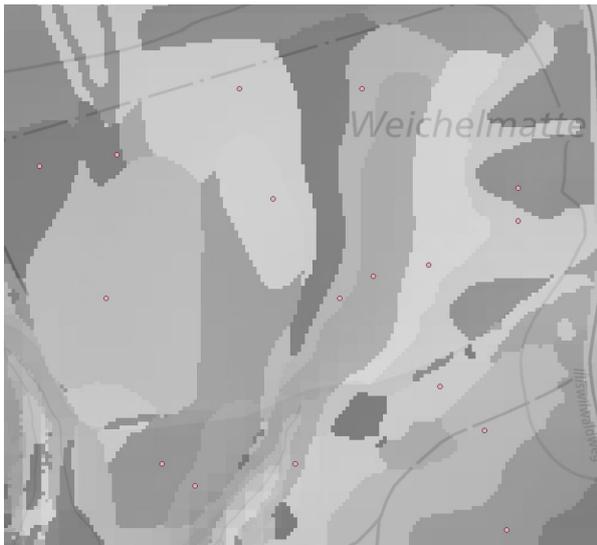


Abbildung 2. Für die Stichprobenplanung generierte Einheiten mit ähnlichen Eigenschaften in Bezug auf Terrainform und Ausgangsmaterial (Resultat Clustering, grau schattiert). Der vorgeschlagene Erhebungspunkt (Punkt in Pink) ist der repräsentativste Standort jeder Einheit. Wenn die Erhebungspunkte charakteristische Landschaftselemente (lokale Minima oder Maxima) oder Übergänge aus Sicht der Bodenfachpersonen ungenügend abdecken, soll in der Verfeinerungsphase der Etappe drei ein zusätzlicher Erhebungspunkt gesetzt werden.

## 2.2 Datenmanagement und Kartenerstellung

Die erhobenen Feld- sowie analysierten Labordaten wurden allesamt in der Webapplikation [soildat.ch](http://soildat.ch) erfasst, welche von der HAFL in Zusammenarbeit mit dem KOBO entwickelt wurde und betrieben wird. Damit sind die Daten bereits in einer Datenbank zur weiteren Prozessierung bereit.

In einem ersten Schritt werden die Daten einem Plausibilitäts- und Vollständigkeitscheck unterzogen. Mittels verschiedener R-Codes wird jeder einzelner Eintrag auf insgesamt 38 mögliche Widersprüche, Logikfehler und fehlende zwingende Einträge überprüft. Beispielsweise ob alle Körnungen und Bodentypen erfasst sind, ob es Fehler in der Notation von Horizontsymbolen gibt, oder ob die Vernässungsuntertypen mit der angegebenen Tiefe der beobachteten hydromorphologischen Eigenschaften übereinstimmen. Jede Kartierperson erhält dann ein mittels RMarkdown generiertes pdf-Dokument, wo die möglichen fehlerhaften Einträge mit einem Hyperlink zum entsprechenden [soildat](http://soildat.ch)-Eintrag verknüpft sind. Der/die Pedolog\*in muss diesen Eintrag überprüfen und gegebenenfalls korrigieren oder ergänzen.

### STANDORT

2 Projekte \*  
- Wyss AP1 - Beprobung - Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen - AP1 Beprobung

Persönliche Feld-ID K1377

13.14 Koordinaten (Ost, Nord)  
2982506 1203168

Lagegenauigkeit 4 m

8 Gemeinde -

58 Höhe -m

65 Kleinrelief 0 - ausgeglichen

69 Landschaftselement HF - Hangfluss (0 - 25 %)

25 Neigung 4 %

59 Exposition (Grad | 0/360°N) -

60a Nutzungsgebiet -

60 Klimaeignungszone -

26 Geländeform b - gleichmässig geneigt (5 - 10 %)

Bemerkungen -

### BODENBEZEICHNUNG

61 Vegetation WA - Wald

Wasserstand - cm

Karbonatgrenze -1 cm

Durchwurzelungstiefe - cm

57 Profiltiefe - cm

Auflagemächtigkeit 6 cm

23 Wasserhaushaltsgruppe I - mässig tiefgründig

10/17 Bodentyp E - Saure Braunerde

18 Untertyp(en)  
- E3 - sauer (4.3 - 5.0)  
- ZT - feinhügelig  
- G3 - gleyig

	Oberboden	Unterboden
1920 Skeletthalt	-	-
19 Ist steinhaltig	X	X
2121 Feinerdekorng	-	-
243 PNO	44 cm	-
243 PNO-Schätzung	51 cm	-
73 Fruchtbarkeitsstufe	-	-
74 Bodenpunktzahl	-	-
75 Nutzungseignung	-	-
76 Eignungsklasse	-	-

