

Detailanalyse für die Umsetzung der Revision der Bodenklassifikation der Schweiz

Stéphane Burgos und Liv Kellermann Zollikofen den 01.01.2019
Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL
Abteilung Agronomie
Gruppe Bodennutzung und Bodenschutz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung und allgemeine Strategie	3
2.	Grundsätzliches zu Klassifikationen	4
2.1	Allgemeine Begriffe	4
2.2	Technische Prinzipien von Klassifikationen	4
3.	Bodenklassifikation im historischen Kontext.....	6
4.	Vergleich von bestehenden Klassifikationssystemen.....	7
4.1	Einführung.....	7
4.2	WRB.....	8
4.3	Référentiel pédogénétique français.....	9
4.4	Kartieranleitung KA5	10
4.5	USDA soil taxonomy	10
5.	Analyse der Klassifikation der Böden der Schweiz, KLABS.....	11
5.1	Einleitung	11
5.2	Analyse des hierarchischen Teils.....	11
6.	Überlegungen zur Vereinfachung und Revision der KLABS	15
6.1	Vorgehen und Arbeitsaufwand	15
6.2	Weitere Überlegungen zum Vorgehen im Revisionsprozess	19
7.	Schlussfolgerungen	21
8.	Abbildungsverzeichnis	22
9.	Tabellenverzeichnis.....	22
10.	• Literaturverzeichnis.....	23

1. Einführung und allgemeine Strategie

Es gibt viele Möglichkeiten, Böden zu klassifizieren. Eine Übersicht über die verschiedenen Klassifikations-Systemtypen und deren Verständnis ist wichtig, damit im aktuellen Kontext die Ausgangslage verstanden werden kann. Auch gibt es verschiedene Wege die einer geordneten Durchführung der Revision helfen werden.

Der vorliegende Bericht soll eine strukturelle Hilfe sein, um der Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (nachfolgend KLABS) einen logischen und wissenschaftlich abgestützten Rahmen zu geben. Er setzt sich aus 4 Teilen zusammen:

Kapitel 2 zeigt ganz allgemein auf, was eine Klassifikation, unabhängig vom Fachgebiet, ausmacht und wo ihre Grenzen sind. Einige Beispiele von Bodenklassifikationen werden zur Veranschaulichung gegeben.

In Kapitel 3 wird dem Kontext dieser Revision Beachtung geschenkt, indem auf die historische Entwicklung von Bodenklassifikationen eingegangen wird. Diese Zeitreise ist wichtig, da viele Bodenklassifikationen aus anderen Ländern ebenfalls Revisionen unterworfen waren. Es wäre schade, sich Erkenntnisse und Lösungsansätze aus früheren Revisionen entgehen zu lassen und nicht aus ihnen zu lernen. Auch die Gliederung der KLABS ist besser verständlich, wenn man den Zeitgeist und den Entwicklungsstand der Bodenkunde kennt, in dem sie entstanden ist.

Im anschliessenden vierten Kapitel werden einige Bodenklassifikationen aus anderen Ländern vorgestellt, auch dies dient dem Verständnis des Kontextes, in dem die KLABS steht.

Kapitel 5 richtet den Blick auf die KLABS selbst. Die Kenntnis ihrer Entstehungsgeschichte ermöglicht es, die verschiedenen Niveaus der KLABS zu verstehen. Des Weiteren lassen sich Verbindungen zwischen den verschiedenen Klassifikationen erkennen und man kann sich, wenn nötig, an Informationen aus anderen Klassifikationen bedienen.

Einige grundlegende Entscheidungen müssen im Revisionsprozess gefällt werden. Kapitel 6 erklärt einen solchen Grundsatzentscheid und plädiert für eine Lösung zur Vereinfachung des Revisionsprozesses.

Das letzte Kapitel übernimmt Begrifflichkeiten aus dem NFP68 und versucht sie in den Klassifikationskontext einzuordnen, mit dem Ziel den heutigen Stand der Bodenforschung mit einer Modernisierung der KLABS zu verknüpfen. Eine moderne KLABS ist auf die Arbeit mit statistischen Methoden und Datenbanken, sowie auf rückverfolgbare und wiederholbare Daten ausgerichtet.

Es ist wichtig zwischen einer Klassifikation und einer Kartiermethode zu unterscheiden. Beide hängen zusammen und beziehen sich aufeinander, aber erstere dient zur Beschreibung von Punkten und bietet präzise Kriterien, um zwischen Objekten zu unterscheiden. Die Kartiermethode hingegen beruht darauf, die räumliche Verteilung dieser Objekte abzuschätzen. Dies macht Vereinfachungen oder Zusammenfassungen, im Rahmen des Massstabs, in dem man arbeitet, nötig. Das Klassifizierungssystem ist somit der theoretische Hintergrund und die Kartieranleitung eine praktische Arbeitsanweisung. Daher muss die Klassifikation präzise Vorgaben machen, auch wenn im Feld nicht alle möglichen Attribute schnell erfassbar sind. So erlaubt das genaue und wissenschaftliche Grundgerüst der Klassifikation die nötigen Vereinfachungen für die praktische Arbeit ohne dabei ungenau zu werden.

