



# Jahresbericht 2021

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

**Simon Tanner, Madlene Nussbaum**  
Version 1.0 18.03.2022

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Inhalt des Berichtes	3
2	Durchgeführte Arbeiten	3
2.1	Pilotgebiet	3
2.2	Stichprobenplan und Beprobungsstrategie	4
2.3	Feldarbeiten	5
2.3.1	Übersichtsbegehungen und Explorationsphase	5
2.3.2	Profilphase	6
2.3.3	Kartierphase	6
2.3.4	Maschinelle Bohrungen	7
2.3.5	Wissenstransfer, Ausbildung, QS, Eichung	10
2.3.6	Kommunikation mit der Landwirtschaft	10
2.4	Transektauswahl	12
3	Resultate und weitere Arbeiten	14
3.1	Räumliche Dichte und inhaltliche Hierarchie	14
3.2	Praktische Umsetzung von Stichprobenplänen	16
4	Literaturverzeichnis	17

# 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) seit Projektbeginn im September 2020 bis Ende des Jahres 2021. 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 2021 zuhanden der Wyss Academy in Bern.

## 2 Durchgeführte Arbeiten

### Teil 1: Arbeitspaket 1

#### 2.1 Pilotgebiet

Im Arbeitspaket 1 soll mit einem Pilot-Kartierungsprojekt im Berner Mittelland eine neue Vorgehensweise zur Erhebung von Bodeninformationen etabliert werden. Dazu musste zuerst ein geeignetes Pilotgebiet gefunden werden.

Das Pilotgebiet musste in einer Region zu liegen kommen, in welcher die dringendsten Fragen und Probleme bezüglich (fehlenden) Bodendaten bearbeitet werden konnten, sowie ein gewisser Schwierigkeitsgrad bezüglich pedologischer Diversität und Bodenansprache vorhanden ist. Damit sollte einerseits sichergestellt werden, dass die Kartiermethodik auch unter schwereren Bedingungen getestet werden kann, andererseits die generierten Produkte eine Relevanz für die effektiven Problemstellungen haben. Da es in diesem Teilprojekt um das praktische Testen vieler Konzepte, Lösungsansätze, Methoden und Hilfsmittel für eine effiziente flächendeckende Kartiermethodik geht, sollten möglichst viele Probleme und Schwierigkeiten bei der Umsetzung provoziert werden, die dadurch erkannt werden und für die zukünftige Praxis bekannt sind. Konkret bedeutet dies für die Kriterien, die das Pilotgebiet aufweisen muss, folgendes:

- Geologie: Das Gebiet musste eine für das Mittelland hohe geologische und damit mutmasslich auch eine hohe pedologische Diversität aufweisen. Daher wurden Zonen gesucht, die gemäss der Geocover-Karte drei oder mehr geologische Einheiten aufweisen. Das ausgewählte Gebiet beinhaltet oberflächlich Moräneablagerungen, obere Meeresmolasse, untere Süsswassermolasse sowie Verlandungssedimente.
- Bodennutzung: Im Pilotgebiet sollen die typischen mittelländischen Nutzungsformen vorkommen:
  - o Wald (ca. 25 % der Gesamtfläche).
  - o Landwirtschaftliche Nutzfläche (intensive und extensive Nutzung; ca. 50% der Gesamtfläche; davon ca. 7% Biodiversitätsförderflächen).
  - o Unproduktive Fläche (ca. 10% der Gesamtfläche); namentlich Fließgewässer und Naturschutzgebiete.
  - o Die restlichen ca. 15% entsprechen Siedlungsflächen, in denen entweder kein unversiegelter Boden vorkommt oder nicht kartiert werden soll (Sportanlagen sowie sonstige Erholungs- und Grünanlagen).
- Boden, der Schutz – und Archivfunktionen erfüllt, sollte auch vorkommen, sprich es sollte neben Biodiversitätsförderflächen auch ausgewiesene Naturschutzgebiete haben und ein guter Teil sollte im Grundwasserschutzbereich Au zu liegen kommen.
- Um der vorgesehenen Bodenkartierung auch den Bedürfnissen der Raumplanung gerecht zu werden, sollte das Pilotgebiet im unmittelbaren Einflussbereich eines regionalen Zentrums von kantonaler Bedeutung oder grösser (Definition gemäss Richtplan des Kt. Bern) zu liegen kommen. Raumplanerisch festgelegte Fruchtfolgeflächen (FFF) müssen ebenso zwingend im Pilotgebiet vorhanden sein wie auch noch nicht im Richtplan festgesetzte potenzielle FFF.

Aus diesen Vorgaben wurde ein 1'400 ha grosses Gebiet im Raum Wohlen/Meikirch definiert (Abbildung 1).