Bemerkungen -

Dateien  
15.3.2023  
U  
15788879580738905779289854483050.jpg (7 MB)  
15.3.2023  
P  
15788881938566174116916976204034.jpg (5 MB)

### GRUNDGEGEN

3 Erhebungsart H - Bohrung Holländer

4 Pedologe/Pedologin bns2 - Simon Tanner - simon.tanner@bfn.ch

5 Datum 15.03.2023

Erfasst durch Tanner

Abbildung 3. Übersicht der erfassten Standortdaten und (aggregierten) Bodendaten in der Webapplikation soildat.ch.

Offline  Online

ERFASSUNG

Beobachtungen

Labordaten

PROFIL

Mein Profil

Ansichten

Passwort ändern

Abmelden

←
Standort
Beobachtung
Horizont
Probe

Horizonte 4 | 5 cm - 24 cm v

3	0 - 5	Ahh	OB	HL/	15					0	0
4	5 - 24	Ah	OB	HL/	4	14	25	61	0	0	4.2
5	24 - 57	B	UB	HL/	1	13	20	67	0	0	4.5
6	57 - 110	II Bcn	UB	HL/MO	0.2	14	25	61	4	0	

HORIZONT

27 Horizont-ID \*

28 Tiefe von / bis \*   cm

62/63 Ausgangsmaterial aus / und

44 Kalk CaCO3

46 PH

33 Organische Substanz  %

Zersetzungsgrad (Von Post)

35 Ton  %

37 Schluff  %

39 Sand  %

41 Kies  Vol. %

Technogenes Material

Feuchtigkeit

Bodenbereich

Standort
Beobachtung
Horizont
Probe

Abbildung 4. Eingabemaske für die horizontweise Erfassung der Bodeneigenschaften in der Webapplikation soildat.ch.

Zusätzlich zu diesen flächendeckenden automatisierten Plausibilitätscheck wurden die erhobenen Felddaten auch stichprobenartig einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurden die Daten mittels geographischen Informationssystems räumlich geplottet. So konnten die Konsistenz, Plausibilität und Einheitlichkeit bezüglich Bodenbildungsfaktoren und der natürlichen Verteilung der Bodeneigenschaften in der Landschaft der Daten überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Mit diesem Vorgehen

wurden beispielsweise entdeckt, dass viele Bohrkern, die ausserhalb des Landschaftskontextes erhoben wurden, eine systematische Abweichung von den umliegenden Erhebungspunkten aufweisen (vgl. Kap. 2.1.1).

Durchgeführte Laboranalysen wurden ebenfalls in die Datenbank von Soildat importiert und zusammen mit den qualitätsgeprüften Felderhebungen weiterverarbeitet. In einem ersten Schritt wurden in Zusammenarbeit mit dem KOBO Zielgrössen für die Flächen-Vorhersage festgelegt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der aus den Bodendaten hergeleiteten Zielgrössen. Diese Basiseigenschaften dienen als Grundlage für die nachfolgende Herleitung von Bodenfunktionsbewertungen wie beispielsweise das Humusanreicherungspotential oder das Wasserspeichervermögen.