Gemäss Vorprojekt von AGROSCOPE (Weisskopf und Zihlmann 2017) und der Vision der KLABS lauten die Ziele der Revision der KLABS wie folgt:

1. Die Revision KLABS/KA stellt fachliche Normen für die Bodenbeurteilung bereit.
2. Sie erhöht den Wert der Daten, weil sie gesamtschweizerisch vergleichbar sind.
3. Die Revision ermöglicht eine effiziente, nutzerorientierte Bodenkartierung in der Schweiz.
4. Das Normenwerk kann diesen Nutzen erbringen, weil es den Fachleuten der Bodenkunde in der Schweiz gelungen ist, sich in den wichtigsten Punkten auf einen Konsens zu verständigen.

Die Revision der Klassifikation muss, um diese Ziele zu erreichen, folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Definitionen der Grundbegriffe müssen klar und eindeutig sein. Diese Eigenschaften (Grundbegriffe) sind das tiefste hierarchische Niveau.

- Die Bodentypen müssen klar voneinander unterschieden werden können. Ein Bodentyp muss mit Labor-Analysen bestimmbar und auch im Feld weitgehendst bestimmbar sein.
- Die Untertypen beschreiben die Eigenschaften des Gesamtbodens, im Gegensatz zu den Horizonten. Die stellen auch Ausprägungen und Variabilität gewisser Attribute dar.

2. Grundsätzliches zu Klassifikationen

2.1 Allgemeine Begriffe

Klassifikationssysteme sind meist als hierarchische Systeme angelegt, wobei die Struktur mehr oder weniger streng umgesetzt wird. Hierarchische Systeme sind oft kompliziert und hängen von subjektiven Expertenkriterien ab. Andererseits ermöglichen sie eine schnellere Strukturierung und Klassifizierung von Informationen. In den Systemen zur Einteilungen von Arten von Lebewesen zum Beispiel, ist die Hierarchie sehr wichtig und konsequent umgesetzt. Man findet viele Hierarchieebenen und die einzelnen Gruppen lassen sich durch immer weitere Merkmale feiner und feiner unterscheiden. Bodenklassifikationen sind meist keine sehr komplex und häufig auch keine streng umgesetzten Klassifikationen. Viele Bodenklassifikationen besitzen 2 bis 4 Hierarchiestufen. Die Anzahl an Bodentypen ist ausserdem gar nicht so gross, als dass es vieler Hierarchiestufen zur Unterteilung bedürfte oder dass sich mehrere Bodentypen in einer Gruppe, die durch ein Set an gleichen Parametern beschrieben wird, zusammenfassen liessen. Auch lassen sich viele Merkmale in sehr verschiedenen Bodentypen wiederfinden und können nicht als Unterscheidungsmerkmal dienen. So ist z.B. ein pH 7 in sehr verschiedenen Bodentypen denkbar.

Viele Bodenklassifikationen sind daher eher als eine Sammlung von Bodentypen anzusehen, die durch zusätzliche Parameter in einem zweiten Schritt genauer beschrieben werden können.

2.2 Technische Prinzipien von Klassifikationen

Es gibt, nicht nur in der Bodenkunde, gewisse Grundregeln, um gute Klassifikations-Systeme zu erstellen (Arnold 2002; van Huyssteen et al. 2013; Hjørland 2017; Nikiforova und Fleis 2018). Solche Regeln und Prinzipien sind seit langem Gegenstand von Reflexionen der Fachwelt und werden in zahlreichen Artikeln behandelt (Cline 1949; Hempel et al. 2013). Aus diesen Arbeiten liesse sich eine «Check-Liste» zusammenstellen, anhand derer die aktuelle Revision der KLABS überprüft werden könnte, um sicher zu stellen, dass das Vorgehen logisch ist und keine Fehler passieren, die eine effiziente und zweckmässige Nutzung behindern würden. Die wichtigsten Prinzipien wurden hier zusammengestellt:

Einrichtung

1. Prinzip des Zwecks: Die Gründe für den Wunsch, das Bodenwissen zu organisieren.
2. Prinzip der Domäne: Das Universum der Objekte, die für den Zweck relevant sind.
3. Prinzip der Identität: Die einzelnen Mitglieder der Domäne werden definiert und benannt.