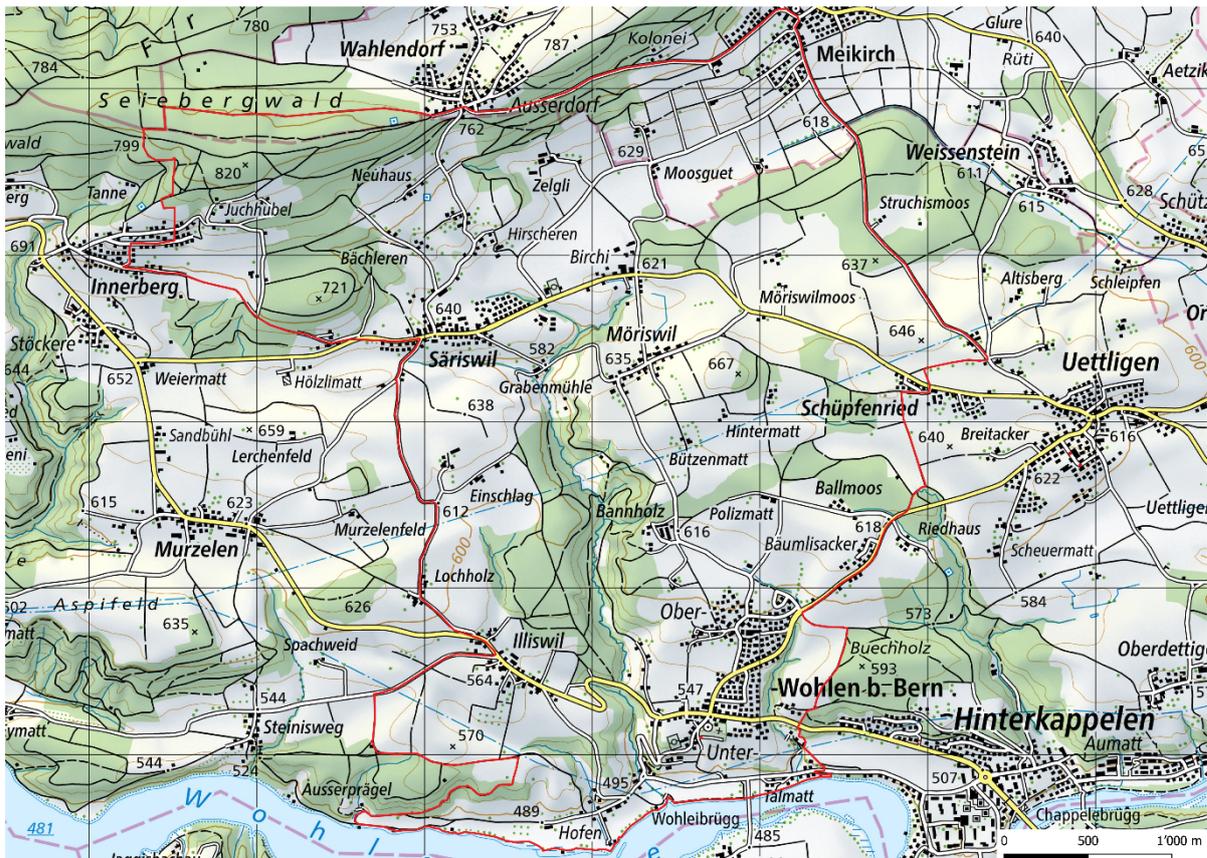


Abbildung 1. Pilotgebiet in der Nähe von Bern in den Gemeinden Wohlen und Meikirch. Quelle Hintergrundkarte: swisstopo

In diesem Gebiet wurde die zu kartierende Fläche festgelegt. Diese besteht aus:

- Landwirtschaftliche Nutzfläche und – Wald (amtliche Vermessungsdaten).
- Abzüglich aller Auffüllungen und Deponien gemäss geologischem Atlas.
- Abzüglich aller Ablagerungsstandorte und Schiessanlagen aus dem Kataster der belasteten Standorte des Kantons Bern.

Die Fläche, in der Erhebungspunkte aufgenommen werden können (zu beprobende Fläche), wurde im Vergleich mit der zu kartierenden Fläche nochmals reduziert:

- Ein Puffer von 1 m wurde auf die Parzellengrenzen gelegt, damit der Einfluss von Bewirtschaftungsgrenzen möglichst ausgeschlossen werden kann
- Ein Puffer von 5 m wurde um die Siedlungsflächen inkl. geodätisch erfassten Strassen und Wege, Auffüllungen/Deponien, Ablagerungsstandorte und Schiessanlagen gelegt, um möglichst wenig anthropogenen Einfluss in den Erhebungen anzutreffen.
- Alle geodätisch erfassten Werkleitungen inkl. Bauten und Masten wurden mit einem 10 m-Puffer versehen, um Sach- und Personenschaden zu vermeiden und möglichst wenig anthropogenen Einfluss in den Erhebungen anzutreffen.

## 2.2 Stichprobenplan und Beprobungsstrategie

In Zusammenarbeit mit einem internationalen Experten wurde ein Vorgehen entwickelt, wie die Standorte der Felderhebungen einerseits statistisch optimal über das Gebiet verteilt, und andererseits die Profilgruben für die feldpedologische Arbeit bestmöglich gewählt werden können. Profilgruben sollten möglichst früh im gesamten Aufnahmeprozess erhoben werden. Gleichzeitig muss das Gebiet pedologisch zu einem gewissen Grad untersucht worden sein, damit die Gruben an Standorten mit möglichst hoher Aussagekraft festgelegt werden können.

Schematisch ist die erarbeitete Beprobungsstrategie und deren chronologischer Ablauf in Abbildung 2 dargestellt.

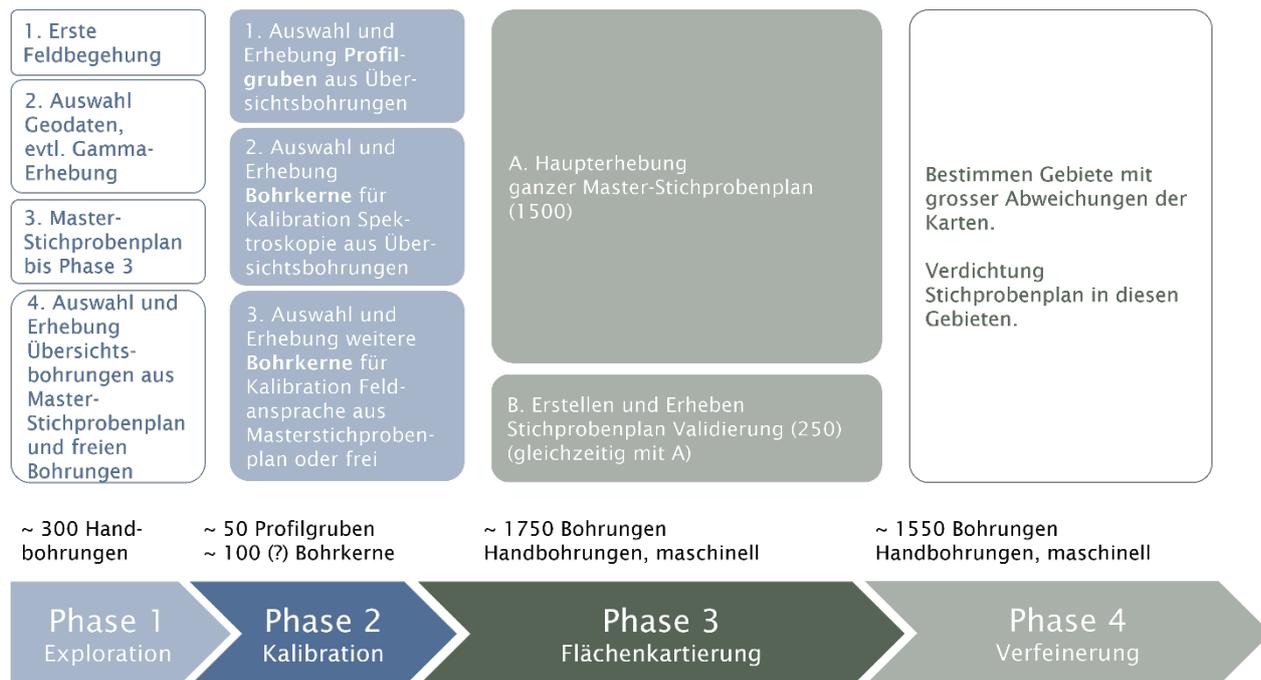


Abbildung 2. Schematischer und chronologischer Beprobungsplan, der gleichzeitig mit dem Stichprobenplan und in Zusammenarbeit mit einem internationalen Experten erarbeitet wurde.