Zielgrösse	Bodentiefe (von-bis cm)
Ton, Schluff, Sand (%)	0-20, 0-30, 20-30, 30-50, 50-100
Skelettgehalt (%)	0-20, 0-30, 20-30, 30-50, 50-100
Humusgehalt (%)	0-20, 0-30, 20-30, 30-50, 50-100
pH (-)	0-20
Pflanzennutzbare Gründigkeit (cm)	
Tiefe oberster gg/r-Horizont (cm)	
Obergrenze Untergrund (cm)	

Für diese Zielgrössen wurde mit einem verbreiteten statistischen Ansatz des maschinellen Lernens (Random Forest) Vorhersagen für die ganze Landwirtschafts- und Waldfläche des Pilotgebiets erstellt. Der Lern-Algorithmus sucht dabei auch nach nicht-linearen Zusammenhängen zwischen den an einer Bohrung oder einem Profil beobachteten Werten und erklärenden Umweltkenngrossen (Modell-Kovariablen). Als erklärende Umweltgrössen kommen Datenprodukte und Karten infrage, welche für die ganze zu kartierende Fläche vorhanden sind. Mithilfe der gelernten Zusammenhänge kann danach an einem Standort ohne Feldaufnahme berechnet werden, welcher Wert der Zielgrösse wahrscheinlich resultierte, wenn man dort eine Aufnahme machen würde. Berechnet man diese wahrscheinlichsten Werte für ein regelmässiges Raster, erhält man eine kontinuierliche Karte (Abbildung 5).

Als Modell-Kovariablen wurden vom digitalen Terrainmodell (swisstopo, swissAlti3D, 2 m) zahlreiche Terrain-Attribute abgeleitet. Dazu gehörten die Exposition, Krümmung und Indices für Mulden-/Kuppenlagen, Hangneigung, Hanglänge, Höhe über Gewässer und Distanz zum nächsten Gewässer, Erosionsakkumulationslagen und Terrain-Feuchte-Indices. Um die Bodenbildungsprozesse über verschiedene Massstäbe abzubilden, wurden unterschiedliche Ausdehnungen (Radien und Pixelauflösung) für die Berechnungen verwendet. Neben den Terrain-Attributen wurden Übersichtskarten und andere Informationen aufbereitet: Bodeneignungskarte (BEK, 1:200'000), geologische und hydrologische Karten und eine davon abgeleitete Konzeptkarte (Grundwasserzonen, Geocover, 1:25'000), die landwirtschaftliche Eignungskarte (LWEK74, 1:50'000), die Fruchtfolgefläche-Karte (FFF, 1:5'000), historische Feuchtgebiete (swisstopo, Siegfriedkarten, 1:25'000). Diese Karten ermöglichen dem Lern-Algorithmus das Pilotgebiet in grobe Zonen aufzuteilen, sofern dies aufgrund der Punktaufnahmen angezeigt ist. Um den geringeren Detaillierungsgrad der meisten dieser Karten zu berücksichtigen, wurden die Ränder Karteneinheiten (Polygone) geglättet.

Da das Ausgangsmaterial mit den erwähnten Kartengrundlagen nur sehr grob abgebildet ist, wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt. In einem ersten Schritt wurde das an den Profilgruben und Bohrungen angesprochene Ausgangsmaterial mit Random Forest vorhergesagt. Das Resultat davon ergibt pro Ausgangsmaterial-Klasse eine Wahrscheinlichkeitskarte (Werte von 0 bis 1, 0: Klasse ist sehr unwahrscheinlich, 0.5: Klasse kommt mit 50 % Wahrscheinlichkeit vor, 1: Klasse ist sehr wahrscheinlich). 18 solcher Karten wurden in einem zweiten Schritt als Modell-Kovariablen verwendet, um die Zielgrössen (Tabelle 1) vorherzusagen.

