

## Detailanalyse für die Umsetzung der Revision der Kartieranleitung.

Stéphane Burgos, Stefan Oechslin  
Zollikofen den 21.12.2018

# Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Informationen	3
2	Analyse der Module	4
	2.1 Modul C 1: Erstellen von grossmassstäblichen Bodenkarten 1:1000 bis 1:10'000	4
	2.2 Modul C 2: Kurzanleitung zum Erstellen von grossmassstäblichen Bodenkarten 1:1000 bis 1:10'000	6
	2.3 Modul C 3: Erstellen von mittel- und kleinmassstäblichen Übersichtsbodenkarten 1:25'000 und kleiner	6
	2.4 Modul D: Modellierung von Bodendaten	7
	2.5 Modul E: Bodendatenauswertung	7
	2.6 Modul G: Aufarbeiten von Bodendaten	7
3	Stellungnahme der Kartierungsgruppe der BGS	7
4	Allgemeine Überlegungen	9
	4.1 Anwendungsbereich der Kartieranleitung	9
	4.2 Historische Aspekte und Auswirkungen auf die Überarbeitung der Kartieranleitung	10
	4.3 Vergleich mit den weltweit verwendeten Methoden	11
	4.3.1 Alberta Geological Survey	11
	4.3.2 Die amerikanische Kartieranleitung (soil survey manual)	12
	4.3.3 Die deutsche Kartieranleitung (KA 5)	13
	4.3.4 Cartographie des sols (Legros)	13
	4.4 Schlussfolgerung zu den wissenschaftlichen und historischen Aspekten	13
5	Vergleich der bestehenden Kartieranleitung mit aktuellen Entwicklungen	15
	5.1 Allgemeine Organisation	15
	5.2 Beschreibung und Speicherung von Daten	16
	5.3 Interpretation der Daten	17
6	Schlussfolgerung	21
7	Abbildungsverzeichnis	23
8	Tabellenverzeichnis	23
9	Literaturverzeichnis	23

# 1 Allgemeine Informationen

Während der Erarbeitung des Vorprojekts Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) und der Bodenkartierungsanleitung (KA) (Weisskopf und Zihlmann 2017) erfolgten Vorarbeiten in Zusammenarbeit mit der BGS-Arbeitsgruppe Bodenkartierung. An einem umfassenden Meinungsaustausch (Workshop in Olten am 27.4.2016) wurden folgende Ziele der Revision der Kartieranleitung vorgestellt.

- Vereinigung der Kartieranleitungen der Wald- und Landwirtschaftsböden
- Erweiterung und Vertiefung der Angaben zu Planung und Durchführung von Kartierungen
- Standardisierung von Prozessen (QS-Management)
- Integration von Änderungen an der KLABS
- Berücksichtigung von DSM und anderen Methoden
- Aufzeigen des Vorgehens anhand praktischer Beispiele

Die KA sollte in der Form einheitlich mit der KLABS sein und eine Weiterentwicklung erlauben. Die Leitung sollte bei erfahrenen Leuten der KA-Gruppe liegen, um die Kontinuität und die Kompatibilität zu gewährleisten. Es sollten auch andere Grundlagen als die bestehende KA herangezogen werden, insbesondere bestehende Kartieranleitungen anderer Länder oder Organisationen. Weiter wurde ein Schema zur Projektorganisation erstellt. (Knecht und Borer 2016)

Im Dokument des Agroscope Vorprojekts gibt es Vorschläge für die Revision der Anleitung (Modul C) (Weisskopf und Zihlmann 2017). Erwähnt wird der grossmassstäbliche Fokus der aktuellen Methodik und die Weiterentwicklung durch den Kanton Solothurn zur FAL 24+ mit Attributtabelle, Polygonen und Regeln zur Qualitätssicherung. Falls praxistaugliche Forschungsergebnisse vorliegen, sollten diese laufend in die KA einfließen, dabei wird es zu Überschneidungen mit dem Modul D (DSM-Techniken) kommen.

Es wird folgende Gliederung für eine grossmassstäbliche KA vorgeschlagen:

- Einleitung
- Projektplanung
- Kartierkonzept
- Flächenkartierung
- Datenmanagement,

Es wird vorgeschlagen, neben einer ausführlichen Kartieranleitung, eine feldtaugliche Kurz-Kartieranleitung zu erstellen.

Eine Anleitung für kleinmassstäbliche Übersichtskarten (1:25000) müsste von Grund auf neu erarbeitet werden, eine solche sei jedoch aufgrund der heterogenen Bodenverhältnisse in der Schweiz nicht dringlich. Bereits erstellte Übersichtskarten könnten als Basis dienen.

## 2 Analyse der Module

Dieses Kapitel beschreibt den Handlungsbedarf der Kartieranleitungsrevision. Dieser wurde im bereits erwähnten Vorprojekt Agroscope umschrieben. Zur Vorbereitung des Revisionsprojektes KLABS / KA wurde eine Projektbegleitgruppe geschaffen, in der eine Grobbedarfsanalyse der Kartieranleitung diskutiert wurde (vgl. Kapitel 2.1 – 2.6). Dieses Dokument wurde den Mitgliedern der BGS Arbeitsgruppe Bodenkartierung zur Erstellung eines Positionspapieres vorgelegt. Der Inhalt des Positionspapiers (Borer und Knecht 2018) ist in Kapitel 3 zusammengefasst.

### 2.1 Modul C 1: Erstellen von grossmassstäblichen Bodenkarten 1:1000 bis 1:10'000

Die Tabelle 4 aus dem Vorprojekt Agroscope wurde zunächst unverändert übernommen. Aus unserer Analyse wurden die **grau hinterlegten** Themen hinzugefügt, die den aktuellen Stand der Projektentwicklung widerspiegeln. Zudem wurde ein Thema (**grün hinterlegt**) angefügt, das neu ist und allenfalls einiger Überlegungen für die Kartieranleitung bedarf – will man Transparenz über die Datenqualität oder will man sie nicht?

Tabelle 1: Liste der Themen und Inhalte, die im Rahmen der RevKA überarbeitet werden sollten.

Inhaltliche Gliederung	Wichtige zu bearbeitende Inhalte (Aufzählung <u>nicht</u> abschliessend)
1. Einleitung	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ziel und Aufbau der Kartieranleitung</li> <li>2. Gesetzliche Grundlagen</li> <li>3. Inhalt und Anwendung der Bodenkarte</li> </ol>
2. Projektplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielformulierung</li> <li>• Besonderheiten der zu kartierenden Landschaft; Methodische Herausforderung</li> <li>• Genauigkeitsvorgaben</li> <li>• Mitwirkung / Zusammenarbeit Stakeholder sichern</li> <li>• Projektformulierung</li> <li>• Testlauf sinnvoll? ja oder nein?</li> <li>• Projektbudgetierung</li> <li>• Grundlagenbeschaffung</li> <li>• Massnahmen zur Qualitätssicherung</li> </ul>
3. Kartierkonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung der Grundlagen</li> <li>• Übersichtsbegehung</li> <li>• Konzeptkarte (Geodaten-/Archivbodendatenanalyse usw.)</li> <li>• Kartierkonzept</li> <li>• Erdverlegte Leitungen</li> <li>• Auswahl und Genehmigung der Profilstandorte</li> </ul>
4. Flächenkartierung Feldarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Begriffe</li> <li>• Arbeitsunterlagen und Arbeitsgeräte</li> <li>• Aufnahme von Bodenprofilen</li> <li>• Feldkarte</li> <li>• Bohrungen</li> <li>• Wasserstandsmessungen in drainierten Böden</li> <li>• Vorgehen im Gelände</li> <li>• Variabilität von Boden- und Geländeformen</li> <li>• Entscheidungskriterien bei der Kartierarbeit (Sensitivitätsüberlegungen)</li> <li>• Leitlinien zur Polygonabgrenzung</li> <li>• Polygondatensatz</li> <li>• Attributbasierte Abgrenzung der Bodeneinheiten</li> <li>• Arbeiten mit einer Kartierungslegende (Bodenkartencode, Bodenkartenlegende)</li> <li>• Aufbereitung, Bereinigung der Feldkarte</li> </ul>
5. Datenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an Daten und Polygongrenzen (Vektordaten)</li> <li>• Digitalisierung Polygongrenzen</li> <li>• Datenkontrolle Polygongrenzen</li> <li>• Feldprotokolle / Datenaufnahme</li> <li>• Attributtabelle (inkl. Datenprüfung)</li> <li>• Datenübertragung in GIS</li> <li>• Plausibilitätsprüfung, Bereinigung</li> <li>• Attributkarten</li> <li>• Qualitätsprüfung? Genauigkeitsangaben?</li> <li>• Erläuterungsbericht</li> </ul>

### **Zu den Neuerungen, die zur Diskussion gestellt werden:**

Im Zuge einer Projektplanung ist zu prüfen, inwiefern die aktuelle Kartieranleitung (FAL 24+ oder bald die revidierte KA) den **Anforderungen des Kartierungsgebiets** gerecht wird. Die Geschichte hinter der FAL 24 und FAL 24+ liegt grundsätzlich in der Kartierung des CH Mittelandes. Das ist mit einer gewissen Unsicherheit bezüglich der Methodik in anderen Gegenden verbunden.

Die **Qualitätssicherung** der Punktdaten und Genauigkeit der Attribute ist in der KLABS und der FAL 24+ recht gut definiert.

Etwas unsicher ist der Stand der Qualitätssicherung und die Nachvollziehbarkeit im Rahmen von Polygongrenzen und davon abhängig, die Attributierung der Polygone. Es ist zweifellos zu erwarten, dass die bereits im Vorprojekt Agroscope vorgesehenen Ergänzungen in diesen Belangen Fortschritte bringen. Zur praxistauglichen Implementierung dieser Fortschritte ist es u.E. sinnvoll, sich Gedanken zur QS in im Zuge der Flächenkartierung zu machen.

### **Zu Punktdatensätzen**

Es ist zu prüfen inwiefern auch Punktbeobachtungen in einer Datenbank erfasst werden müssen. Sehr viel wertvolle Information geht verloren, falls dies nicht geschieht. Die Weiternutzung von Daten wird begrenzt um z.B. in der Zukunft genauere Karten zu produzieren.