Nach einer ersten Feldbegehung (Ziffer 2.3.1) konnten die relevanten Umweltfaktoren für den Stichprobenplan festgelegt werden. Danach wurde ein Gesamtstichprobenplan für alle Aufnahmen erstellt (ausser den Validierungsbohrungen). Verwendet wurde ein sogenanntes Feature Coverage Sampling Design, welchem eine statistische Clusteranalyse zugrunde liegt. Alle potenziellen Standorte für Bohrungen oder Profilgruben wurden nach ihrer Ähnlichkeit in Bezug auf die Umweltfaktoren gruppiert. Diese Umweltfaktoren sind hauptsächlich Geländeformen und geologisches Ausgangsmaterial. Dabei wurde die Häufigkeit der jeweiligen Kombinationen der Umweltfaktoren (z.B. Muldenlagen innerhalb der Moräne- und Molasse) berücksichtigt und auf eine gleichmässige Verteilung über das Pilotgebiet geachtet, um eine gute Repräsentativität der Umweltfaktoren zu erreichen. So wurden insgesamt 1'750 Erhebungsstandorte festgelegt.

Aus diesem Gesamtstichprobenplan wurden 250 Explorationsbohrungen ausgewählt, welche vor den Profilgruben erhoben wurden und woraus die Profilgruben ausgewählt wurden (vgl. Kap. 2.3.1 und 2.3.2). Dazu wurden die 1'750 Punkte erneut nach Ähnlichkeit gruppiert (statistisches Clustering), um die ganze pedologische Breite sowie möglichst typische Standorte erheben zu können.

Um den mittleren Fehler der schlussendlichen Bodenkarten schätzen zu können, wurden Validierungsbohrungen nach einem design-basierten Stichprobenplan festgelegt. Ein solcher Stichprobenplan weist ein Zufallskomponente auf, damit der mittlere Fehler unverzerrt geschätzt werden kann. Wir haben die für solche Fälle empfohlene, geschichtete Zufallsstichprobe verwendet, wobei eine grobe Einteilung nach Landschaftselementen als Schichten (Straten) verwendet wurden.

## 2.3 Feldarbeiten

### 2.3.1 Übersichtsbegehungen und Explorationsphase

Eine erste pedologische Annäherung ans festgelegte Gebiet wurde durch frei gewählte Übersichtsbohrungen gemacht. Ziel war, in allen vier geologischen Ausgangsmaterialien Feldbegehungen durchzuführen, um eine Übersicht über die pedologische Diversität und die lokalen Bodenbildungsfaktoren zu gewinnen. Dazu wurden in diesen Teilgebieten die frei gewählten Handbohrungen in Transekten (Landschaftskorridore) gemacht. Dies geschah an vier Feldtagen mit insgesamt ca. 80 Bohrungen. Mit diesen Erkenntnissen konnte das Gebiet nun in sechs grobe pedologische Zonen eingeteilt werden. Diese grobmassstäbliche Konzeptkarte bildete eine weitere Grundlage (Schicht oder Stratum) für das sampling design (vgl. Kap. 2.1).

Die 250 durch den Stichprobenplan vorgegebenen Explorationspunkte plus 50 vom Kartierpersonal frei wählbaren Punkte wurden mittels Flügelbohrer von Hand erbohrt. Die erhobenen Feld-Parameter waren:

- Standortdaten: Koordinaten, Landschaftselement, Neigung, Exposition, Geländeform, Relief und aktuelle Vegetation.
- Bodendaten: Horizontbezeichnung, Bodenbereich, Ausgangsmaterial, org. Substanz (visuelle Beurteilung), Feinerdekörnung (Fühlprobe), Skelettgehalt (Visuelle Beurteilung), Kalkgehalt (HCl-Test), pH (Hellige-Test), Feuchtigkeit, Vernässungsmerkmale, Fremdmaterialien, PNG-Faktoren (Vernässung oder fehlende Aggregatstruktur zur Beurteilung).
- aggregierte Bodeninformationen und -Klassifikation: Bodentyp, Untertypen, pflanzennutzbare Gründigkeit (PNG) und Wasserhaushaltsgruppe.

### 2.3.2 Profilphase

Nach dem Abschluss der Explorationsphase lagen rund 300 horizontweise beschriebene Bodenansprachen von Handbohrungen vor. Diese wurden nach pedologischer Ähnlichkeit gruppiert (statistische Clusteranalyse) und pro Gruppe eine Auswahl von möglichst typischen Standorten für die Profilgruben vorgeschlagen. Diese potenziellen Profilgrubenstandorte wurden pedologisch auf ihre Relevanz ausgewertet. Das heisst, es wurde analysiert, ob alle Bodentypen, Ausgangsmaterialien, Vernässungs- und Körnungsklassen vorkommen, also die gesamte Bodendiversität abgebildet ist. Weiter wurde drauf geachtet, dass die Verteilung von häufig vorkommenden Bodeneigenschaften gut repräsentiert ist. Beispielsweise auch, ob die Waldstandorte in einem pedologisch sinnvollen Verhältnis zu den Profilstandorten in landwirtschaftlichen Nutzflächen stehen. Weiter wurde die geographische Verteilung händisch überprüft und wo nötig angepasst. Wenn die Dichte von Profilen in einem Teilgebiet zu gross war, wurde ein Profil gestrichen, um eines innerhalb desselben Clusters zu wählen, das in einem Teilgebiet mit geringer Profildichte liegt.

So wurden insgesamt 58 Profile ausgewählt. Dies entspricht knapp 5 Profile pro 100 ha, was ungefähr halb so viele Profile sind, wie sie in den Kartieranleitungen FAL24 und FAL 24+ postuliert werden. Die «fehlenden» Profile wurden in einer späteren Phase mit Kernbohrungen von 14 cm Durchmesser ersetzt (siehe 2.3.4).

Die Profile wurden auf 1.5m abgeteuft. Eine tiefere Grube ist ohne weitere Sicherheitsvorkehrungen nicht gestattet.