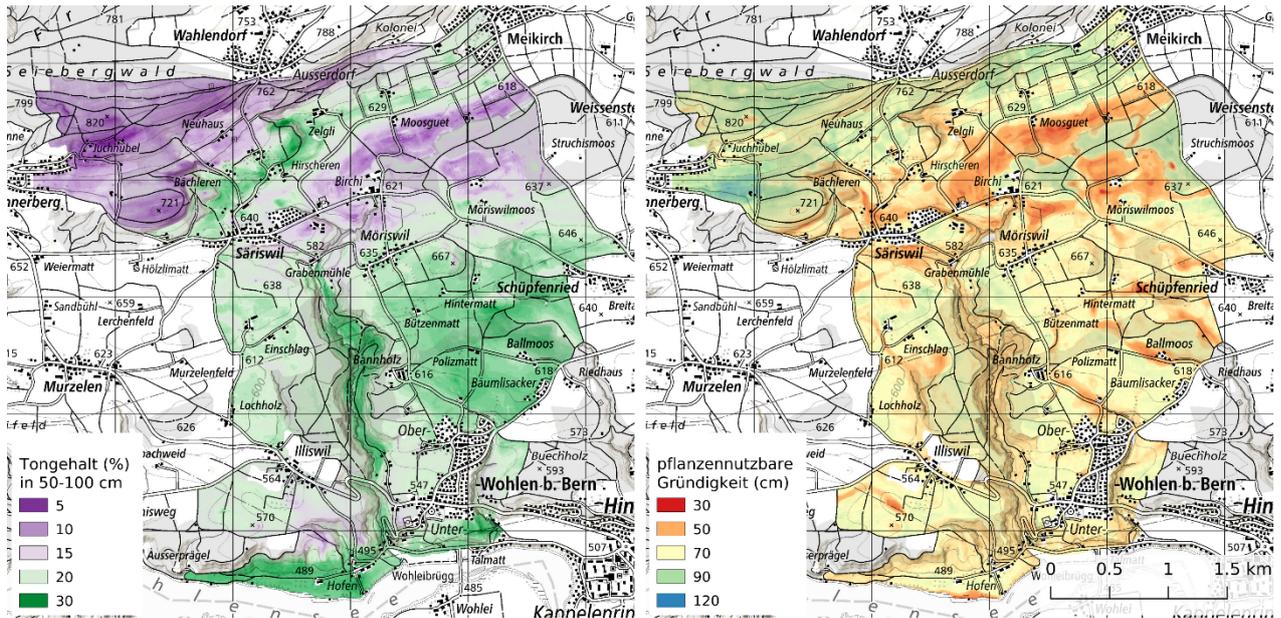


Abbildung 5: Karten des Tongehalts im Unterboden (50-100 cm) und der pflanzennutzbaren Gründigkeit. Es handelt sich um Beispiele erster Versionen von Flächenprodukten, welche v.a. im Süden des AP1-Pilotgebiets mit nur sehr wenigen Feldbeobachtungen erstellt wurden.

Aus diesen vorhergesagten Basiskarten erarbeitete das KOBO mögliche Themen- und Anwenderkarten, die sie in Zusammenarbeit mit einem Landwirt in ihrem Operationalisierungs-Kartierprojekt in Diemerswil entwickelten (Keller, et al. 2023).

## Teil 2: Arbeitspakete 2-4

### 2.3 Transektbearbeitung

Gemäss den im Jahresbericht 2021 beschriebenen Auswahlverfahren wurden total 47 Transekte zur Erkundung durch Literaturrecherche und Feldaufnahmen ausgewählt.