### **Zu Polygondatensätzen**

In der FAL 24+ werden Böden unterteilt in Oberboden und Unterboden (2-Schicht-Datensatz). Diese ist gemäss erfahrenen Kartierer ein gewachsener und etablierter Standard. Einige Fragen, welche den heterogenen Aufbau von Böden betreffen, können mit dem 2-Schicht-Datensatz nicht beantwortet werden – gerade wenn mehrere Schichten des Bodens für unterschiedliche Fragestellungen betrachtet werden müssten.

Mindestens müssten folgende Vorgaben in der KA festgesetzt werden: Wie kommt ein Oberboden-Datensatz zustande und wie ein Unterboden-Datensatz. Wird dabei gemittelt? Auf eine Tiefe referenziert? Extrema dokumentiert?

Im Idealfall wird nach der Revision ein Datensatz vorgegeben, der auch Schichten und Heterogenität berücksichtigt. Ein Beitrag dazu wird bestimmt in der Revision der KLABS geprüft – z.B. auf Untertypenebene. Ob das aber ausreicht? Was kann eine intensive Auseinandersetzung zur Verbesserung des Flächendatensatzes bringen?

### **Detailkartierung im grossen Stil**

Das Vorgehen, das durch die obige Themenliste dargestellt ist, entspricht der Methodik, die mit Erfolg angewendet wird – im Rahmen von wenigen tausend Hektaren pro Jahr in der Schweiz. In den letzten zwei Jahren kamen immer mehr Entscheidungsträger zur Einsicht, dass flächendeckende Bodendaten nötig sind – und dies so bald wie möglich. Deshalb muss aus unserer Sicht in der Kartieranleitung auch folgende Themen abschliessend abhandeln:

Für den Fall, dass ein Grossprojekt (mehrere 10'000 Hektaren pro Jahr über einige Jahre) realisiert werden soll, ist darzulegen welche Auswirkungen sich auf die oben dargestellte, bewährte Anleitung hat. Besondere Aspekte sind dabei (in Anlehnung an Keller et al. 2018, S. 74):

- Projektorganisation
- Personalauswahl und Ausbildung
- Hilfsmittel, Geräte
- Testphase
- Grundlagenaufbereitung
- Erhebung und Sicherung von Punktdaten
- Arbeitsteilung / Schnittstellen

- Nutzung/Optimierung von Skaleneffekten ohne Qualitätseinbusse

## 2.2 Modul C 2: Kurzanleitung zum Erstellen von grossmassstäblichen Bodenkarten 1:1000 bis 1:10'000

Eine Kurzanleitung kann eine sinnvolle Unterstützung der Feldarbeit sein.

## 2.3 Modul C 3: Erstellen von mittel- und kleinmassstäblichen Übersichtsbodenkarten 1:25'000 und kleiner

Wir gehen von der Annahme aus, dass die Prozesse grundsätzlich ähnlich sind. Die Generalisierung der Bodendaten stellt immer wieder eine grosse Herausforderung dar und ist methodisch kaum geregelt. Deshalb ist es sinnvoll, den in der folgenden Tabelle gelb hervorgehobenen Prozessen in der Anleitung für Übersichtsbodenkarten besondere Beachtung zu schenken.

Tabelle 2: Liste der Themen und Inhalte, die im Rahmen der RevKA für mittel- und kleinmassstäbliche Bodenkarten überarbeitet werden sollten.

Inhaltliche Gliederung	Wichtige zu bearbeitende Inhalte (Aufzählung <u>nicht</u> abschliessend)
1. Einleitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziel und Aufbau der Kartieranleitung</li> <li>• Gesetzliche Grundlagen</li> <li>• Inhalt und Anwendung der Übersichtsbodenkarte</li> </ul>
2. Projektplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielformulierung</li> <li>• Besonderheiten der zu kartierenden Landschaft; Methodische Herausforderung</li> <li>• Genauigkeitsvorgaben</li> <li>• Mitwirkung / Zusammenarbeit Stakeholder sichern</li> <li>• Projektformulierung</li> <li>• Testlauf sinnvoll? ja oder nein?</li> <li>• Projektbudgetierung</li> <li>• Grundlagenbeschaffung</li> <li>• Massnahmen zur Qualitätssicherung</li> </ul>
3. Kartierkonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung der Grundlagen</li> <li>• Übersichtsbegehung</li> <li>• Konzeptkarte (Geodaten-/Archivbodendatenanalyse usw.)</li> <li>• Kartierkonzept</li> <li>• Erdverlegte Leitungen</li> <li>• Auswahl und Genehmigung der Profilstandorte</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
4. Feldarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Begriffe</li> <li>• Arbeitsunterlagen und Arbeitsgeräte</li> <li>• Aufnahme von Bodenprofilen</li> <li>• Feldkarte</li> <li>• Bohrungen</li> <li>• Wasserstandsmessungen in drainierten Böden</li> <li>• Vorgehen im Gelände</li> <li>• Variabilität von Boden- und Geländeformen</li> <li>• Entscheidungskriterien bei der Kartierarbeit (Sensitivitätsüberlegungen)</li> <li>• Leitlinien zur Polygonabgrenzung</li> <li>• Attributbasierte Abgrenzung der Bodeneinheiten</li> <li>• Arbeiten mit einer Kartierungslegende (Bodenkartencode, Bodenkartenlegende)</li> <li>• Aufbereitung, Bereinigung der Feldkarte</li> </ul>
5. Datenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an Daten und Polygongrenzen (Vektordaten)</li> <li>• Digitalisierung Polygongrenzen</li> <li>• Datenkontrolle Polygongrenzen</li> <li>• Feldprotokolle / Datenaufnahme</li> <li>• Attributtabelle (inkl. Datenprüfung)</li> <li>• Datenübertragung in GIS</li> <li>• Plausibilitätsprüfung, Bereinigung</li> <li>• Attributkarten</li> <li>• Qualitätsprüfung? Genauigkeitsangaben?</li> <li>• Erläuterungsbericht</li> </ul>

## 2.4 Modul D: Modellierung von Bodendaten

Bezüglich Modellierung von Bodendaten gilt derzeit noch der Stand, der im Vorprojekt Agroscope dokumentiert ist. In Ergänzung dazu skizziert Keller et al. 2018 im Kapitel 3.3 einen Weg, wie sich die Kartiermethode mit Unterstützung von digitalen Methoden weiterentwickeln könnte. Der Kenntnisstand ist derzeit nicht ausreichend, um an dieser Stelle klaren Handlungsbedarf für die Kartieranleitung aufzeigen zu können.

## 2.5 Modul E: Bodendatenauswertung

Vordringlich sind u.E. zwei Aspekte:

- Überarbeitung und Bereinigung der Methode zur Ermittlung der Nutzungseignungsklassen
- Darstellen von ersten Beispielen von Auswertungskarten für diverse Stakeholder/Akteure (z.B. Forstwirtschaft, Bau, Naturgefahren, Bewässerung), um ihnen klare Vorstellungen darüber geben zu können, was moderne Bodenkarten für ihre Fachgebiete leisten können.

Der Anspruch, der für alle diese Auswertungsmethoden gilt, ist:

- Die Auswertungen müssen eindeutig und nachvollziehbar sein.
- Allenfalls ist es schwierig, universelle (ein grosses Wort für die kleine Schweiz) Methoden zu definieren – dann lieber nur regional gültige Methoden, die weiter adaptiert werden können.

Zur NEK-Interpretation:

Hier ist es unerlässlich, alle Klimata abzudecken. Das ist heute mit den Nutzungsgebieten nicht der Fall.

Ferner ist u.E. zu prüfen, ob die Klimaeignungskarte die einzige klimatische Grundlage sein soll, um NEK-Herleitungen zu machen. Es gibt inzwischen viel differenziertere Grundlagen. Eigenen sich diese auch besser als Grundlage und lassen sie sich besser anwenden? Dies ist genau zu prüfen.

## 2.6 Modul G: Aufarbeiten von Bodendaten

Hier kann u.E. die Analyse des Vorprojektes Agroscope übernommen werden.

## 3 Stellungnahme der Kartierungsgruppe der BGS

Aus dem Inhalt von Kapitel 2 wurde von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS ein Positionspapier erstellt. Elf Experten haben dazu einen Fragebogen beantwortet. Dieses Kapitel beinhaltet die Schlussfolgerungen, des aus den ausgewerteten Fragebögen generierten Positionspapieres (Borer und Knecht 2018). Diese Schlussfolgerungen geben die allgemeinen Inhalte wieder und zeigen die Priorisierung der verschiedenen Aufgaben auf. Die Hauptthemen wurden aus dem Vorprojekt Agroscope übernommen, die grau oder grün gefärbten Punkte aus Tabelle 1 wurden dagegen nicht systematisch diskutiert.

Pro Thema werden folgende Punkte aufgeführt:

- Projektplanung (PP): Vier Punkte betreffend der Formulierung von Zielen und der Qualitätssicherung werden beschrieben. In zweiter Priorität wird der Inhalt und die Bereitstellung von Daten behandelt.
- Kartierkonzept (KAR-KON): Es werden drei Punkte diskutiert, die die Bedeutung eines KK und die Verwendung von Basisdaten sowie von Referenzprofilen zeigen.

- Bodenprofil (BO-PROF): Die Humusform, die pflanzennutzbare Gründigkeit und der Wasserhaushalt werden als prioritär erachtet. Diese Punkte liegen jedoch eher im Bereich der RevKLABS.
- Flächenkartierung (FLÄ-KA): Die Bestimmung der Anzahl Bohrungen, sowie die erforderliche Genauigkeit der Beobachtung werden als oberste Priorität genannt. Zweite Priorität haben die Attributierung der Polygone und deren Abgrenzung sowie die Legende. Ebenso zweite Priorität hat die Thematik der Variabilität und Genauigkeit von Polygonen.
- Datenmanagement (DA-MAN): Es wird nur die Attributtabelle erwähnt.
- Bewertung der Böden (BEW-BÖ): Die pflanzennutzbare Gründigkeit und der Skelettgehalt werden erwähnt. Ebenso soll die Interpretation der Daten überprüft werden, z.B. in Bezug auf die NEK.
- Bewertung von Waldböden (BEW-WA): Es sollte klar zwischen Wald- und Landwirtschaftsböden unterschieden werden jedoch sind die Themen ähnlich derer bei BEW-BÖ.