Danach wurde eine Bodenprofilansprache nach Datenschlüssel 6.2 und KLABS 2010 inkl.

Dokumentation auf Profilblatt (DS6.1) und in soildat.ch inkl. Fotodokumentation durchgeführt. Aus jedem Horizont wurden Materialproben entnommen und chemisch auf die Parameter  $C_{org}$ , Kalk, Ton, Schluff, pH-Wert nach  $H_2O$  und  $CaCl_2$  analysiert. Aus je einem Ober- und Unterboden-Horizont wurden Volumenproben in Zylindern zur Bestimmung der Lagerungsdichte im Drucktopf entnommen.

Um den jeweiligen Eingriff (offene Profile) und den potenziellen Schaden für die Landwirtschaft (Profile auf angesäten Flächen und dergleichen) möglichst kurz und gering halten zu können, musste einerseits sichergestellt werden, dass die Kartierbüros und die Labors genug Kapazität haben, um die Ansprache, Beprobung und Analyse innert nützlicher Frist (d.h. Feldarbeit innerhalb einer Woche; Laboranalyse innerhalb zwei Wochen) durchführen zu können. Andererseits musste auf die bestehenden Kulturen, resp. Erntephasen geachtet werden. So wurden die Profile in zwei Phasen ausgeführt. Dafür wurden die Profilstandorte in zwei möglichst sinnvolle geografische Gebiete aufgeteilt. Hauptkriterium waren die aktuellen Ackerkulturen auf den Parzellen mit Profilstandorten; Getreide- und Rapskulturen einerseits; Mais-, Kartoffel- und Rübenkulturen andererseits. Die restlichen Profile auf Wiese oder Weide sowie im Wald wurden je nach geographischer Lage den beiden Gruppen zugeschlagen. Die erste Phase mit den Profilen auf den abgeernteten Raps- und Getreidefeldern wurde für Ende August angesetzt; die zweite Phase auf den abgeernteten Kartoffel-Mais- und Rübenkulturen einen Monat später. Aufgrund Ernteverzögerungen bei Körnermais und Rüben aufgrund des eher nass-kalten Sommers, sowie legalistischen Gründen (vgl. 2.3.6.) wurden vier Profile erst im Januar 2022 ausgeführt.

### 2.3.3 Flächenkartier-Phase

Für die praktische Umsetzung der Feldarbeit wurde das Gebiet in drei Etappen unterteilt. Für die etwas kleineren Etappen 1 und 2 wurde eine Ausschreibung von je 17 Profilen und je rund 500

Bohrungen im Einladungsverfahren erstellt und insgesamt sechs lokale Ingenieurbüros eingeladen<sup>1</sup>. Diese Büros haben ihre bodenkundliche Erfahrung und Expertise vorwiegend im Bereich der bodenkundlichen Baubegleitung und nicht in der klassischen Bodenkartierung. Dies wurde aus zwei Gründen so gemacht: Die auf Bodenkartierung spezialisierten Büros hatten einerseits zu wenig freie Kapazitäten. Andererseits wurde in diesem Auftrag im Hinblick auf die zukünftige Ausbildung von Feldfachkräften ein spezielles Augenmerk auf den Wissenstransfer gelegt. Dies bedeutet, dass im Leistungsverzeichnis der Ausschreibung spezielle Positionen angelegt wurden, damit die erfahreneren Kartierer die Nachwuchsfeldkräfte in der Praxis anleiten konnten. Wie ein effizienter Wissenstransfer und Erfahrungszuwachs innerhalb eines Kartierprojektes durchgeführt und erarbeitet werden kann, ist Bestandteil der Fragestellung im Arbeitspaket 5.

Die Hauptidee der Erhebungsart für die flächendeckende Kartierung sind die Handbohrungen mit dem Flügelbohrer. Diese wurden mit verschiedenen Typen von maschinellen Bohrungen ergänzt. Nicht nur die Art der Bohrung und das verwendete Gerät sind unterschiedlich, sondern auch der Verwendungszweck. In Kapitel 2.3.4 werden die verwendeten Bohrungstypen beschrieben und in Tabelle 1 des Kapitels 3 alle angewandten Erhebungstypen qualitativ beurteilt. Die Kartierphase der Etappen 1 und 2 läuft aktuell noch bis ca. Mitte April 2022.

#### 2.3.4 Maschinelle Bohrungen

Für die Erhebung der Bohrpunkte wurden verschiedene maschinelle Bohrungen angewandt und getestet, die unterschiedliche Informationstiefen generieren und unterschiedliche Aufwände bei der Umsetzung haben. Im Folgenden werden die angewandten Methoden beschrieben und miteinander verglichen.

- Ramm-Kernbohrungen Ø 145mm; Länge ca. 1'200 mm; Ausgeführt und Patent angemeldet durch die Firma Zurbuchen Bodenschutz GmbH.  
Als Profilergänzungen wurden Kernrammsondierungen mit einem extra für Bodenkartierzwecke entwickelten System der Fa. Zurbuchen Bodenschutz gestochen. Das Bohrgerät ist auf einem Traktor installiert.  
Nach der Profilphase wurde in Zusammenarbeit mit den Projektleitern der beiden Kartieretappen festgelegt, wo es Bedarf an weiteren leitprofilähnlichen Erhebungen gibt. Diese Erhebungspunkte wurden nach pedologischen und für die Kartierarbeit sinnvollen Aspekten definiert und wurden an bereits definierten Erhebungspunkten aus dem Stichprobenplan ausgeführt. Die Ansprache und chemische Beprobungen erfolgten gleich wie diejenige der Profile, einzig die Zylinderbeprobungen für die Lagerungsdichtebestimmung wurde weggelassen.  
Insgesamt wurden 36 dieser Kernbohrungen durchgeführt. Die Bohrkern wurden beim Bohrloch auf einer schwarzen Plastikfolie gelagert. Nach der Beprobung und Beschreibung konnte das Bohrloch wieder verfüllt werden. Teilweise war es etwas zu wenig Material, so dass Verfüllmaterial zugeführt werden musste.  
Eine Bohrung wurde experimentell mit einer längeren 200 cm-Bohrhülse durchgeführt. Damit konnte ein 170 cm langer Bohrkern im Wald generiert werden.

<sup>1</sup> Die dritte Etappe wird in der zweiten Jahreshälfte 2022 in Angriff genommen.