Unternehmen

4. Prinzip der Differenzierung: Die protokollgeführte hierarchische Struktur eines Systems mit Kategorien und Klassen innerhalb von Kategorien. Eine Klasse auf einer niedrigeren Ebene darf keine Grenzen haben, die die von übergeordneten Klassen festgelegten Werte überschreiten. Die Stufen eines Klassifizierungssystems sollten sich gegenseitig ausschliessen, nicht überlappen und das ganze System erschöpfend beschreiben. Die Beschreibung von Merkmalen sollte nicht zu Lücken zwischen definierten Bereichen führen.
5. Prinzip der Priorisierung: Die Priorität des Wissens durch Sequenzierung von Kategorien und Sequenzierung von Klassen innerhalb von Kategorien. Ein Klassifizierungssystem sollte nur ein Kriterium der Division nach dem anderen haben.
6. Prinzip der Diagnostik: Die Quantifizierung und Nutzung von Bodeneigenschaften, Eigenschaftssätzen und ausgewählten Merkmalen (Diagnostik), die Objektivität bieten.
7. Prinzip der Mitgliedschaft: Mitglieder einer Stufe teilen eine gewisse Anzahl gemeinsamer Merkmale.

Zukunft

8. Prinzip der Sicherheit: Die Erkenntnis, dass Veränderungen unvermeidlich sind, und die treibende Kraft beim kontinuierlichen Testen eines Systems.

Aus diesen Grundregeln lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen, die hier mit einigen konkreten Beispielen aus der Bodenkunde veranschaulicht werden: Prinzip 1 bedingt, dass das System wirklich genutzt wird. Das ganze System muss entweder im Vorhinein bekannt sein, sodass alle bestehenden Objekte einen Platz finden, oder es muss erweiterbar sein und bleiben, so kann den Prinzipien 2 und 4 Rechnung getragen werden. Ausserdem dürfen keine Lücken zwischen zwei Bereichen entstehen, wie z.B. dass ein überschütteter Boden erst ab 20cm definiert ist und es für geringere Überschüttungen keine Lösung gibt. Des Weiteren müssen zwischen den Klassen klare Grenzen bestehen (Prinzip 3 und 4). Für die Untertypen gilt dies zum Teil. Manche Untertypen sind beschreibende Zusatzinformationen, die nur eine Ausprägung haben können (blauer und grüner Kasten, Abb. 1) und in sich klar definiert sein müssen. Andere sind Merkmale die über einen Gradienten verschiedene Ausprägungen annehmen können (grauer Kasten, *Abbildung 1*). Diese Ausprägungen müssen durch Klassengrenzen unterscheidbar gemacht werden.

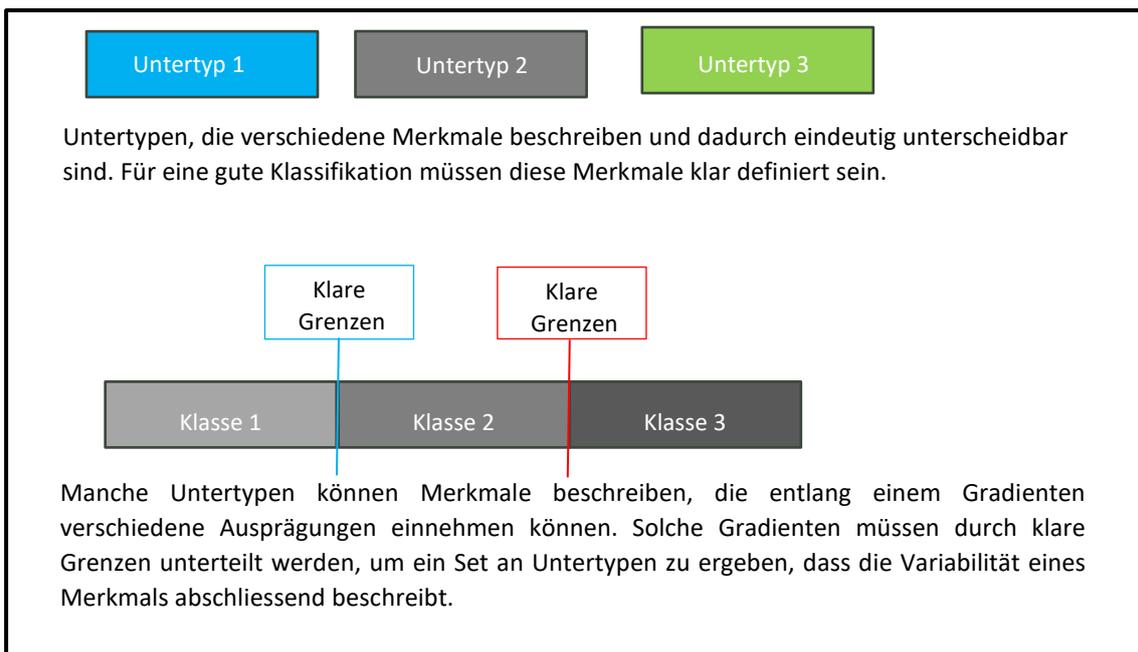


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Unterscheidbarkeit von Untertypen und der verschiedenen Formen von Merkmalen, die sie beschreiben.