In verschiedenen Kapiteln dieses Berichtes werden Dokumente erwähnt, in denen bereits ausgeführte Arbeiten zu verschiedenen Themenfeldern erwähnt werden. Leider wurde keine Bibliographie erstellt oder die genauen Textstellen angegeben, so ist es schwierig abzuschätzen wie weit die Vorarbeiten fortgeschritten sind und welche Arbeiten noch notwendig sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch wenn die Priorisierung teilweise divergiert, die behandelten Themen relativ ähnlich sind. Die Prioritäten variieren dabei je nach Interessengruppen. Daher ist es ratsam, die aktuellen Bedürfnisse auf Stufe der Kantone und des Bundes abzuklären und zu koordinieren und die Themen Priorität zu behandeln, die eine baldige Umsetzung verlangen.

Im Allgemeinen werden sowohl im Agroscope Vorprojekt als auch im BGS-Positionspapier die zu bearbeitenden Themenbereiche gut beschrieben, die Problemstellungen dagegen sind eher allgemein gehalten. Die Liste der Themen fasst eher die Kapitel zusammen, die im Entwurf des Handbuchs angegeben sind, als das mögliche Verbesserungen aufgezeigt werden. Es werden viele Details bezüglich der Beschreibung von Böden genannt, was eher in den Bereich der KLABS fallen würde. Wenige methodologische Entwicklungen werden in Betracht gezogen, obwohl eine Optimierung für eine flächendeckende Kartierung der Schweiz sehr wichtig ist.

In den folgenden zwei Kapiteln wird versucht, diese Probleme genauer zu definieren und mögliche Lösungswege aufzuzeigen. Eine Analyse der internationalen Situation zeigt die Trends und Möglichkeiten, die bestehen und andere Länder gewählt haben um ihre Kartiermethodik zu erneuern. Das Ganze wird schliesslich im Lichte der kürzlich veröffentlichten NFP68 Ergebnisse betrachtet.

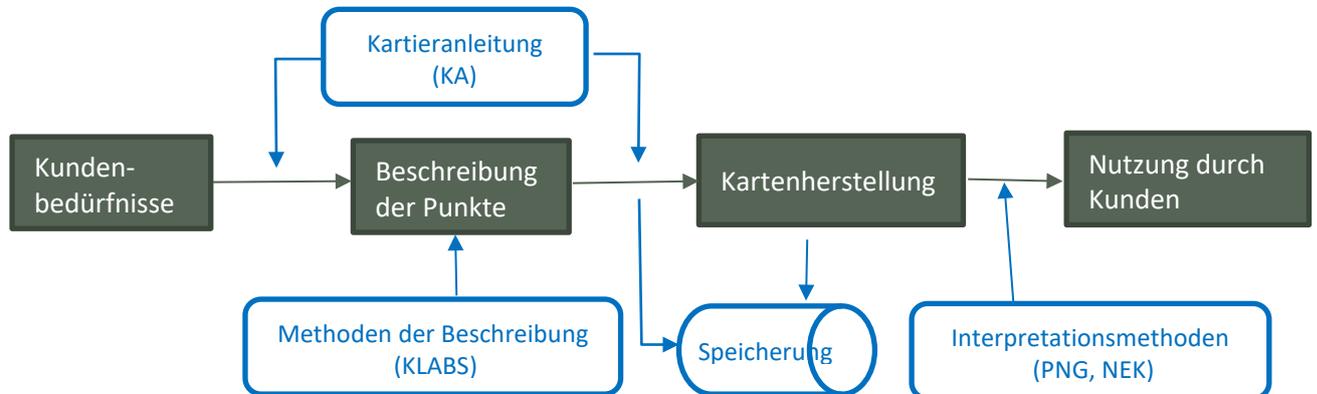
## 4 Allgemeine Überlegungen

### 4.1 Anwendungsbereich der Kartieranleitung

Die Kartieranleitungsrevision baut auf der FAL 24 sowie deren Ergänzungen und Modifikationen auf, die durch gewisse Kantone gemacht wurden, insbesondere in Solothurn und Zürich. Allgemein wird diese Methodik mit Erfolg angewendet, wird aber von den meisten Akteure als teuer beurteilt. Dies bestätigt sich bei einem Vergleich mit den Kosten pro Flächeneinheit anderer Kartiermethoden (Nussbaum et al. 2018). Das folgende Kapitel soll einige Hinweise zur Effizienzsteigerung einer Kartierung liefern. Es handelt sich dabei um Ideen und Überlegungen, die aus Erfahrungen vergangener Kartierungen sowie Kartiermethoden anderer Länder zusammengestellt wurden. Eine Rationalisierung wird notwendig sein, um die Schweiz flächendeckend zu kartieren.

In diesem Kapitel werden unter anderem, die in den Kapiteln 2 und 3 definierten Probleme zu erläutern. Auf der konzeptionellen Ebene müssen wir folgendes unterscheiden:

- Die Bedürfnisse in Bezug auf die Erläuterung oder Veranschaulichung der derzeit verwendeten Methoden.
- Die Methodik zur Beschreibung von Punktdaten und wie man im Feld vorgeht.
- Die Strategie, um die Orte der Beobachtungen festzulegen, die Art und Weise, wie man die Karten herstellt und die Informationen speichert.
- Das Sammeln von Informationen und deren Interpretation für unterschiedliche Anwendungen oder Interpretationen, die unterschiedlichen potentiellen Kunden und spezifischen Attributanforderungen entsprechen.



Der erste Punkt ist eher redaktionell und Gegenstand eines Konsenses. In der Tat ist ein reich bebildertes Handbuch, das Beispiele enthält und die klaren Methoden darstellt, von allen erwünscht und wird hier nicht erörtert. Die folgenden Kapitel konzentrieren sich daher eher auf methodische als auf didaktische Aspekte

Die Beschreibungsmethode für Punktdaten und deren Klassifizierung in einem System ist Aufgabe der KLABS, da genaue Definitionen der aufzunehmenden Parameter für eine Klassifizierung erforderlich sind.

Die Art und Weise, wie die Daten interpretiert werden, kann Teil der KLABS oder der KA sein, und die vor Ort angewandten Standardverfahren unterliegen ausschliesslich der Verantwortung der Kartieranleitung. Es ist daher notwendig, die aktuellen Probleme objektiv zu beschreiben und Lösungsvorschläge zu unterbreiten. Ein vorrangiges Ziel bleibt die praktische Anwendung im Feld.

Aus diesem Grund zeigt das erste Kapitel die aktuelle weltweite Entwicklung der Bodenkartierung. Am Ende des Kapitels finden sich Beispiele von Kartieranleitungen, die Antworten auf die in der Analyse des KA-Überprüfungsbedarfs gestellten Fragen geben

können. Es ist anzumerken, dass derzeit in den verschiedenen Dokumenten nur wenige Elemente beschrieben werden, die die Strategie im Feld betreffen.

## 4.2 Historische Aspekte und Auswirkungen auf die Überarbeitung der Kartieranleitung

Die Bodenkartierung und das Bodenwissen haben sich in den letzten 100 Jahren stark verändert. Miller und Schaetzel (2016) haben diese Veränderungen nachgezeichnet und die verschiedenen dabei durchlaufenen Etappen ausgeführt. Von besonderem Interesse ist die Dokumentation der parallelen Entwicklung zwischen der Klassifizierung und dem, was im Feld getan wurde. Das häufig zitierte allgemeine Paradigma ist die Verbindung zwischen Boden und Landschaft. Wenn zwei Orte die gleichen Eigenschaften haben (Faktoren von Jennys Pedogenese (Jenny 1941)), dann ist die Wahrscheinlichkeit gross, identische Böden zu haben. Dieses Paradigma basiert im Allgemeinen auf einem enormen konzeptionellen Wissen, das von erfahrenen Menschen getragen wird und somit das Verständnis und Lernen von Kartierungsmethoden für ein breites Publikum einschränkt (Hudson 1992). Darüber hinaus zeigt die Entwicklung der Bodenkarten, dass ihre Genauigkeit (und damit ihr Massstab) von den Karten (Topographie, Vegetation, Klima, Geologie) abhängt, die diese grundlegenden Faktoren der Pedogenese liefern. Obwohl viele Faktoren die Pedogenese beeinflussen, variieren die Hauptfaktoren je nach Skala. Ein Vergleich der historischen Bodenkarten in verschiedenen Kartenmassstäben ergibt drei verschiedene Gruppen (Miller und Schaetzel 2016):

1. Karten mit kleinem Massstab ( $>1:1100000$ ), die sich auf bioklimatische Beziehungen konzentrieren,
2. Karten mit mittlerem Massstab, die sich auf die Beziehungen zwischen den Ausgangsmaterialien und der
3. Karten mit grossem Massstab ( $<1:25000$ ) mit Schwerpunkt auf topographischen und hydrologischen Zusammenhängen.

Diese Unterschiede in der Beobachtungsskala erscheinen daher auch im USDA-Bodenerhebungshandbuch (USDA, Soil Science Division Staff 2017) und sind auch in den verschiedenen von Legros (1996) beschriebenen Bodenverteilungsmodellen enthalten.