Abbildung 3. Bohrgerät auf landwirtschaftlichem Trägerfahrzeug der Firma Zurbuchen Bodenschutz. Die Bohrhülse gibt es mit einem Innendurchmesser von 145 und 80 mm. (Foto: HAFL)



Abbildung 4. Aufgebrochener 145 mm-Bohrkern, bereit zu Erhebung der Bodeneigenschaften. Durch die grosse ungestörte Fläche lassen sich auch Eigenschaften wie Gefügear und geologisches Ausgangsmaterial relativ gut bestimmen. (Foto: HAFL).

- Zur Ergänzung der oben genannten Profilersatzbohrungen wurden sechs Rotationskernbohrungen Ø 80mm; Länge ca. 1'000 mm mit der Firma GreenGround AG durchgeführt. Das Bohrgerät befindet sich auf einem kleinen Raupengerät, damit die Bohrungen an schwerer zugänglichen Orten im Wald ausgeführt werden konnten. Die Bohrungen werden in vier Sektoren à 250 mm erbohrt und in HumaxTube-Einlegehülsen gelagert. Damit können diese Bohrkerne auch ortsungebunden beschrieben und beprobt werden.



Abbildung 5. Rotations-Kern-Bohrgerät auf kleinem Raupenfahrzeug der Firma GreenGround. Der Bohrturm wird auch auf grösseren Pneu-Trägerfahrzeugen eingesetzt. (Foto: KOBO).

- Ramm-Kernbohrungen Ø 80mm; Länge ca. 1'200 mm.  
Das System der Firma Zurbuchen Bodenschutz mit den Kernbohrungen kann auch mit einem kleineren Durchmesser angewendet werden.  
Es wurden an 9 Profilestandorten ein Kern und an 16 Profilstandorten je zwei Kerne erbohrt. Die 16 «doppelten» Kerne wurden für Messungen zum Skelettgehalt gebraucht. Die anderen 25 Kerne lagern noch verpackt im Kartiergebiet in einem Materiallager. Diese sollen zur Re-Eichung bei der Verdichtungsphase präpariert werden. Weiter können diese zum detaillierteren Methodenvergleich herangezogen werden.
- Ramm-Kernbohrungen Ø 36mm; Länge ca. 950 mm.  
Die Firma bodenproben.ch bietet dieses Bohrsystem auf einem kleinen traktorähnlichen Trägergefährt 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. 1'200 mm.  
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 6. 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).

### 2.3.5 Wissenstransfer, Ausbildung, QS, Eichung

Die Profile wurden von der Projektleitung zusammen mit externen Experten (Urs Zihlmann, Agroscope und Tobias Sprafke, KOBO) ebenfalls begutachtet. Dabei wurde der Fokus vor allem auf die Ausgangsmaterialien, Bodengenese und agronomische Bewertung gelegt. Zusammen mit den Kartierbüros (Projektleitung und weitere Kartierende) wurden Eich- und Wissenstransfertage durchgeführt. Diese dienen dazu

- dass vor allem unerfahrenere Kartierpersonen die Ausgangsmaterialien erkennen und die Bodengenese verstehen lernen.
- die Klassifikation und die Notifikation der zu erhebenden Bodeneigenschaften zu synchronisieren.

Bei der Flächenkartierung - sei es Handbohrungen oder maschinelle Stechbohrungen - wurden die Kartierenden tageweise von der Projektleitung begleitet, um eine möglichst konsistente gleichbleibende Bodenansprache über die verschiedenen Personen und Teilgebiete sicherzustellen

### 2.3.6 Kommunikation mit der Landwirtschaft

Weil diesem Projekt grosse Bedeutung zugemessen wird und die Landwirtschaft darin ein sehr wichtiger Stakeholder ist, wurde auf die Kommunikation mit dieser Stakeholdergruppe grossen Wert gelegt.

Dazu wurde der Berner Bauernverband BBV miteinbezogen, da die Ziele des Projektes, resp. einer flächendeckenden Bodenkartierung sich sehr gut mit den strategischen Bodenzielen des Bauernverbandes decken. Auf Rat des BBV wurde eine mehrstufige Kommunikation angewandt. Als erstens wurde via Newsletter des Bauernverbandes über den Start und die Ziele des Projektes berichtet und dass im Raum Meikirch/Wohlen eine Pilotkartierung durchgeführt werden soll.

Für die Explorationsphase wurden alle betroffenen BewirtschafterInnen telefonisch informiert. Einerseits um eine erste persönliche Kontaktaufnahme zu machen. Andererseits waren diese Explorationsbohrungen allesamt potenzielle Profilstandorte. Es empfiehlt sich, möglichst früh im persönlichen Gespräch zu erfahren, ob es eine grundsätzlich ablehnende Haltung der Bewirtschafter\*in gegenüber Sondagen gibt.

Insgesamt wurden 57 Bewirtschafter\*innen benachrichtigt. Von denen standen drei dem Vorhaben ablehnend gegenüber und haben die Bohrungen, resp. den Zutritt auf ihr bewirtschaftetes Gebiet verboten. Weitere drei standen dem Projekt sehr kritisch gegenüber, haben aber die Handbohrungen erlaubt. Etwa gleich viele, wie sich kritisch-ablehnend geäußert haben, waren sehr interessiert und neugierig. Die grosse Mehrheit war weder besonders interessiert noch ablehnend.

Im Frühling wurde für alle Beteiligten (landwirtschaftliche Bewirtschafter\*innen, Gemeindevertreter\*innen) zu einer Informationsveranstaltung auf einem Hof im Kartiergebiet geladen. Bei dieser Gelegenheit wurde zusammen mit Vertretern des Kantons (LANAT) die Ziele, Zweck und das Vorgehen des Projektes erläutert sowie über die geplanten Profilstandorte und die Arbeiten bei der Bodenansprache informiert. Die Bewirtschafter\*innen konnten ihre Bedenken wie auch Wünsche zu der Pilotkartierung äussern.



Abbildung 7. An der Informationsveranstaltung über die Pilotkartierung konnten die Landwirt\*innen ihre Wünsche für Kartenprodukte deponieren, sowie ihre Befürchtungen, die damit einhergehen äussern. (Foto: HAFL).



Abbildung 8. An einer Bodenprofilgrube wurde demonstriert, wie die Erhebungen vonstattengehen und wie gross der Eingriff in die landwirtschaftliche Fläche ist. Dabei wurde auch über alle geplanten Profilstandorte informiert. (Foto: HAFL).