In der Spanne aller Untertypen muss zwischen minimalem und maximalem Wert die ganze Variabilität der Schweizer Böden enthalten sein (Prinzip 2, *Abbildung 2*). Dies kann statistisch mit Daten von sehr vielen Profilen sichergestellt werden. Für Bodeneigenschaften, für die es keine Daten gibt,



Abbildung 2 : Schematische Darstellung der Spannweite von Untertypen, um alle in der Schweiz möglichen Beobachtungen abzubilden.

muss man mit neuen Feldaufnahmen innerhalb der Revisionsarbeiten rechnen. Die Ausprägung eines Merkmals, das einen Bodentyp definiert, kann mehr oder weniger ausgeprägt sein. Wenn das Merkmal schwach ausgeprägt ist, kann es unter einen Schwellenwert fallen und nicht mehr als definierendes Merkmal gelten. Es wird dann als Untertyp eines anderen Bodentyps beschrieben. Da

es in der Bodenkunde Fälle geben kann, in denen Bodentypen gemeinsame Eigenschaften teilen. Für solche Fälle muss eine Priorisierung in Haupt- und Untermerkmale angeboten werden (Prinzip 5). Überlappungen finden sich beispielsweise bei Gley und Pseudogley, da die Prozesse Stauwasser- und Grundwassereinfluss gleichzeitig auftreten können, oder bei Braunerden und Arenosolen (WRB), da auch Braunerden mit einem hohen Sandgehalt denkbar sind. Will man Prinzip 6 gerecht werden, ist es wichtig, dass sich verschiedene Stufen mit objektiven Merkmalen trennen lassen. Dies ist eine Herausforderung, da die Methode trotzdem praxistauglich bleiben muss und im Falle der Bodenkunde z.B. zu lange Verzögerungen durch aufwändige Analysen nicht praktikabel sind. Es gibt Merkmale, die zwingend übereinstimmen müssen, um zwei Objekte der gleichen Kategorie zuzuordnen, andere können übereinstimmen, aber sie müssen nicht. Solche Merkmale müssen laut Prinzip 7 definiert werden.

3. Bodenklassifikation im historischen Kontext

Die Bodenklassifikationen der verschiedenen Länder unterscheiden sich in ihrer Vorgehensweise, ihrem Aufbau und ihrer Gewichtung von Attributen, aber sie haben alle eine gemeinsame Geschichte. Diese beginnt am Ende des 19. Jhd. und dauert bis heute an. Zu jeder Zeit prägten neue Erkenntnisse und Perspektiven auf den Boden die pedologische Gemeinschaft, was sich in den Bodenklassifikationssystemen, die zu den betreffenden Zeiten in Entstehung begriffen waren, niederschlug.

Frühere Klassifizierungen, die Ende des 19. Jhd. Anfang des 20. Jhd. (Jenny 1941) entstanden sind, stützen auf den Standard-Bodenbildungsfaktoren nach dem Schema [Faktor → Prozess → Eigenschaften] ab. Modernere Systeme haben das Schema [Bodenbildungsfaktoren → interne Bodensystemfunktion → spezifische Bodenbildungsprozesse → Bodeneigenschaften und Merkmale → externe Bodenfunktionen] (Targulian und Krasilnikov 2007). Diese moderne Bodenklassifizierung führt zu definierteren und quantitativen Beobachtungen von Bodeneigenschaften als ältere Methoden. Die Möglichkeit genauere Analysen durchzuführen, ermöglicht es typische Horizonte als Diagnosehorizonte klar zu definieren und daraus Bodentypen abzuleiten. Die modernsten Ansätze zur Bodenklassifizierung nutzen ausserdem intensiv statistische Methoden und beziehen digitale Bodenklassifikationssysteme ein (Hartemink 2015; Krasilnikov et al. 2016).

Die Unterschiede beim Aufbau der Klassifikationen begründen sich auf der Perspektive, die die wissenschaftliche Gemeinschaft zur jeweiligen Zeit auf Böden hatte. So stand in Russland in den 1890er Jahren das Klima, in welchem sich ein Boden entwickelt, im Vordergrund und führte zu den Gruppen, nach denen Böden in diesem historisch sehr alten Klassifikationssystem eingeteilt werden. Da die Aufgabe der Bodenkartierer damals die Kartierungen von Millionen von Hektaren war, war das Klima der deutlichste Unterscheidungsfaktor in einem sehr kleinen Kartenmassstab. Kurz darauf entstand in Westeuropa und Amerika die Bodenchemie und die Suche nach präziseren Parametern als den bisher verwendeten, begann. Dies aus dem Bedürfnis, die agronomischen Eigenschaften von Böden besser beschreiben zu können (Miller und Schaetzl 2016). In der Schweiz waren die bodenkundlichen Arbeiten von Wiener und Pallmann und die Erforschung der Tonminerale und Perkolate in dieser Zeit wegweisend (Sticher 2001). Hier mussten ausserdem kleinere Flächen in detaillierterem Massstab beschrieben werden, wodurch das Klima kein geeigneter Haupt-Unterscheidungsfaktor mehr war, sondern auch den anderen Faktoren, die die Bodenentstehung beeinflussen, mehr Gewicht gegeben werden musste. So lassen sich kleinräumige Unterschiede z.B. durch das Relief häufig besser erklären. Mit dem fortschreitenden Bestreben, Böden möglichst präzise zu beschreiben und Systeme zu entwickeln, die universell anwendbar sind (z.B. auf der ganzen Welt, wie es die FAO in den 70er Jahren anstrebte) wurden die Faktoren, die die Bodenentstehung beeinflussen z.T. etwas weniger wichtig zugunsten von Messbarkeit und Analysen. So ist z.B. bei der US Soil Taxonomy der analytische Teil konkret beschrieben. Die Bodenentstehung bildet die theoretische Basis, ist aber an sich nicht vordergründig ersichtlich (USDA, Soil Science Division Staff 2017).