Darüber hinaus unterscheidet Legros drei Hauptmodelle in Bezug auf die Bodenverteilung:

1. Modell «Profil»: Die Reihenfolge der Horizonte ist nicht zufällig und die Zuordnung der Horizonte muss für den jeweiligen Bereich ähnlich sein. Damit wird der Begriff der Serie eingeführt (der ebenfalls zu Beginn des 20. Jahrhunderts in den USA entwickelt wurde, ergänzt durch den Begriff der Verunreinigung).
2. Modell «Zugehörige Böden»: Dazu gehört die Definition von Bodenverbänden, Bodenkomplexen und Bodengruppen. In jeder Definition kann die Komplexität mehr oder weniger genau beschrieben werden. Diese Begriffe finden sich in allen grafischen Darstellungen, wenn die Verflechtung der Böden feiner ist, als es das Ausmass, in dem wir arbeiten, erlaubt. Diese assoziierten Böden bilden Toposequenzen, Klimafolgen und Chronosequenzen.
3. Modell «Bodenlandschaft und Bodennaturräume»: In diesem Fall wird eine Landschaft und die verschiedenen Bodenformen darin beschrieben. Dieses Modell wird für Karten mit kleinem Massstab verwendet. Dieser Begriff der Landschaftsanalyse war schon immer Teil des Paradigmas.

Die Analyse der Böden einer Region wird daher von dem Massstab der Beobachtung und Aggregation sowie den in dieser Region verfügbaren Informationen abhängen (Miller und Schaetzel 2016). Es ist daher wichtig, dies zu berücksichtigen und in das Kartierhandbuch zu integrieren.

Die verfügbaren Informationen zur Topographie sind um ein Vielfaches umfangreicher und genauer, seit es digitale Geländemodelle und Software zu deren Nutzung gibt. Es

zeigt sich, dass der Einsatz von Computertechnologie im Kartierungsprozess das von Hudson (1992) beschriebene zentrale Paradigma nicht grundlegend verändert, sondern mehr Daten verwaltet werden können. Deshalb wurde, sobald digitale Feldmodelle auftauchten, eine ganze Reihe neuer Werkzeuge entwickelt. Das erste Werkzeug ermöglicht die Visualisierung verschiedener geographischer Objekte (GIS) und erscheint Ende der 90er Jahre (Team), die zweite Generation ermöglicht die Erstellung von Datenbanken zur Verknüpfung von Informationen (King et al. 1999) und das Berechnen topographischer Parameter (Hastie und Tibshirani 1990; Hastie et al. 2009) und schliesslich die dritte Generation von Werkzeugen, ermöglichen es durch räumliche Statistik, Zusammenhänge zwischen den beobachteten Variablen und Variablen aus Geologie, Topographie und Luftbildern (Rasterdaten mit grossen Datenvolumen und hohen graphischen Anforderungen) zu finden.

Pedotransferfunktionen wurden zunächst auf der Grundlage von Punktdaten entwickelt und stehen oft im Zusammenhang mit der Hydrologie oder den physikalischen Eigenschaften von Böden (Leij et al. 2004; McBratney et al. 2002; Patil und Singh 2016; Romano und Chirico 2004; Schaap et al. 2001; Wösten et al. 2001; Pachepsky und Rawls 2003; Kaur et al. 2002). Mit dem Erscheinen von Digital Höhenmodellen entwickelt sich dann die Digitale Bodenkartierung (DSM). Es erscheinen zahlreiche Artikel, die die Möglichkeiten der Modellierung bestimmter Bodeneigenschaften oder -typen durch Umweltparameter in verschiedenen Regionen der Schweiz (Papritz 2005, 2010; Papritz et al. 2016) und auch weltweit beschreiben (Hartemink et al. 2008; Sanchez et al. 2009; Minasny und Hartemink 2011; Nussbaum et al. 2012; Nussbaum und Papritz 2015; Nussbaum et al. 2014; Nussbaum et al. 2017). Auch Versuche einer weltweiten Homogenisierung sind im Gange (Hartemink et al. 2013).

Die Veröffentlichung des letzten Kartierungshandbuchs im Jahr 1997 und die Ausbildung von Kartierungsspezialisten wurden daher vor den ersten Anwendungen im Zusammenhang mit GIS, Datenbanken, digitalen Feldmodellen und den statistischen Werkzeugen zu ihrer Verarbeitung durchgeführt. Deshalb ist es notwendig, diese Fortschritte im zukünftigen Handbuch zu berücksichtigen.

### **4.3 Vergleich mit den weltweit verwendeten Methoden**

Es ist schwierig, klare Informationen über die in anderen Ländern verwendeten Methoden zu finden. Die Dichte der Punkte ist im Voraus schwer abzuschätzen, aber viele Länder haben Karten und Kartierungsmethoden in verschiedenen Massstäben entwickelt (Nussbaum et al. 2018). Andererseits sind die Methoden in den verschiedenen Ländern recht ähnlich. Die folgenden Kapitel versuchen, die in der aktuellen KA fehlenden Strategien genauer zu beschreiben. Die Beispiele unten zeigen grob die Schritte, die zu befolgen sind. Wir stellen fest, dass sie alle mehr oder weniger die gleiche Basis haben.

#### **4.3.1 Alberta Geological Survey**

Das Geologische Amt der kanadischen Provinz Alberta schlägt folgende Schritte vor (MacMillan et al. 1992):

1. Definition von Zielen, Bedürfnissen und möglichen Strategien.
2. Zusammenstellung vorhandener Daten, Voruntersuchungen und erste Schichtungen
3. Entwicklung einer ersten Legende mit Abschätzung der Anteile verschiedener Böden, Trennung von einfachen und komplexen Schichten.
4. Feldarbeit, für eine 1:50'000 Karte liegt die Punktdichte 1 Punkt pro 65 ha.
5. Validierung der Karte und mögliche Korrekturen.
6. Letzte Korrekturen und Herstellung des Berichts.

Im Handbuch werden weitere Herangehensweisen diskutiert, die in regelbasierte heuristische Ansätze und auf statistischer Analyse basierende Ansätze unterteilt sind.

Erstere sind eher implizit, da die Regeln für die Abgrenzung von Bodeneinheiten selten erklärt werden, obwohl das Relief in der Pedogenese eine wichtige Rolle spielt. Der verwendete Massstab variiert auf vier Stufen von 1:1'000'000 bis 1:10'000. Die Klassifikationsmethode «Ecological Land Classification» wurde in geringem Umfang angewendet. Sie ermöglicht es, grosse Einheiten zu identifizieren, die sich über grosse Flächen wiederholen. Dabei werden Schichten durch ihre Reliefgeologie und Vegetation definiert. Automatisierung wird erwähnt, aber die damaligen DEMs waren noch unzureichend.

Die oben genannten statistischen Methoden beschreiben einen Zusammenhang zwischen Remote Sensing, Supervised Classification, Quantitative Rules Based on Decision Tree Analysis, neural network, krigging, Regression und Trend Surface Analysis.

#### 4.3.2 Die amerikanische Kartieranleitung (soil survey manual)

Die Bodenkartierung begann um 1900 in den Vereinigten Staaten. Wie in vielen Ländern ging es darum, Böden für die Land- und Forstwirtschaft zu beschreiben. In den 1920er und 1950er Jahren kamen ingenieurwissenschaftliche und geologische Fragestellungen dazu. Später wurde die Nutzung der Karten auf den Bodenschutz und die Raumordnung ausgedehnt.

Der USDA-Kartieranleitung wurde seit 1993 grundlegend überarbeitet (USDA, Soil Science Division Staff 2017). Diese Veränderungen haben sich auf mehreren Ebenen vollzogen und spiegeln die technischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte wider. Elektronische Datenquellen wurden besser integriert. Mit Computermodellen, die das Zusammenspiel von Bodenbildungsfaktoren integrieren, konnte der Prozess der Bodenkartierung teilweise und in einigen Fällen vollständig automatisiert werden. Eine bessere Beschreibung der anthropogenen Böden wurde ebenfalls entwickelt und 2 neue Kapitel vorgeschlagen:

- Kapitel 5, "Digitale Bodenkartierung". In diesem Kapitel werden einige Konzepte und Prinzipien vorgestellt, die Computer und digitale Technologie zur Unterstützung bei der Durchführung von Bodenuntersuchungen nutzen.
- Kapitel 6, "Werkzeuge für Bodenfernerkundung". Dieses Kapitel behandelt die jüngsten Fortschritte beim Einsatz nicht-invasiver Werkzeuge zur schnellen Generierung von Bodeninformation.

Auf der strukturellen Ebene legt das Handbuch grossen Wert darauf, die verschiedenen Beobachtungsmassstäbe zu berücksichtigen. In Kapitel 2 wird beispielsweise gezeigt, wie man Landschaftsstrukturen in verschiedenen Grössenordnungen und generell die Bodenbildungsfaktoren beobachtet. Dies basiert auf dem weiter oben erwähnten Standardparadigma, dass sich ähnliche Böden unter ähnlichen pedogenetischen Bedingungen entwickeln. Kapitel 3 beschreibt die Punktbeschreibung und deckt damit die in der KLABS entwickelten Themen ab. Kapitel 4 beschäftigt sich mit Kartierungskonzepten und wie man die verschiedenen Bodeneinheiten auf verschiedenen Skalen beschreibt. Dort wird auch die Qualitätssicherung beschrieben.

Kapitel 7 befasst sich mit der Erfassung, Verwaltung und Verbreitung von Bodendaten unter Verwendung von Werkzeugen der automatisierten Datenverarbeitung. Es werden Computer mit Textverarbeitung, Datenbanken, Tabellenkalkulationen, statistischen Informationssystemen, geografischen Informationssystemen (GIS) und anderen speziell entwickelten Softwarepaketen verwendet. Im Ganzen bildet das System ein leistungsstarkes Werkzeug zur Verarbeitung der gesammelten Bodendaten mit einer Erleichterung der Datenerfassung und -eingabe, Datenverifizierung und zeitnahen Zusammenfassung.

Kapitel 8 befasst sich mit der Interpretation von Daten zu verschiedenen Themen. Es ist interessant festzustellen, dass die Skala auch bei der Interpretation eine Rolle spielt. Lokale Interpretationen werden verwendet, um eine lokale relative Klassifikation der Böden für eine bestimmte Nutzung zu erhalten. Im Gegensatz dazu konzentriert sich das

nationale System zur Auslegung spezifischer Verwendungen auf Kriterien, die auf nationaler Ebene gelten, und bietet daher eine allgemeinere Klassifikation.