### Kommunikation für Profile

Diejenigen Bewirtschafter\*innen, bei denen ein Profil geplant war und nicht an den Informationsveranstaltungen teilgenommen hatten, wurde ein Brief inkl. Kartenausschnitt mit den nötigen Informationen zugeschickt.

Ca. 14 Tage vor den geplanten Profilgrabungen wurden alle betroffenen Landwirt\*innen nochmals telefonisch kontaktiert, um allfällige Absprachen zu treffen, damit das Profil gegraben werden kann.

Dazu gehören:

- Auszäunen des Profilstandortes, wenn es auf einer Weide liegt
- Zugänglichkeit: von wo aus kann der Raupenbagger den Standort erreichen, damit es so wenig Kulturschaden gibt wie möglich
- Mitteilung des geplanten Erntedatums
- Mähen der Wiese
- Legalistische Streitereien: Eine Grundeigentümerin bat die Profilgrabung aufs neue Kalenderjahr zu legen, da der Pachtvertrag dann auslaufe. Es bestanden Unstimmigkeiten mit dem Pächter, weshalb die Eigentümerin befürchtete, der Pächter könnte die Profilgrabung zum Anlass nehmen, nicht den vereinbarten Pachtzins zu leisten. Als die Fläche wieder von ihr bewirtschaftet wurde, war die Profilgrabung problemlos möglich.

Für die maschinellen Bohrungen wurden die betroffenen BewirtschafterInnen per E-Mail über die potenziell betroffene Parzelle und den Zeitraum der vorgesehenen Interventionen informiert.

## Teil 2: Arbeitspakete 2-4

### 2.4 Transektauswahl

Ziel der Transektauswahl ist, Beprobungsgebiete (Landschaftskorridore) festzulegen, um die Forschungsfragen der Arbeitspakete 2-4 beantworten zu können. Dies soll dazu dienen die pedologische Vielfalt des Kantons Berns zu erfassen, um daraus allgemeine Regeln zur Bodengenese ableiten zu können. So soll eine Grundlage (Konzeptkarte) geschaffen sowie didaktisches Material gesammelt und aufbereitet werden, die helfen können den Kanton Bern flächendeckend zu kartieren.

Da sich die Bodenvielfalt und die Entstehungsregeln gut entlang Höhenstufen beobachten lassen, wurden die möglichen Transekte wie folgt konstruiert und eruiert. Entlang von allen Fließgewässern mit Namen im Kanton Bern wurden unter folgenden Voraussetzungen zufällige Punkte generiert:

- es muss sich eine Brücke in weniger als 500 m Entfernung befinden
- der Abstand der Punkte muss min. 1.5 km betragen.

Von diesen Punkten aus wurden 1269 Korridore senkrecht zum Fließgewässer gebildet, die beidseitig je 2 km lang und 500 m breit sind. Diese Transekte wurden mit der geologischen Karte «verschnitten», also die geologischen Informationen flächenbezogen den Transekten zugewiesen. Die so generierten Informationen der lithologischen Vorkommen, Landnutzungsformen und maximalen Höhendifferenzen wurden geostatistisch mittels k-means zu 50 Clustern ähnlicher Eigenschaften zusammengefasst. In jedem dieser Cluster befinden sich ein bis 148 Transekte, wovon jeweils eines im Feld erkundet und beprobt werden soll.

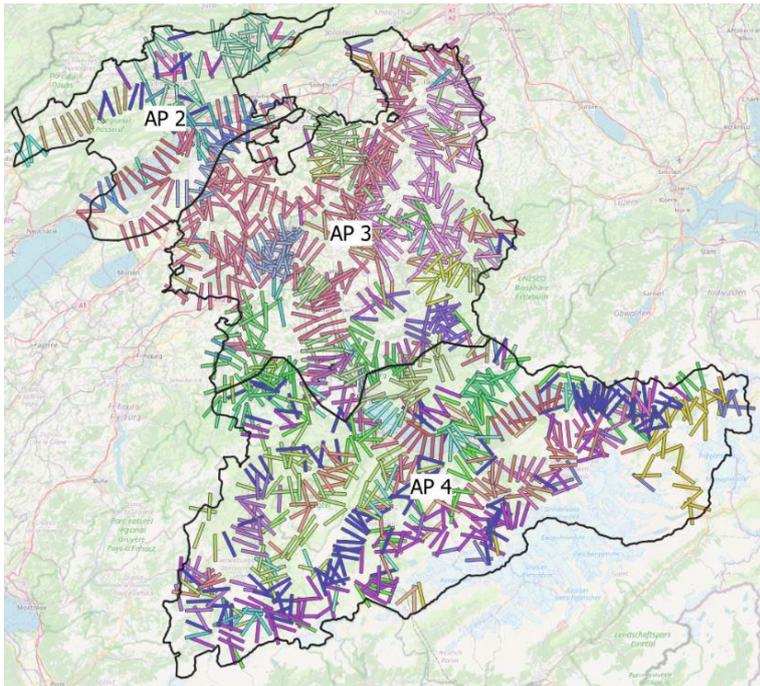


Abbildung 9. 1269 generierte Transekte, die zu 50 Cluster inhaltlich gruppiert wurden. Eine Farbe repräsentiert ein Cluster.