4. Vergleich von bestehenden Klassifikationssystemen

4.1 Einführung

Einige Prozesse der Bodenentwicklung sind weltweit einheitlich anerkannt, egal mit welcher Methode ermittelt oder wo in der Hierarchie eingeordnet und bilden die Basis von fast jedem Klassifikationssystem (*Tabelle 1*) (Targulian und Krasilnikov 2007; IUSS Working Group WRB 2014):

Tabelle 1 Allgemeine anerkannte Bodenbildungsprozesse in verschiedenen Bodenklassifikationen.

Streuschichtbildung	von schlecht abgebauten organischen Ablagerungen auf der
Anhäufung	Bodenoberfläche unter aeroben Bedingungen.
Torfbildung	Anhäufung von schlecht abgebauten organischen Ablagerungen auf der
	Bodenoberfläche unter anaeroben Bedingungen.
Humifizierung	Umwandlung von organischen Ablagerungen zu spezifischen, dunkel
	gefärbten Humusverbindungen.
Vergleyung	Reduktion von Fe und Mn unter anaeroben Bedingungen in
	wassergesättigten Böden.
Versalzung	Anreicherung von löslichen Salzen im Boden.
Pedoturbation	Vermischung des Bodenmaterials durch verschiedene biotische und
	abiotische Kräfte (Bio-, Kryo-, Vertiturbation).
Strukturierung	Bildung der Bodenstruktur aus dem Ausgangsmaterial durch
	Veränderung, Zerkleinerung und Aggregation.
Zementierung	Verhärtung von losem Bodenmaterial durch verschiedene chemische
	Verbindungen (Fe, Si, Ca).
Kalkanreicherung	Anhäufung von Ca(Mg)CO_3 in Böden.
Podsolierung	Auslaugen von Fe, Al und Humus im Oberflächenhorizont in gelöster
	Form und daraus resultierend Ausfällung in einem tiefergelegenen
	Horizont.
Auswaschung	Translokation von Ton aus überlagerten Bodenhorizonten in einen
	tieferliegenden Horizont.
Fersialitisation	Transformation von Bodenmaterial in situ, mit moderater Entkieselung,
	Bildung von 2:1-Tonen.
Ferralitization	Transformation von Bodenmaterial in situ, mit starker Entkieselung,
	Bildung von 1:1-Tonen und Fe- und Al(hydr)oxiden.

Dieser Liste lässt sich noch die Verbraunung hinzufügen, bei der es sich um einen Klimax-Prozess in mitteleuropäischen Böden handelt. Der Prozess wird von (Duchaufour 1977) beschrieben und erscheint, in Verbindung mit der Verlehmung auch im deutschen Bodenklassifikationssystem (Scheffer et al. 2010).

Diese Prozesse liegen diagnostischen Horizonten oder Merkmalen zugrunde und sind oft durch Horizontabkürzung oder die Horizontreihenfolge bezeichnet. Die meisten dieser Prozesse setzen eine gewisse Zeitspanne voraus, die ablaufen muss bis sie in der Natur ausgebildet sind und vorkommen können (Targulian und Krasilnikov 2007). *Abbildung 3* beschreibt typische Zeiten für bodenbildende Prozesse.

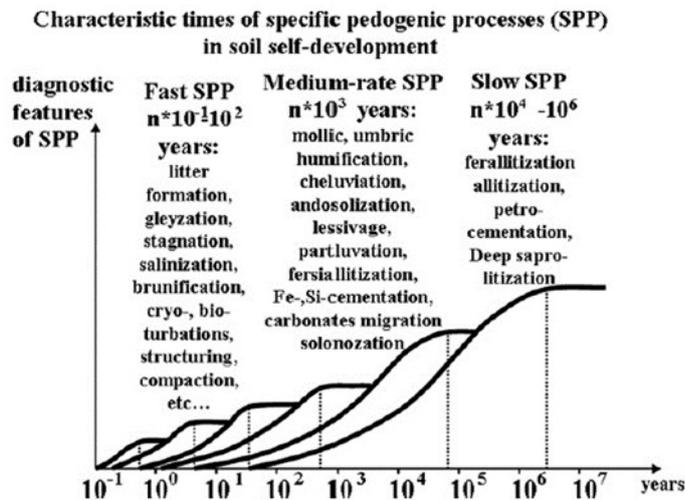


Abbildung 3 charakteristische Zeiten spezifischer pedogener Prozesse (SPP) in der Eigenentwicklung des Bodens (Targulian and Krasilnikov 2007).