#### 4.3.3 Die deutsche Kartierenleitung (KA 5)

Die deutsche Kartierenleitung (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden 2005) führt die Kartiermethode relativ wenig detailliert aus und schlägt vor allem eine Möglichkeit vor, Punkte sehr genau zu beschreiben. Für jedes Element der Beschreibung und die verschiedenen Arten von Toposequenzen werden detaillierte Beispiele gegeben.

#### 4.3.4 Cartographie des sols (Legros)

Legros' Buch (Legros 1996) soll in den Kontext der späten 90er Jahre gestellt werden, als die Informatik zu blühen begann. Es werden mehrere kartographische Ansätze vorgestellt. Die Bodenkartierung durch «Sektoren» (reguläres Netz), Statistiken (Kriging) und optimiert mit allen Werkzeugen werden mit Stärken und Schwächen besprochen. Ein Kapitel über Skalen und ihre Genauigkeit wird ausführlich behandelt. Spezifikationen für die verschiedenen Skalen werden beschrieben, einschliesslich der Kosten (beachten Sie, dass die beschriebenen Kosten 200-400 FF der Zeit entsprechen, d.h. 50 bis 100 Franken für 1:10'000) (Oballos und Lagacherie 2003; Cam et al. 2003).

Für die Feldarbeit wird bereits das GPS beschrieben, aber das Gelände wird immer noch mit Stereoskopen analysiert, da DTMs noch nicht in hinreichender Auflösung verfügbar sind. Am Ende folgt eine visionäre Schlussfolgerung, die das vorwegnimmt, was derzeit entwickelt wird, aber aufgrund fehlender finanzieller Ressourcen damals nicht verfügbar war.

Ein Kapitel über die elektronische Felderfassung beschreibt deren Vor- und Nachteile. Es soll alle Informationen für jeden Horizont aufgezeichnet werden. Die Computer der damaligen Zeit haben noch einen geringen Speicher und eine begrenzte Leistung, aber ihre Vorteile sind bereits deutlich hervorgehoben.

Zwei Kapitel beschreiben die Qualitätskontrolle auf Punkt- und Kartenebene. Numerische Grenzen werden nach Skalen sowie ein Verfahren zum Schätzen der Reinheit einer Karte vorgeschlagen. Diese Methoden liefern auch eine Schätzung der Anzahl der erforderlichen Punkte. Die Entwicklungen entsprechen den aktuellen Methoden des DSM. Es werden auch Methoden im Zusammenhang mit dem Einsatz von GIS vorgestellt.

Zwei Kapitel stellen die Computerisierung von Daten und die Modellierung und Automatisierung bestimmter Kartierungsprozesse zur Berechnung der Ähnlichkeit von zwei Profilen oder sogar die automatische Abgrenzung von Bodeneinheiten vor. Es wird eine Warnung über die Datenmenge ausgegeben, die benötigt wird, um die Modelle ausreichend genau zu machen. Es muss eine Kostengewichtung durchgeführt werden. Die letzten Kapitel behandeln die Prinzipien der Thematisierung. Es werden mehrere Ansätze vorgeschlagen, darunter eine Diskussion über die Thematisierung durch diffuse Modelle (Experte), Statistiken oder Mechanistisch (Voltz und Webster 1990). Die Nützlichkeit von aggregierten Kartendaten oder Punktquellenbeobachtungsdaten wird ebenfalls diskutiert.

### 4.4 Schlussfolgerung zu den wissenschaftlichen und historischen Aspekten

- Diese schnelle Literaturrecherche zeigt, dass alle Kartierungssysteme zu den gleichen Entwicklungen neigen und in Bezug auf Kartierungsstrategien und Dateninterpretation den gleichen Problemen unterliegen wie gegenwärtig in der Schweiz.
- Alle Handbücher heben den Bedarf an qualitativ hochwertigen und standardisierten Feldbeobachtungen hervor, streben nach maximaler Effizienz im Feld durch die Nutzung oder Präsentation der neuesten verfügbaren technischen Entwicklungen

und zeigen, wie man Daten in unserer computerbezogenen Welt am besten verwaltet. Diese Themen werden seit 25 Jahren auf verschiedenen Ebenen entwickelt und genutzt.

- Schlussendlich gibt es in allen eine Differenzierung in Bezug auf Beobachtungs- und Interpretationsskalen. Es ist angebracht, jedes Handbuch in seinen historischen Kontext zu stellen, in einigen Fällen sind vorgeschlagene zukünftige Entwicklungen und Methoden auf datentechnischer oder technologischer Ebene Realität geworden.

## 5 Vergleich der bestehenden Kartieranleitung mit aktuellen Entwicklungen

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, was sich aus den aktuellen Entwicklungen in der Bodenkartierung für mögliche Konsequenzen für die RevKA ergeben. Der erste Teil beschäftigt sich mit der Organisation einer Bodenkartierung im Allgemeinen, der zweite Teil behandelt die gesammelten Daten und deren Interpretation. Die methodologische Ebene wird dabei nicht verlassen.

### 5.1 Allgemeine Organisation

Die FAL 24+ Methodik ist in einigen Kantonen erfolgreich angewandt worden. Gegenüber der Kartieranleitung von 1996 zeigt sie Verbesserungen, was Qualität, Sicherung von Punktdaten und die Digitalisierung die Polygone in einem GIS betrifft:

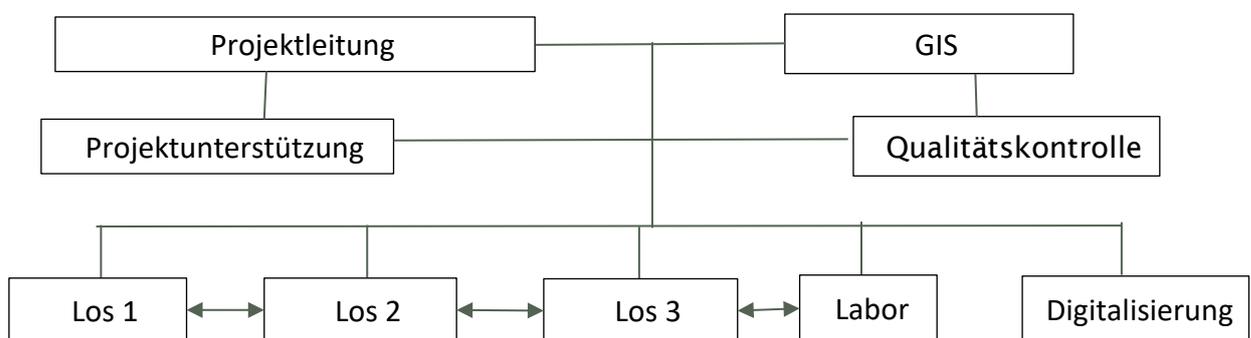


Abbildung 1: Schema der Arbeitsteilung nach FAL 24+.

Die Aufteilung eines Gebietes in Lose führt zu folgenden Problemen:

- Heterogenität der Beschreibungen (Eingrenzen durch Eichtage)
- Vorbereitung und Offerte für jeden Los
- Probleme bei Losgrenzen
- Fehlende Übersicht von einem Ort zum anderen

Für die Kartierung grosser Flächen, oder gar der ganzen Schweiz, ergibt sich daraus ein enormer Administrations- und Koordinationsaufwand. Für grossflächige Kartierungen ist eine andere Organisationsform deshalb notwendig, am besten angebunden an ein zukünftiges KOBO:

Die Organisation von Bodenkartierungsgruppen in anderen Ländern ist meistens zentralisiert, sodass einheitlich und effizient kartiert wird und Daten so gespeichert werden, dass sie bei zukünftigen Entwicklungen noch verwertbar sind. Dies erleichtert auch eine methodische Weiterentwicklung. Eine solche Organisation erfordert eine Spezialisierung verschiedener Untergruppen auf gewisse Aufgaben.

Eine Arbeitsteilung nach Aufgaben würde den Kartierungsprozess wahrscheinlich effizienter gestalten, da sich Spezialisten in jedem Feld auf ihre Kernkompetenz konzentrieren könnten. Andererseits wird eine klare Struktur und Koordination des Ganzen über alle Schritte hinweg sehr komplex.

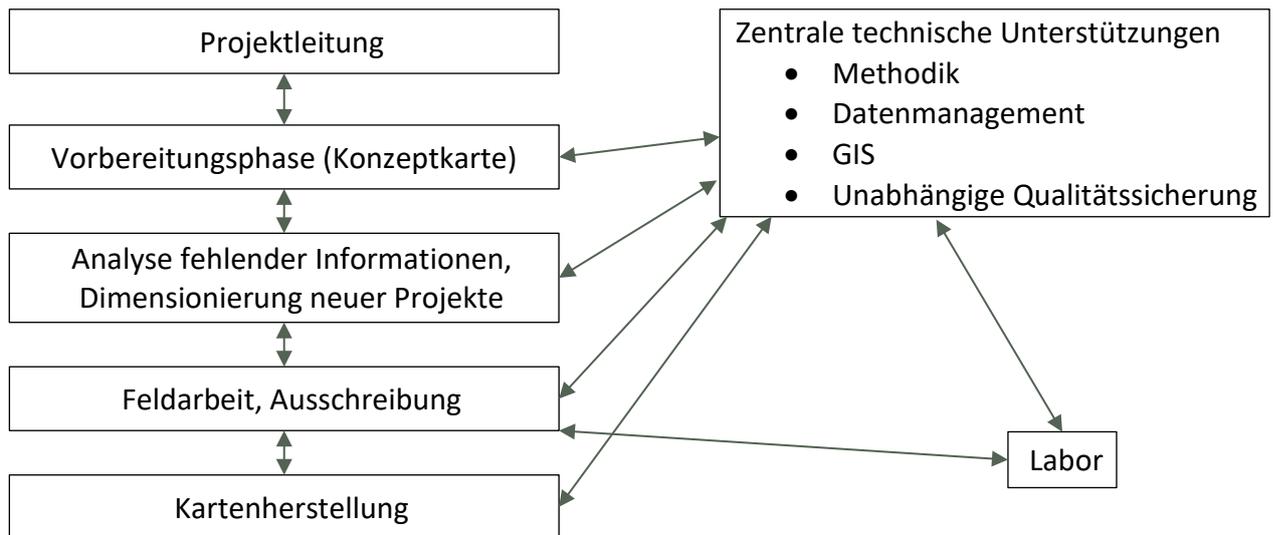


Abbildung 2: Schema der Arbeitsteilung mit zentralisierten Aufgaben für die Kartierung grosser Flächen.