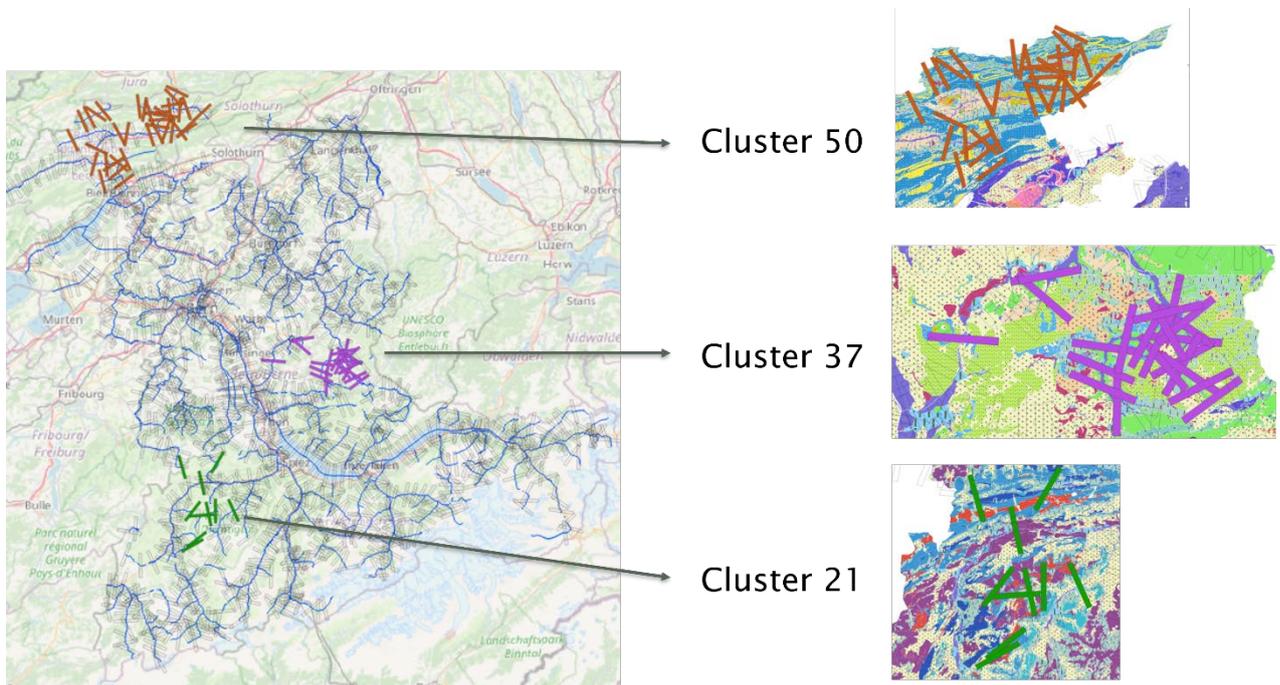


Abbildung 10. Die Cluster repräsentieren eine Gruppe von Landschaftskorridoren, die in ihrer Geologie und Landschaftsform (Relief), und damit in ihrem Vorkommen und Vielfalt der Böden ähnlich sind. Rechts dient die geologische Karte als Hintergrund.

Die Auswahl, welches Transekt pro Cluster beprobt werden soll, erfolgte durch folgende Auswertung: Die Kriterien dazu sind die Erreichbarkeit (Neigung und Zugangsstrassen) sowie eine möglichst hohe Informationsdichte. Letztere wurde bestimmt, indem in einem ersten Schritt das Cluster typologisiert wurde, also welche und wie häufig (anteilmässig) geologische Einheiten und Hangformen diese Landschaftskorridore charakterisieren. Innerhalb dieser Typologie wurden die Diversesten, also diejenigen mit der potenziell höchsten Informationsdichte gewählt.

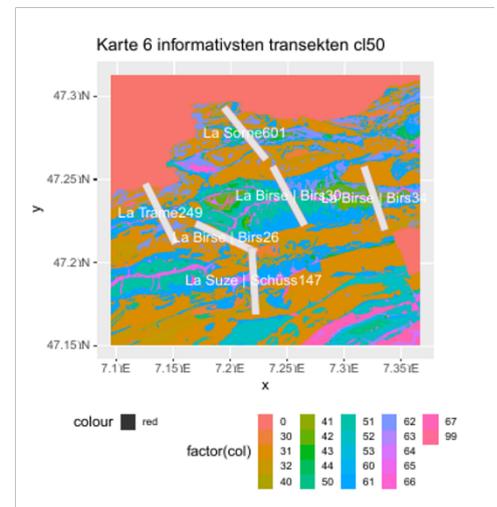
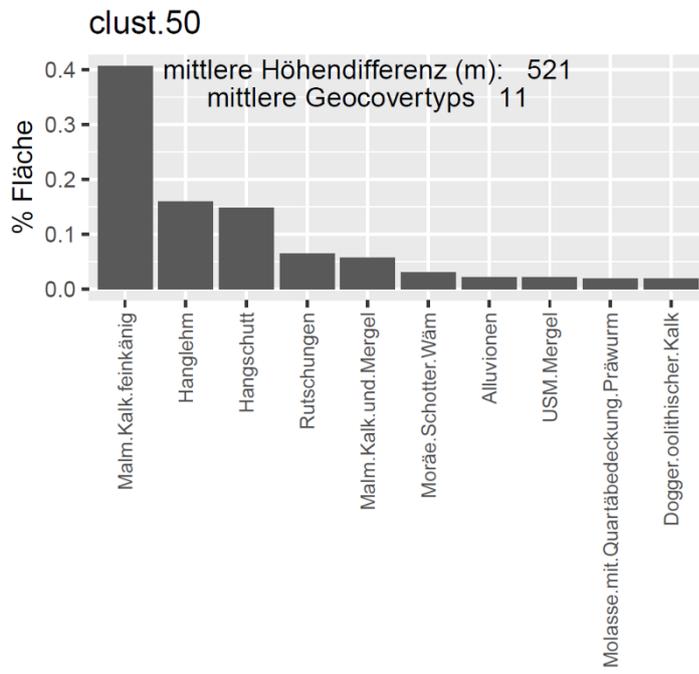


Abbildung 11. Charakterisierung des Clusters Nr. 50 gibt die verschiedenen vorkommenden Lithologien gemäss Geocoverkarte an (links). Rechts wurde ermittelt, welche sechs Transekte des Clusters Nr. 50 die Informativsten bezüglich Anzahl Lithologien und unterschiedlichen Landschaftsformen sind. Je höher der Faktor, desto diverser und informativer das Transekt.

### 3 Resultate und Ausblick

In diesem Kapitel werden konkrete Erkenntnisse und Resultate vorgestellt, die die relevanten Forschungsfragen gemäss Projektbeschrieb bearbeiten und beantworten sollen. Daraus ergeben sich Bereiche, auf die im weiteren Projektverlauf einen stärkeren Fokus gelegt werden muss.

#### 3.1 Räumliche Dichte und inhaltliche Hierarchie

In Tabelle 1. Qualitative Beurteilung der im Pilotgebiet Wohlen/Meikirch angewendeten Erhebungstypen ist eine qualitative Beurteilung aller **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ausgeführten Erhebungen der Kalibrierungsphase in den Etappen 1 und 2 aufgeführt. Die Kosten entsprechen dabei den effektiv angefallenen Kosten dieser Kartierkampagne. Die Bodenprofile sind der «Gold-Standard der Bodenansprache» und wird in der Bodenkartierung verwendet, um repräsentative Bodentypen mit einem sehr hohen Informationsgrad zu erheben und sichtbar zu machen. Dies sind die sogenannten Leitprofile, welche die Flächenkartierung erleichtern sollen, indem sie helfen, die ungenaueren Bohrstocksondierungen besser verstehen und interpretieren zu können. Trotz der hohen Kosten sind sie unverzichtbar für eine akkurate Bodenkartierung.