In einigen frühen Bodenklassifikationssystemen war die Bodenentwicklung die Basis der Klassifikation und das zugrundeliegende Denkgerüst, von dem aus man nach sichtbaren Merkmalen suchte. Kubiënia (Kubiëna 1954) stellte Chronosequenzen auf, in denen die Böden anhand ihres Entwicklungsgrades klassifiziert sind. Dies wurde auch in der französische Klassifikation CPSC angewendet (Duchaufour 1977). Je stärker also ein Boden entwickelt ist, desto komplexer ist er laut diesen Systemen und desto differenzierter kann man ihn beschreiben. An manchen Standorten sind aber auch alte Böden wenig entwickelt, da die Umweltfaktoren die Entwicklung bremsen. Länder wie die Schweiz waren lange Zeit vergletschert und verfügen daher ebenfalls über wenig entwickelte Böden, die mitten in ihrer Entstehung begriffen und weit von einem Klimax-Stadium entfernt sind. Solche Böden lassen sich mit Klassifikationssystemen auf Basis der Bodenentwicklung nur schwer beschreiben (Einteilung vieler Böden in «Abfall-Klassen»). Daher mussten für das Schweizer Klassifikationssystem zusätzliche beschreibende Parameter, wie das Ausgangsgestein, hinzugezogen werden.

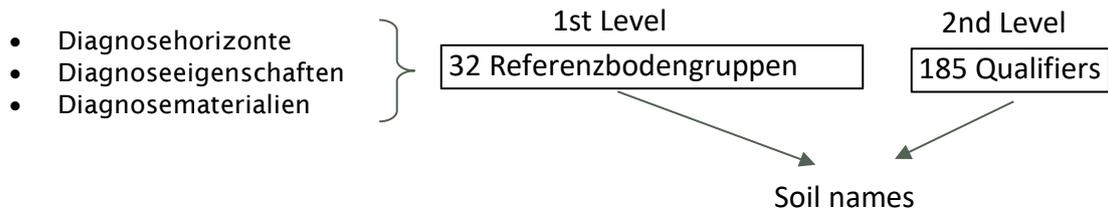
So mussten in jedem Land die spezifischen Bedürfnisse an eine Bodenklassifikation berücksichtigt werden, was zu den verschiedenen Systemen führte. Einige werden im Folgenden beispielhaft verglichen.

4.2 WRB

Das World Reference Base for Soil Resources, kurz WRB, (IUSS Working Group WRB 2014) hat zwei Ebenen. Die erste umfasst 32 **Referenzbodenruppen** (RSGs), die durch einen Schlüssel identifiziert werden. Die zweite sieht konstruierte Bodennamen vor. Dem Namen der RSG werden hier Adjektive, sogenannte **Qualifier**, hinzugefügt. Die Qualifier, derzeit 185, sind in Kapitel 5 des WRB-Dokuments definiert. Einige können mit vielen RSGs kombiniert werden, andere mit nur wenigen oder sogar nur mit einem. Das System entspricht nicht einer Hierarchie, aber die Einteilung der Böden in 8 grobe Klassen ist möglich:

1. Böden mit dicken organischen Schichten
2. Böden mit starkem menschlichen Einfluss
3. Böden mit Einschränkungen des Wurzelwachstums
4. Böden, die sich durch Fe/Al-Chemie auszeichnen
5. Ausgeprägte Ansammlung von organischer Substanz im mineralischen Oberboden
6. Anhäufung von schwerlöslichen Salzen oder nichtsalzenden Stoffen
7. Böden mit tonangereichertem Untergrund
8. Böden mit geringer oder gar keiner Profilunterscheidung

Unter den 32 Referenzen sind viele Hauptbodenbildungsprozesse berücksichtigt. Die zweite Klassifizierungsstufe ist hierarchisch aufgebaut und muss jedes Mal von Anfang an durchgearbeitet werden. Folgende Attribute werden für die Bestimmung im WRB verwendet:



Diese Attribute sind mit Beobachtungen und Analyse klar trennbar. Die grosse Anzahl der Qualifiers und die ziemlich genauen analytischen Eigenschaften (mit Schwellenwerten) erlauben eine klare Einteilung und eindeutige Zuweisung.