Die, durch eine Losverteilung verursachte, Komplexität könnte für gewisse Aufgaben vereinfacht werden. Skaleneffekte bei der Verarbeitung von Basisdaten über grosse Regionen hinweg könnte einige Prozesse beschleunigen.

Die Zentralisierung der Datenverarbeitung würde auch die Nachvollziehbarkeit der Daten und die schweizweite Homogenität der Datensätze erhöhen. Am Qualitätssicherungsprozess würde sich nicht viel ändern, ausser dass eine unabhängige Kontrolle der Reinheit der Bodenkarte auf der Polygonstufe durchgeführt wird.

Dieses Schema würde auch ermöglichen, Erkenntnisse aus einer Region effizient schweizweit zu prüfen und allenfalls auf andere Regionen zu übertragen. Die Feldansprache ist nicht umfassend automatisierbar (ausser der geschlossenen Beschreibungssprache). Die Kompetenzen von Fachleuten mit viel Erfahrung bleibt daher weiter ein zentrales Element

## 5.2 Beschreibung und Speicherung von Daten

Von der FAL 24 gab es eine markante Evolution zur FAL 24+. Es wurden wichtige neue Kapitel eingeführt, die den Kartierungsprozess nachhaltig veränderten.

Die Qualitätssicherung der Punktdaten und Genauigkeit der Attribute ist nun ziemlich gut definiert. Die Profilbeschreibung ist präzisiert worden. Das Gelingen einer Kartierung hängt jedoch weiterhin von wenigen Experten ab. Durch eine Präzisierung von Attributen im Rahmen der RevKLABS sollte auch die Homogenität der Daten verbessert werden. Fehrend ist noch:

- Integration von neuen Informationsquellen und deren Verfügbarkeit und Nutzen im Kartierungsprozess (GIS-integration).
- Homogenes System zur Datenkonservation und Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit. Die Datenbankstruktur existiert schon (NABODAT). Der Prozesse für eine effiziente Datenerfassung muss noch entwickelt werden.

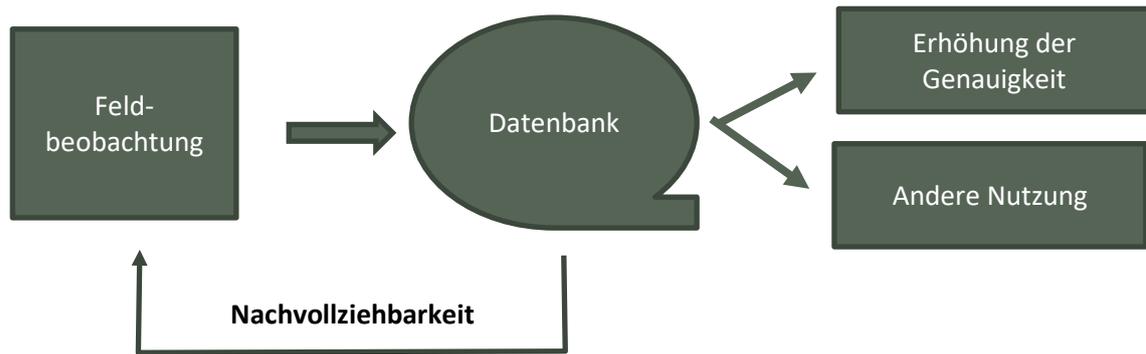


Abbildung 3: Informationsflüsse zum effizienten Datenmanagement.

- Qualitätssicherung der Flächen oder der Polygone (Genauigkeit der Karte).
- Beispiele von Toposequenzen der verschiedenen geologischen Einheiten (eher didaktisch).
- Bessere erwartete Genauigkeit als Funktion der Geländekomplexität, (Fehlerschätzung).
- Revision der Interpretation der Daten (PNG, NEK, ...).



Abbildung 4: Notwendige Datennutzungskette für eine homogene Datenverarbeitung.

### 5.3 Interpretation der Daten

Die Anwendung der erhobenen Daten ist ein zentraler Punkt. Denn diese müssen verschiedenste Kunden zufriedenstellen. In der Schweiz, wie in vielen anderen Ländern auch, dominiert die agronomische Interpretation der Daten seit den Anfängen der Bodenkartierung. Dies hat historische Gründe, so war der in den Anfängen sehr zentrale Lehrstuhl für Bodenkunde an der ETH Zürich von Prof. Pallmann an das Landwirtschaftsdepartement angeschlossen. Dies beeinflusste natürlich wie Daten beobachtet und aggregiert wurden. Aktuelle Bodenkarten nach FAL sind eigentlich Karten von Bodenwasserhaushaltsklassen, die teilweise zu einer Gruppierung verschiedener Böden in einem Polygon führen. Abbildung 6 zeigt, dass abhängig vom Zweck (FF-Kartierung, Bestimmung von Referenzböden etc.) eine variable Anzahl an Eigenschaften beobachtet werden muss.

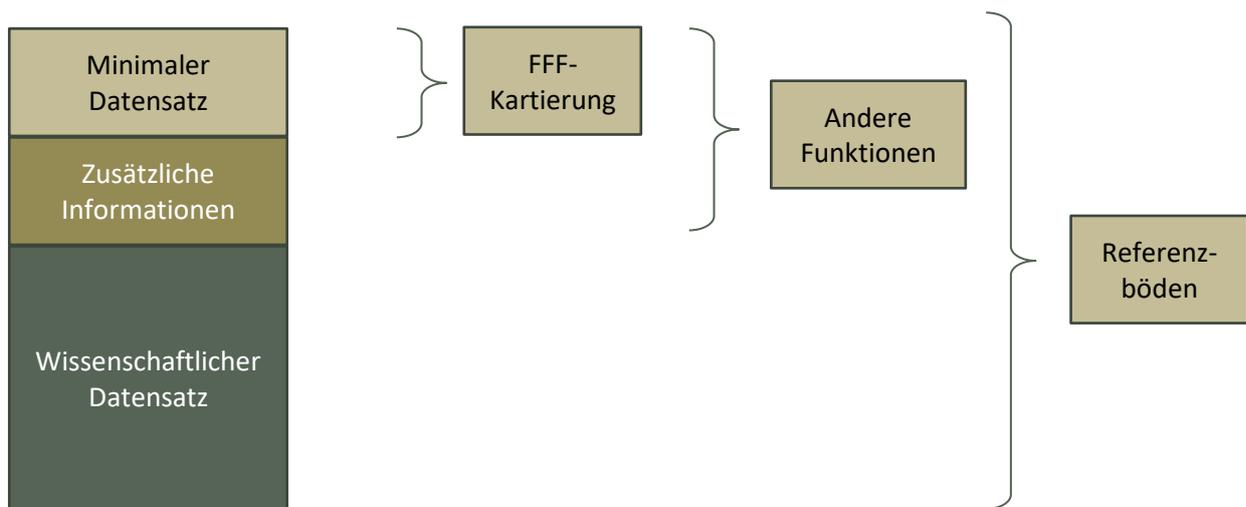


Abbildung 5 Darstellung von verschiedenen Datensätzen, abhängig von ihrer Nutzung.

Nach FAL24 werden Arbeitslegenden erstellt, aus denen die in Abbildung 4 aufgelisteten Attribute entnommen werden können. Die einzelnen Polygone werden mit einem vierstelligen Code bezeichnet, der die Attribute der Abbildung 5 enthält (Brunner 1997).

Tabelle 3: Liste der Attribute in der Arbeitslegende.

Variable	type
Bodentyp	Aggregiert
Untertypen*	Aggregiert
Substrat / Geologie	Basis Data
Geländeform	Basis Data
Skelett Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Körnung [%] Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Pflanzennutzbare Gründigkeit [cm]	Aggregiert
Wasserhaushaltsgruppe	Aggregiert

Tabelle 4: Liste der Attribute eines Polygons.

Variable	type
Wasserhaushaltsgruppe+ Pflanzennutzbare Gründigkeit [cm]	Aggregiert
Bodentyp	Aggregiert
Referenz zu detaillierter Legende	Aggregiert
Geländeform	Basis Data

Durch die FAL 24+ wurde das Speichern von Informationen auf Polygonebene folgendermassen erweitert:

Tabelle 5 Bodendaten für erweiterte Bodenschutzaufgaben sind zwingend mit den untenstehenden Parametern zu erfassen.

Variable	type
Bodentyp	Aggregiert
Untertypen*	Aggregiert
Substrat / Geologie	Basis Data
Geländeform	Basis Data
Skelett Oberboden / Unterboden (6 Klassen (Wald), resp. 10 Klassen (Feld))	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Körnung [%] Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Pflanzennutzbare Gründigkeit [cm]	Aggregiert
Wasserhaushaltsgruppe	Aggregiert
Mächtigkeit Ahh-Horizont [cm] (nur im Wald)	Basis Data
Mächtigkeit [cm] / Humusgehalt [%] Ah-Horizont	Basis Data
Humusform (nur im Wald)	Basis Data
Kalkgehalt [Klassen] Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
pH-Wert [Hellige] Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Karbonatgrenze [cm]	Basis Data
Gefügeform und -grösse Oberboden / Unterboden	Teilweise aggregiert (OB-UB)
Bodenpunktzahl (Profilwert) (Feld); resp. Produktionsfähigkeitspunkte (Wald)	Aggregiert
Allfällige Bemerkungen	Aggregiert
Geländeform	Basis Data

Das momentane System der Aggregation entspricht dem maximalen Informationsgehalt, der für einen bestimmten Ort verfügbar ist, ohne Bodenprofile miteinzubeziehen, die nur in einer geringen Dichte vorhanden sind. Es fällt auf, dass viele Daten aggregiert sind.