Tabelle 1. Qualitative Beurteilung der im Pilotgebiet Wohlen/Meikirch angewendeten Erhebungstypen

	Feldparameter										Ableitbare Parameter								Praxisparameter						
	Körnung	Gefüge	Skelett	Lagerung	org. Substanz	CaCO3	pH	Laborprobe chem.	Laborprobe phys.	Hydromorphie	Wasserhaushalt	PNG	Horizonte	Bodentyp	Untertypen	Ausgangsmaterial	Bodengene	Variabilität über 1m	Repräsentativität	Geschwindigkeit	Transport / Lagerung	Kosten	Körperliche Arbeitslast	Koordination / Organisation.	Flexibilität (Raum + Zeit)
<b>Profilwand</b> Breite 1m; Tiefe 150 cm	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	.	.	.	++	.	.
<b>Rammkernbohrung maschinell</b> Ø 145mm; T: 120-170cm (Zurbuchen)	++	++	++	+	++	++	++	++	.	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	±	±	+	.	±
<b>Rotationskernbohrung maschinell</b> Ø 80mm; T: 100-125 cm (GreenGround)	++	+	+	+	++	++	++	+	.	+	+	+	±	+	+	++	+	±	±	±	++	±	+	.	±
<b>Rammkernbohrung maschinell</b> Ø 80mm; T:120cm (Zurbuchen)	++	+	+	.	++	++	++	+	±	+	+	+	+	+	+	++	+	±	±	+	+	±	+	.	±
<b>Rammkernbohrung maschinell</b> Ø 36mm; T: 95cm (bodenproben.ch)	++	.	±	.	++	++	++	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	±	.	+	++	+	+	.	±
<b>Stechbohrung maschinell</b> Ø 18mm; T: 120cm (bodenproben.ch)	+	.	.	.	+	++	+	±	.	±	±	±	±	±	±	±	±	.	.	++	.	+	+	.	±
<b>Flügelbohrer händisch</b> Ø 50 mm T: 110cm	++	.	.	+	++	++	++	+	.	+	+	+	±	+	+	+	+	.	.	+	±	+	.	++	++
<b>Pürckhauer händisch</b> Ø 18mm T: 95 cm	+	.	.	.	+	++	+	±	.	±	±	±	±	±	±	±	±	.	.	+	.	+	.	++	++

Aufgrund der bisherigen Felderfahrung und der qualitativen Beurteilung ist in Tabelle 2 eine mögliche Zusammenstellung von Erhebungsarten zusammengestellt, die zukünftig eine möglichst effiziente Felddatenerhebung ermöglichen soll.

So könnte das System der Firma bodenproben.ch die Bohrtiefe auf 140 cm erhöht werden, um bei einer Mehrzahl der Bohrungen den Untergrund erreichen zu können. Eine noch grössere Bohrungstiefe würde bedeuten, dass ein grösseres, resp. schwereres Trägerfahrzeug vonnöten ist. Da diese Bohrungen aber möglichst flächendeckend eingesetzt werden müssten, sollte das Trägerfahrzeug möglichst leicht und wendig sein.

Diese Kombinationen der Erhebungstypen sollen in der Etappe 3 und in der Verdichtungsphase zum Einsatz kommen. Jedoch ist noch unsicher, ob diese Systeme bis dahin auf die gewünschte Weise adaptierbar sind.

Tabelle 2. Mögliche Verteilung der einzusetzenden Erhebungstypen in flächendeckender Bodenkartierung inkl. Beurteilung der Informationsgüte

Erhebungsart	Flächenkartierung Etappe 3 [Stk]	Verdichtungsphase Et. 1+2; ev. 3 [Stk]	Informationsgüte
Profilgrube Tiefe 150 cm	20	-	100 %
Ramm-Kernbohrung maschinell auf Traktor; Ø: 145 mm T: 120-170 cm	50	40	90 %
Ramm-Kernbohrung maschinell auf Geräteträger; Ø: 36 mm T: 140 cm	250	200	55%
Ramm-Kernbohrung maschinell auf Geräteträger; Ø: 18 mm T: 140 cm	-	400 (nur bild-analytische und spektroskopische Felddatenerhebung)	20 %
Flügelbohrer händisch Ø: 50 mm T: 110 cm	385	260	45 %
<b>Total</b>	<b>685</b>	<b>900</b>	

### 3.2 Praktische Umsetzung von Stichprobenplänen

Die Erfahrung der Kartierbüros hat gezeigt, dass die Umsetzung der Stichprobenplänen im Feld gut funktioniert. Hilfreich dabei sind ein gutes Verständnis der Aufgaben und Ziele des Projektes, resp. des angestrebten Produktes. Auch die Anwendung der technischen Hilfsmittel wie elektronische Datenbank, mobile GIS-Applikation sowie GPS-Empfangsgerät können nach einer kurzen Eingewöhnungsphase die Kartierpersonen für eine akkurate Erhebung der Bodendaten gut unterstützen.

Die Verschiebung oder Ersetzung von nicht zugänglichen Beprobungspunkten ist aufgrund der sampling designs für die Kalibrierungs- und Validierungspunkte unterschiedlich, aber klar geregelt. Auch bei dieser Anwendung tauchten bislang keine nennenswerten Probleme auf. Allerdings muss erwähnt werden, dass bislang nur eine kleine Anzahl Punkte nicht an den Orten wie ursprünglich geplant, erbohrt werden konnten. Möglicherweise könnte dies in anderen Gebieten und Landschaften anders werden.

## 4 Literaturverzeichnis

Bundesamt für Statistik (BFS) (2013): Die Bodennutzung in der Schweiz - Resultate der Arealstatistik | Publikation | Bundesamt für Statistik, 22.11.2013, zuletzt geprüft am 28.09.2020.

Nussbaum, Madlene; Burgos, Stéphane (2019): Konzept zur Erhebung flächendeckender Bodeninformationen für den Kanton Bern. technischer Bericht. Hg. v. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (BFH-HAFL). Zollikofen, zuletzt geprüft am 07.01.2020.

Preusser, Frank; Graf, Hans Rudolf; Keller, Oskar; Krayss, Edgar; Schlüchter, Christian (2011): Quaternary glaciation history of northern Switzerland. In: *E&G Quaternary Sci. J.* 60 (2/3), S. 282-305. DOI: 10.3285/eg.60.2-3.06.