4.3 Référentiel pédogénétique français

Das Référentiel pédologique ist eine Sammlung von Referenzbodenprofilen (*Abbildung 4*) (AFES 2009). Die Autoren haben sich bemüht, eine Typologie zu etablieren, die sowohl wissenschaftlich als auch pragmatisch, präzise und flexibel ist, und die nur zwei Kategorien hat: **Referenzen** und Typen. Eine Referenz wird weiter unterteilt durch Hinzufügen eines oder mehrerer Qualifier (**qualificatifs**). Diese Typologie berücksichtigt:

- die Morphologie von Böden
- Beschreibungs- und Funktionseigenschaften
- Pedogenetische Prozesse.

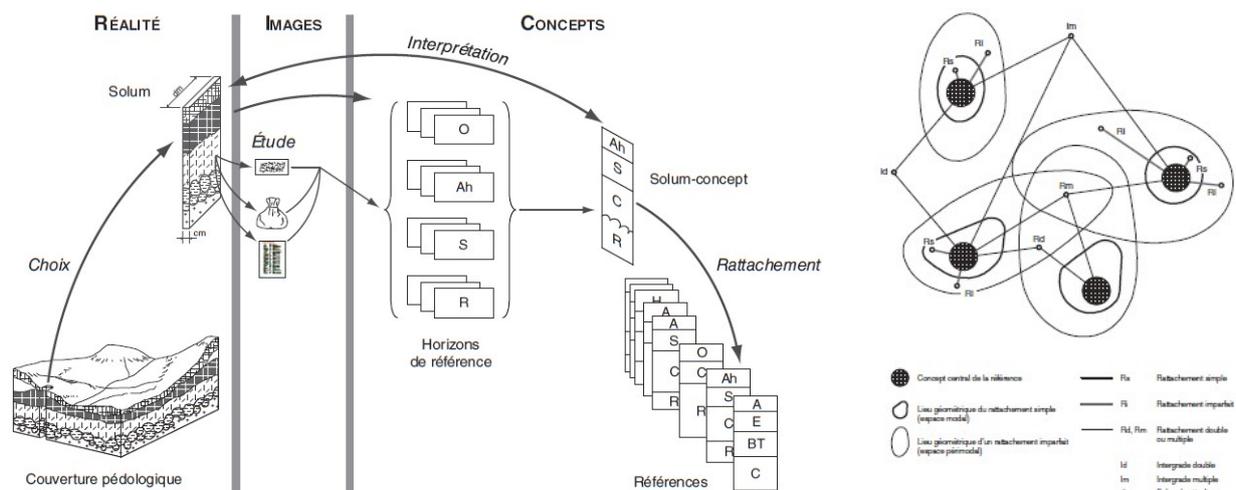


Abbildung 4 Denkprozess zur Bodenbeschreibung nach dem Referenciel Pedologique. Die Übertragung der natürlichen Beobachtung in ein 2-dimensionales Konzept führt zu einer Zuordnung zu einer Sammlung an Referenzbodenprofilen (AFES 2009).

Wie beim WRB sind auch beim Référentiel pédologique die Bodentypen und Qualifiers ziemlich genau beschrieben mit definierten Schwellenwerte. Es gibt ausserdem einige gemeinsame Punkte zwischen Référentiel pédologique, dem alten französischen CPCS-System und dem Pallmann System (Krasilnikov et al. 2016). Das CPCS-System war ein hierarchisches System mit 4 Ebenen, Klassen, Unterklassen, Gruppen und Untergruppen. Die Klassen und Unterklassen spiegelten das Niveau der Bodenevolution und die Prozesse ihrer Entstehung wieder; Gruppen und Untergruppen waren eher mit lokalen Prozessen oder Eigenschaften verbunden. Die Differenzierungsfaktoren waren eher qualitativer Natur, teilweise wurden auch Analysen verwendet (Duchaufour 1977). Obwohl im alten System sehr viele Hierarchiestufen und Gruppen bestanden, gelang es, ein einfacheres, anwenderfreundliches System abzuleiten. Ein Boden kann zu 2 Referenz zu geordnet werden.

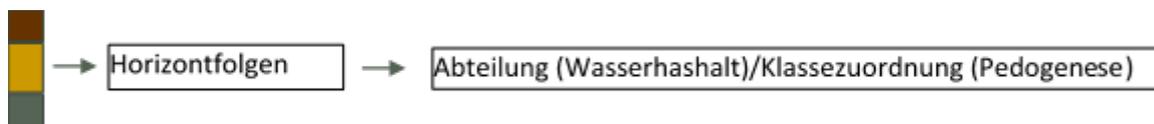
4.4 Kartieranleitung KA5

Die aktuelle deutsche Klassifikation (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden 2005) wurde seit den 1950er Jahren entwickelt und ist stark von der Klassifikation von Kubiëna beeinflusst. Die Böden wurden im weiteren Sinne nach ihrem **Wasserhaushalt** eingeteilt. Es gibt 4 Abteilungen:

- Terrestrische Böden
- Semi-terrestrische Böden
- Moore
- Semisubhydrische/subhydrische Böden

Die Klassen werden nach dem Entwicklungszustand und dem Grad der Horizontdifferenzierung unterschieden.