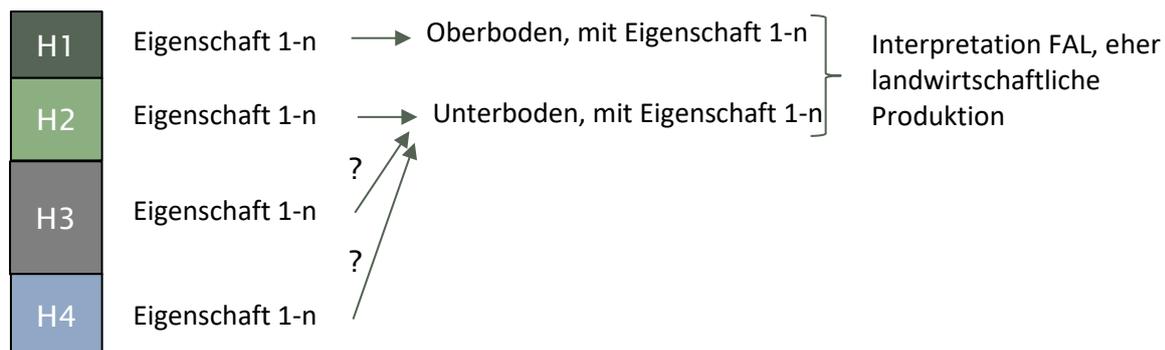


Abbildung 6 Schema der Aggregation der Daten für Unter- und Oberboden.

Für eine Verwendung ausserhalb des vorgegebenen FAL-Rahmens ist es schwierig, die gesammelten Grundlagendaten wieder zu finden. Eigenschaften, für welche andere Basisdaten erforderlich sind, können nicht neu berechnet werden. Beispielsweise trägt die Angabe der pflanzennutzbaren Gründigkeit eine Unsicherheit von 20 bis 30 cm in sich (mässig tiefgründig 50–70 cm; tiefgründig 70–100 cm). Ebenso kann eine Wasserhaushaltsuntergruppe c von den Untertypen -, I1, G1 oder G2 abgeleitet werden. Für den Untertyp I1 ist es möglich, ein (g) oberhalb 60 cm, ein g zwischen 60 und 90 cm oder ein gg unterhalb 90 cm zu haben. Wenn ein Polygon nicht genau mit einem Referenzprofil übereinstimmt, wird es schwierig eine solche Bodenkarte anderweitig zu nutzen, insbesondere wenn die Mächtigkeit des Unterbodens nicht genau definiert ist.

Es bleibt festzuhalten, dass für eine Verwendung einer FAL 24+ Bodenkarte zu anderen Zwecken oftmals eine Informationslücke besteht und eine erneute Kartierung notwendig wird um die bestehende Karte zu validieren und zu verfeinern.



Abbildung 7 Problematik der langfristigen Nutzung von Bodeninformationen mit möglichen Informationsverlusten.

## 6 Schlussfolgerung

Der Vergleich der FAL 24+ mit den neusten Kartierstandarts und technischen Entwicklungen zeigt, dass zusätzlich zu den in den Kapiteln 2 und 3 erwähnten Punkten, folgende Gegebenheiten berücksichtigt werden sollten:

- Seit der Festsetzung der FAL 24 sind zahlreiche wissenschaftliche Studien veröffentlicht worden, deren Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. In vielen Kartieranleitungen wurde GIS und insbesondere DSM nicht vertieft miteinbezogen, nur wenige Länder haben diese Lücke in den letzten Jahren geschlossen. Es wäre nützlich alle Werkzeuge mit einem Mehrwert zu integrieren und diejenigen, die in einigen Jahren vielleicht einen haben, zumindest oberflächlich zu beschreiben, auch wenn diese in der Praxis noch nicht eingesetzt werden können. Somit können Entwicklungen besser adaptiert werden, wenn sie den Praxistest bestehen und den akademischen Bereich verlassen.

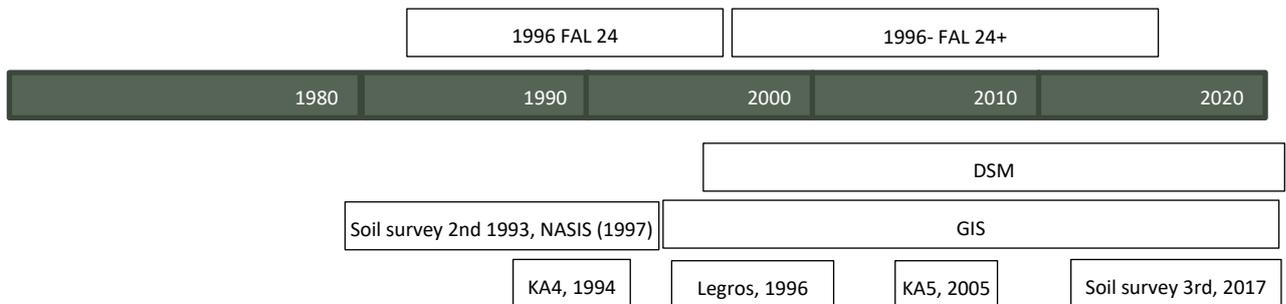


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf technischer Neuerungen und KA-Revisionen.

- Die Beschreibung von Punkten (Profile oder Bohrungen) wird von der KLABS übernommen. Die KA sollte die Beobachtung nicht zu sehr auf einen Punkt beschränken, die Deskriptoren müssen klar definiert sein und eine wissenschaftlich fundierte Grundlage haben. Die bei der Kartierung beschriebenen Eigenschaften hängen dabei, vom Kunden und der gewählten Strategie ab.
- Die Speicherung von Information muss von Anfang an mitgedacht werden. Es müssen Datenbanken zur Erfassung der gesammelten Information bereitstehen (Die zentralisierte Datenbank NASIS in den USA existiert seit 1997).
- Die in naher Zukunft verlangten Karten (durch die Politik getrieben) werden einen mittelgrossen Massstab haben und grosse Gebiete abbilden. Daher muss das Festsetzen des Vorgehens bei Projekten auf nationaler Ebene mit Priorität behandelt werden (Modul C 3).
- Andere Kartieranleitungen haben vor einiger oder kurzer Zeit Kapitel zu numerischen Daten und teilweise auch DSM eingeführt. Wenn man sich daran orientiert, sollten folgende Punkte in der revidierten KA enthalten sein:
  - Verwaltung der aktuellen Daten zur Erstellung einer Konzeptlandkarte (GIS + DB)
  - Tools im Bereich DSM und wie diese genutzt werden könnten (Modul D und E).
  - Probenahmestrategien für grosse Flächen.

- Die Ansprüche an Bodendaten sind nicht mehr dieselbe wie vor 30 Jahren. Die USDA stand zwischen den 50er und 80er Jahren vor demselben Problem, die landwirtschaftlichen Deskriptoren reichten nicht mehr aus um die Gesamtheit der Böden zu beschreiben und mussten ergänzt werden. In der Schweiz hat der Kanton Solothurn den Wald bereits teilweise in die Interpretation der Daten integriert. Es ist daher zentral, die Aggregation von Daten auf ein Minimum zu beschränken um die zukünftige Nutzung in anderen Domänen nicht zu verunmöglichen. Die Datenaggregation sollte demnach transparent und genau erfolgen, automatisierte Berechnungen bieten sich dafür an. Wenn auf computergestützte Weise interpretiert wird, sind die Regeln klar ersichtlich und die Resultate reproduzierbar. Diese Punkte werden im USDA soil survey manual in den Kapiteln 7 und 8 behandelt.
- Karten sind nur Darstellungen der Welt für ein oder zwei gegebene Parameter. Derzeit entspricht die Anzahl der verfügbaren Daten der Attributtabelle nach FAL 24+, die älteren Karten sind Wasserhaushaltskarten. Diese Art von Karten ist bei der Vermittlung komplexer Informationen nicht sehr effektiv (Hudson 1992), viel eher sollte je nach Fragestellung und erforderlicher Funktion eine Aggregationsmethode verwendet werden können. (Laustela et al. 2010, gre; Greiner et al. 2014; Greiner 2018; Grêt-Regamey et al. 2014; Greiner et al. 2017).
- Die zentrale Stellung von Polygonen in der Kartierung nach FAL 24, sollte hinterfragt werden. Pixelkarten sind zwar gröber in der Information, erfordern jedoch klare Regeln für die Aggregation von Informationen über einen bestimmten Bereich und ermöglichen die Klärung einer Vielzahl von Fragestellungen.
- Zur Abschätzung der Kosten einer KA-Revision muss analysiert werden welche Informationen bereits bestehen, diese werden entscheidend sein für ein zeitnahes und effizientes Erreichen des Zieles. Da zurzeit nicht bekannt ist, welche Probleme insbesondere innerhalb der Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS schon behandelt wurden, ist es schwierig die Kosten abzuschätzen.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2: Schema der Arbeitsteilung nach FAL 24+.	15
Abbildung 3: Schema der Arbeitsteilung mit zentralisierten Aufgaben für die Kartierung grosser Flächen.	16
Abbildung 4: Informationsflüsse zum effizienten Datenmanagement.	17
Abbildung 5: Notwendige Datennutzungskette für eine homogene Datenverarbeitung.	17
Abbildung 6 Darstellung von verschiedenen Datensätzen, abhängig von ihrer Nutzung.	18
Abbildung 7 Schema der Aggregation der Daten für Unter- und Oberboden.	19
Abbildung 8 Problematik der langfristigen Nutzung von Bodeninformationen mit möglichen Informationsverlusten.	20
Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf technischer Neuerungen und KA-Revisionen.	21

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Themen und Inhalte, die im Rahmen der RevKA überarbeitet werden sollten.	4
Tabelle 2: Liste der Themen und Inhalte, die im Rahmen der RevKA für mittel- und kleinmasstäbliche Bodenkarten überarbeitet werden sollten.	6
Tabelle 3: Liste der Attribute in der Arbeitslegende.	18
Tabelle 4: Liste der Attribute eines Polygons.	18
Tabelle 5 Bodendaten für erweiterte Bodenschutzaufgaben sind zwingend mit den untenstehenden Parametern zu erfassen.	19

## 9 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Borer, Franz; Knecht, Marianne (2018): Umfrage zur Grobbedarfsanalyse RevKA. Auswertung. Zuhanden der Projektleitung RevKLABSKA. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung. Zürich.
- Brunner, J. (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Kartieranleitung. Cartographie et estimation des sols agricoles : manuel de cartographie. Zürich: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Schriftenreihe der FAL, 24).
- Cam; Vital; Fort; Lagacherie; Morlat (2003): Un zonage viticole appliqué basé sur la méthode des secteurs de référence, en vignoble de Cognac (France). In: *Etude et Gestion des Sols* 10 (1), S. 35–42. Online verfügbar unter <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:66973>.
- Greiner, L.; Keller, A.; Grêt-Regamey, A.; Papritz, A. (2017): Soil function assessment methods for quantifying the contributions of soils to ecosystems services. In: *Land Use Policy* 68. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.06.025.
- Greiner, L.; Keller, A.; Zimmermann, S.; Papritz, A. (2014): Towards Soil Function Assessment for Switzerland.
- Greiner, Lucie (2018): Soil function assessment for Switzerland [thèse], ETH Zürich.