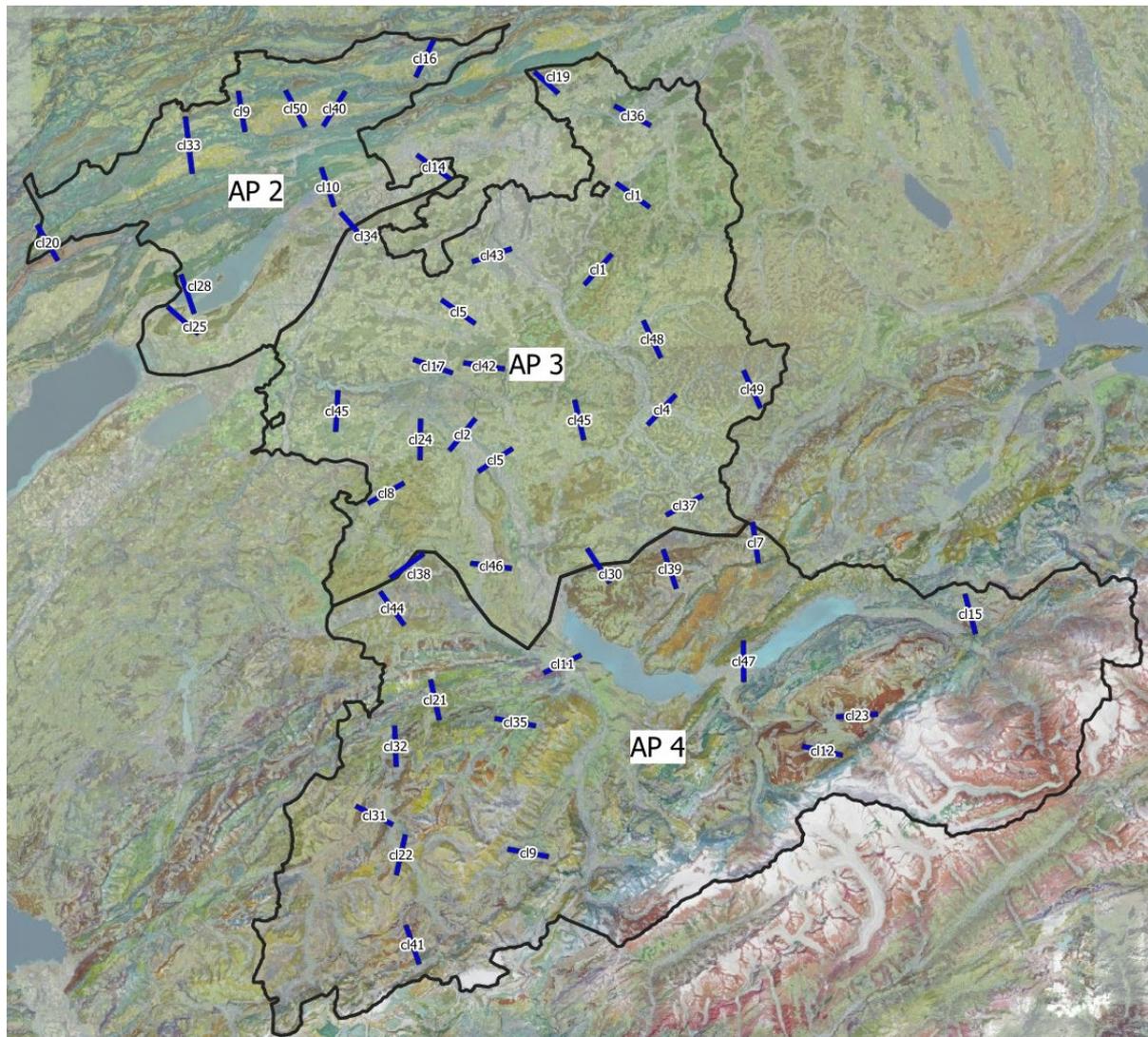


Abbildung 6. Übersicht der 47 Landschaftstransekte, in denen Handsondagen und Profilgruben zur Erfassung der pedologischen Diversität und Verteilung der Böden im Kanton Bern durchgeführt werden sollen.

Die Bearbeitung jedes einzelnen Transekts folgt folgendem Schema:

1. Grundlagenstudium

Für das Gebiet im und ums Transekt werden alte Bodenaufnahmen (sofern vorhanden), die Geologie (meistens aus dem geologischen Atlas), geologische Bohrungen (aus dem Geoportal des Kt. BE) ausgewertet. Dies soll einen groben Überblick für das Erstellen des Beprobungskonzeptes erlauben.

2. Sampling Design

Aufgrund der geologischen Karten, des Reliefs und des Grundlagenstudiums werden ca. 20 Explorationsbohrungen festgelegt. Dabei soll darauf geachtet werden, dass alle vorhandenen geologischen Formationen und Ausgangsmaterialien in unterschiedlichen Geländeformen

vorkommen. Je weiter weg vom Siedlungsgebiet, resp. in den Bergen desto wichtiger wird auch das Kriterium der Erreichbarkeit der Punkte.

### 3. Exploration

Die Explorationsbohrungen mit den Handbohrgeräten erfolgen i.d.R. zu zweit an einem Tag. Dabei ist nicht die möglichst genaue Auffindung und Beprobung der vorgängig festgelegten Punkte entscheidend, sondern was der Punkt repräsentieren soll (Charakteristik, i.d.R. Kombination aus Landschaftselement und Ausgangsmaterial). Bei diesen Explorationsarbeiten geht es nicht wie in der Pilotkartierung in AP1 um möglichst genaue Punktinformationen um genaue Flächeninformationen abzuleiten, sondern um das Verständnis der Bodeneigenschaften, und deren Genese im lokalen Landschaftskontextes.