- Grêt-Regamey, A.; Greiner, L.; Keller, A.; Siegrist, D.; Diggelmann, H. (2014): Project OPSOL Operationalizing cross-scale interactions of soil functions, soil uses, spatial development and land management spatially explicit in a decision support system.
- Hartemink, A. E.; McBratney, A. B.; Lourdes Mendonca-Santos, M. de (2008): Digital soil mapping with limited data. In: *(Keine Angabe)*. Online verfügbar unter <http://edepot.wur.nl/53203>.
- Hartemink, Alfred E.; Krasilnikov, Pavel; Bockheim, J. G. (2013): Soil maps of the world. In: *Geoderma* 207-208, S. 256–267. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.05.003.
- Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J. (2009): *The Elements of Statistical Learning; Data Mining, Inference and Prediction*. 2. Aufl. New York: Springer.
- Hastie, T. J.; Tibshirani, R. J. (1990): *Generalized Additive Models*. London: Chapman and Hall (Monographs on Statistics and Applied Probability, 43).
- Hudson, Berman D. (1992): The Soil Survey as Paradigm-based Science. In: *Soil Science Society of America Journal* 56 (3), S. 836. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030027x.
- Jenny, H. (1941): *Factors of soil formation a system of quantitative pedology*. 1st. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill publications in the agricultural sciences).
- Kaur, R.; Kumar, S.; Gurung, H. P. (2002): A pedo-transfer function (PTF) for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. In: *Australian Journal of Soil Research* 40 (5), S. 847–857. DOI: 10.1071/SR01023.
- Keller, Armin; Franzen, Julia; Knüsel, Paul; Papritz, Andreas; Zürrer, Zürrer (2018): Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH). Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden. Thematische Synthese 4 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68). 1. Aufl. Bern. Online verfügbar unter [http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68\\_TS4\\_Bodeninformationsplattform\\_DE.pdf](http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68_TS4_Bodeninformationsplattform_DE.pdf), zuletzt geprüft am 19.05.2018.
- King, D.; Jamagne, M.; Arrouays, D.; Bornand, M.; Favrot, J. C.; Hardy, R. et al. (1999): Inventaire cartographique et surveillance des sols en France. In: *Etude et Gestion des Sols* 6, 4, S. 215–228. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/Christine\\_Le\\_Bas/publication/260227502\\_Inventaire\\_cartographique\\_et\\_surveillance\\_des\\_sols\\_en\\_France/links/02e7e53039a5274446000000/Inventaire-cartographique-et-surveillance-des-sols-en-France.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christine_Le_Bas/publication/260227502_Inventaire_cartographique_et_surveillance_des_sols_en_France/links/02e7e53039a5274446000000/Inventaire-cartographique-et-surveillance-des-sols-en-France.pdf), zuletzt geprüft am 16.12.2018.
- Knecht, Marianne; Borer, Franz (2016): Workshop "Revision KLABS und KA". Teil KA Kartieranleitung. BGS Arbeitsgruppe KLABS; BGS Arbeitsgruppe KA. BGS. Olten, 27.04.2016, zuletzt geprüft am 21.11.2019.
- Laustela, Matias; Zürrer, Martin; Egli, Markus; Gobat, Jean-Michel; Lüscher, Peter; Müller, Moritz; Zihlmann, Urs (2010): Klassifikation der Böden der Schweiz, Konzept zur Revision. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur.
- Legros, Jean-Paul (1996): *Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes (Collection gérer l'environnement, 10).
- Leij, F. J.; Romano, N.; Palladino, M.; Schaap, M. G.; Coppola, A. (2004): Topographical attributes to predict soil hydraulic properties along a hillslope transect. In: *Water Resources Research* 40 (2), W024071-W02407115.
- MacMillan, R. A.; Nikiforuk, W. L.; Fawcett, M. D.; Whitson, I. R.; McNeil, R. L.; Turchenek, L. W. et al. (1992): *Soil Mapping Systems*. Alberta Geological Survey.

Online verfügbar unter [https://ags.aer.ca/document/OFR/OFR\\_1992\\_22.pdf](https://ags.aer.ca/document/OFR/OFR_1992_22.pdf), zuletzt geprüft am 09.11.2018.

- McBratney, A. B.; Minasny, B.; Cattle, S. R.; Vervoort, R. W. (2002): From pedotransfer functions to soil inference systems. In: *Geoderma* 109 (1-2), S. 41–73.
- Miller, B. A.; Schaetzl, R. J. (2016): History of soil geography in the context of scale. In: *Geoderma* 264, S. 284–300. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.041.
- Minasny, B.; Hartemink, A. E. (2011): Predicting soil properties in the tropics. In: *Earth-Science Reviews* 106 (1-2), S. 52–62. DOI: 10.1016/j.earscirev.2011.01.005.
- Nussbaum, M.; Burgos, S.; Keller, A.; Carrizoni, M.; Papritz, A. (2018): Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa. Was kann die Schweiz davon lernen? Bericht Fokusstudie NFP 58. 1. Aufl. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften; ETH Zürich. Zollikofen, Zürich, zuletzt geprüft am 26.12.2018.
- Nussbaum, M.; Papritz, A. (2015): Transferfunktion Dichte. ETH Zürich, Soil and Terrestrial Environmental Physics.
- Nussbaum, M.; Papritz, A.; Fraefel, M.; Baltensweiler, A. (2014): Predictive mapping of soil pH in forests of Zurich by component wise gradient boosting.
- Nussbaum, M.; Spiess, K.; Baltensweiler, A.; Grob, U.; Keller, A.; Greiner, L. et al. (2017): Digital soil mapping with a large number of covariates.
- Nussbaum, Madlene; Papritz, Andreas; Baltensweiler, Andri; Walthert, Lorenz (2012): Mapping organic carbon stocks of Swiss forest soil. In: *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-4753.
- Oballos, J.; Lagacherie, P. (2003): Utilisation d'un secteur de référence pour désagréger les unités cartographiques complexes d'un référentiel régional pédologique. In: *Etude et Gestion des Sols* 10 (2), S. 81–94.
- Pachepsky, Y. A.; Rawls, W. J. (2003): Soil structure and pedotransfer functions. In: *European Journal of Soil Science* 54 (3), S. 443–451.
- Papritz, A. (2005): Geostatistische Analyse von Daten aus der Bodendauerüberwachung (KaBo) des Kantons Zürich. Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich. ETH Zentrum, 8092 Zürich.
- Papritz, A. (2010): Statistische Auswertung von bodenchemischen Daten aus der Bodendauerüberwachung des Kantons Zürich (Trendanalysen 11 und 16). ETH Zürich, Institut für Terrestrische Ökosysteme. Zürich.
- Papritz, A.; Nussbaum, M.; Fraefel, M.; Baltensweiler, A.; Walthert, L.; Keller, A. et al. (2016): Mapping chemical and physical properties of soils at regional scale on the Swiss Plateau by robust external drift kriging from legacy soil data.
- Patil, N. G.; Singh, S. K. (2016): Pedotransfer Functions for Estimating Soil Hydraulic Properties. A Review. In: *Pedosphere* 26 (4), 417-4-30. DOI: 10.1016/S1002-0160(15)60054-6.
- Romano, N.; Chirico, G. B. (2004): The role of terrain analysis in using and developing pedotransfer functions. In: Y. Pachepsky und W. J. Rawls (Hg.): *Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology*, Bd. 30: Elsevier (Developments in Soil Science), S. 273–294. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166248104300164>.
- Sanchez, Pedro a.; Ahamed, Sonya; Carré, Florence; Hartemink, Alfred E.; Hempel, Jonathan; Huising, Jeroen et al. (2009): Digital Soil Map of the World. In: *Science* 325, S. 6–7. DOI: 10.1126/science.1175084.

- Schaap, M. G.; Leij, F. J.; van Genuchten, M. T. (2001): Rosetta. A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. In: *Journal of Hydrology* 251 (3-4), S. 163–176.
- Team, GRASS Development: GRASS GIS - Historical Notes. Online verfügbar unter <https://grass.osgeo.org/home/history/>, zuletzt geprüft am 16.12.2018.
- USDA, Soil Science Division Staff (2017): Soil Survey Manual. In: *United States Department of Agriculture* (6), S. 639. DOI: 10.1097/00010694-195112000-00022.
- Voltz, M.; Webster, R. (1990): A Comparison of Kriging, Cubic Splines and Classification for Predicting Soil Properties from Sample Information. In: *Journal of Soil Science* 41, S. 473–490.
- Weisskopf, Peter; Zihlmann, Urs (2017): Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) und der Bodenkartierungsanleitung (KA) (RevKLABSKA). BAFU-Vorprojekt. Agroscope, FG Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz.
- Wösten, J. H. M.; Pachepsky, Ya A.; Rawls, W. J. (2001): Pedotransfer functions. Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. In: *Journal of Hydrology* 251 (3-4), S. 123–150.