### 4. Profile

Aus den Explorationsbohrungen werden jeweils zwei Profilstandorte selektiert. Dabei wird darauf geachtet, dass sie entweder (flächen-)repräsentativ für das jeweilige Gebiet sind. Oder aber es eine «Spezialität» ist, sprich ein Boden, der nur selten im Kanton vorkommt. Um diese beiden Kriterien besser sicherstellen zu können, wurden die Transekte gutachterlich in boden-geographische Naturräume geclustert:

- Flysch- und Voralpenmolasse-Gebiet
- Jura
- Kalkalpen Süd-Ost
- Kalkalpen Süd-West
- Molassegeprägtes Mittelland
- Molasse- und moränegeprägtes, hügelig-welliges Mittelland
- Emmentaler Molassegebiet
- Randregion des letztglazialen Maximums
- Tiefebene und Schwemmland

Die Profilauswahl erfolgte jeweils gemeinsam für ein gesamtes Naturraum-Cluster.

Die Profilbeschreibung erfolgte nach den aktuell gültigen Ansprache- und Klassifikationsregeln. Wobei eine enge Zusammenarbeit mit dem Revisionsprojekt Klassifikation der Böden in der Schweiz (RevKLABS) aufgenommen wurde, damit die neuen Konzepte und Regeln angewandt und geprüft werden konnten. Andererseits bietet es auch Gelegenheit Böden anzusprechen, die eher selten an offenen Profilen anzutreffen sind. Das vorliegende Projekt wiederum profitiert von der Expertise und Erfahrung der RevKLABS-Mitarbeitenden.

Auch wurden Proben zur chemischen und physikalischen Analyse entnommen. Wo und wann möglich, erfolgte dies in Zusammenarbeit mit dem KOBOD, welches die Gelegenheit nutzte, um ihrerseits das Referenzbodennetz Schweiz voranzutreiben.

### 5. Auswertung und Dokumentation

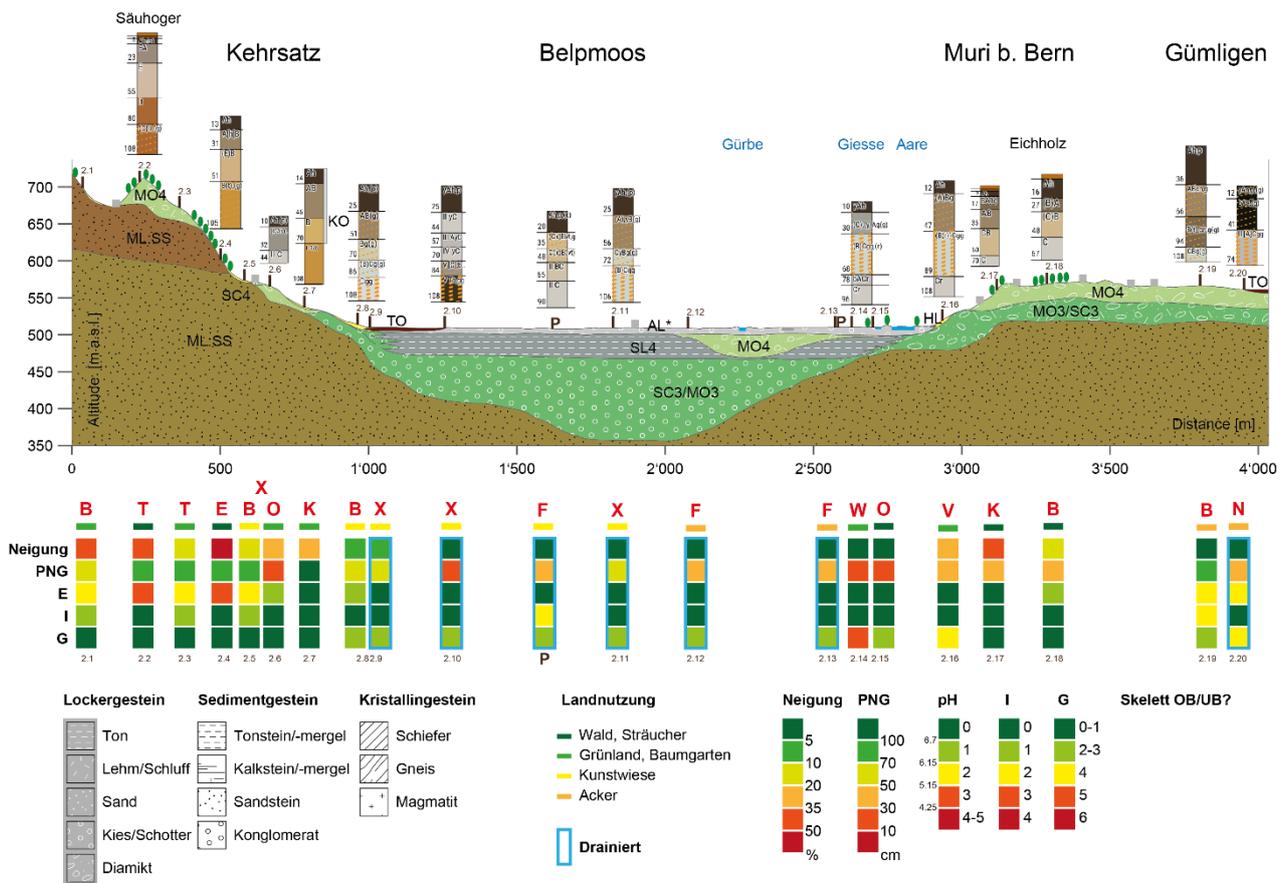


Abbildung 7. Prototyp der Transektvisualisierung anhand des Belpmoos-Transektes

Für jede bodengeographische Landschaft werden die charakteristischen Eigenschaften, die für die Bodenbildung und Bodenverteilung im Raum erläutert, gefolgt von den (typischen) Bodenprofilen. Danach wird jedes Transekt einzeln dargestellt (Abbildung 5).

Insgesamt wurden in 23 Transekten die Explorationsbohrungen durchgeführt. In 10 dieser Transekten wurden auch die Profile gegraben und angesprochen.

## Teil 3: Arbeitspaket 5

### 2.4 Anwenderkarten für die Landwirtschaft

Die Nutzbarmachung von abgeleiteten Kartenprodukten aus den Basiseigenschaftskarten (Kap. 2.2) für Landwirt\*innen ist ein grosses Anliegen der Auftraggeberschaft. Deshalb wurden mit der landwirtschaftlichen Beratung (Inforama) und einer Spezialistin für Wissenstransfer im Bereich Landwirtschaft und Boden versucht zu eruieren, ob und wie die vom KOBO entwickelten Produkten am Besten der Landwirtschaft zugänglich gemacht werden können. Haupterkennnis war, dass die Produkte und Bestrebungen bislang sehr stark aus Auftraggebersicht, sprich Vollzug geprägt war und der konkrete Nutzen auf betrieblicher Ebene zuwenig Beachtung fand. Deshalb wurde beschlossen, dass versucht werden sollte, Produkte und Anwendungsmöglichkeiten aus den Basiskarten erarbeiten, die für eine\*n landwirtschaftliche\*n Betriebsleiter\*in im Arbeitsalltag dienlich sein kann oder für die betrieblich-strategische Planung eingesetzt werden kann. Die Weiterbearbeitung dieses Themas erfolgt im ersten Semester 2023.

## Literaturverzeichnis

Armin Keller, Urs Grob, Marie Herzog, Dominik Zahner, Lucie Greiner, Felix Stumpf, Gunnar Petter, Marion Wallner, Tobias Sprafke, Sandra Racine, Emilie Carrera, Philipp Baumann und Thorsten Behrens. (2023): Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Diemerswil. KOBO-Bericht Nr. 3.

Stenberg, Bo; Viscarra Rossel, Raphael A.; Mouazen, Abdul Mounem; Wetterlind, Johanna (2010): Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. In: *Advances in Agronomy* (107), S. 163–215. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)07005-7.

Tanner, Simon (2022): Jahresbericht 2021. Dienstleistungen des Bodens erfassen und in Wert setzen – Wyss Academy-Projekt LANAT1. Unter Mitarbeit von Madlene Nussbaum. HAFL.