Typen werden durch **charakteristische Horizonte** und Horizontfolgen eingeteilt (bis zu KA5). Die Ober- und Unterbodenhorizonte spiegeln spezifische pedogene Prozesse und Eigenschaften wider. Die terrestrischen Böden wurden nach ihrem Entwicklungsstand geordnet. Die Taxa werden hauptsächlich nach qualitativen Kriterien definiert: Die deutsche Klassifikation gibt konzeptionelle Horizontfolgen vor, anstatt strenge quantitative Grenzen zwischen den Bodeneinheiten festzulegen.



In seinem Buch stellte Kubiëna verschiedene Bestimmungsschlüssel vor. Diese waren nach Humusform, Bodenfarbe, Kalkgehalt, Muttergestein, und Wasserhaushalt des Bodens geordnet. Die Böden Mittel- und Nordeuropas, Südeuropas und des Alpengebietes wurden darin berücksichtigt.

4.5 USDA soil taxonomy

Diese Klassifikation wurde zwischen 1930 und 1960 entwickelt. Die Größe und Komplexität der Informationen führte dazu, dass eine Hierarchie im System möglichst streng umgesetzt werden musste. Operative Definitionen wurden verwendet, um **taxonomische Grenzen** und **diagnostische Horizonte** und Merkmale zu identifizieren, so dass jedes Taxon durch jeden Benutzer gleich beschrieben wird (Ditzler und Ahrens 2006). Anfangs wurden die Böden anhand von Merkmalen aus der Bodenentstehung eingeteilt. Da für die verschiedenen Klassen nur Mittelwerte, aber keine Grenzwerte angegeben wurden, erhielt man mitunter mehrdeutige Ergebnisse bei der Klassierung von Böden. Daher wurden die Kriterien mit der Zeit immer stärker durch analytisch messbare Kriterien ersetzt (USDA, Soil Science Division Staff 2017). Gemäss USDA Soil Taxonomy ist dies eine Voraussetzung, um standardisierte Bodenansprachen durchführen zu können. Das System umfasst 4 hierarchische Ebenen (USDA NRCS Soil Survey Staff 2014):

Orders (12)

Suborders (28)

Great Groups

Subgroups

Tabelle 2 Liste der Orders (erste hierarchische Stufe) der USDA Soil Taxonomy (USDA NRCS Soil Survey Staff 2014).

Name of order	Formative element in name	Derivation of formative element	Pronunciation of formative element
Alfisols	Alf	Meaningless syllable	Pedalfer.
Andisols	And	Modified from ando	Ando.
Aridisols	Id	L. <i>aridus</i> , dry	Arid.
Entisols	Ent	Meaningless syllable	Recent.
Gelisols	El	L. <i>gelare</i> , to freeze	Jell.
Histosols	Ist	Gr. <i>histos</i> , tissue	Histology.
Inceptisols	Ept	L. <i>inceptum</i> , beginning	Inception.
Mollisols	Oll	L. <i>mollis</i> , soft	Mollify.
Oxisols	Ox	F. <i>oxide</i> , oxide	Oxide.
Spodosols	Od	Gr. <i>spodos</i> , wood ash	Odd.
Ultisols	Ult	L. <i>ultimus</i> , last	Ultimate.
Vertisols	Ert	L. <i>verto</i> , turn	Invert.

Auffällig ist, dass nur 12 Ordnungen (Tabelle 2) bestehen, die einerseits pedogenetische Prozesse (Alfisols, Spodosols,...) und andererseits spezifische Umweltbedingungen widerspiegeln (Aridisols, Gelisols). Aus den drei ersten Ebenen der USDA soil taxonomy ergibt sich der Name des Bodens, die Subgroups fungieren eher als zusätzliche Qualifiers. Sie erlauben z.B. Zwischenstufen zu unterscheiden.

5. Analyse der Klassifikation der Böden der Schweiz, KLABS

5.1 Einleitung

Pallmann hatte in seinen Arbeiten Bodenserien vorgeschlagen (Pallmann 1944). Diese entsprechen den erwarteten Bodentypen in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial in einem bestimmten Klima. So sind die Böden nicht nur durch Faktoren (Klima, Neigung, Vegetation, Zeit und Ausgangsmaterial) und chemische/physikalische Eigenschaften (Analyse, ...), sondern auch mit Merkmalen der Bodenentstehung beschrieben. Eine Bodenserie hat verschiedene Bodenentwicklungsstadien: Rohboden, unreif, reif, degradiertes Boden (Pallmann 1944). Diese Vorschläge wurden von Frei in den Sechziger- und Siebzigerjahren weiterentwickelt und schliesslich in die heute verwendeten 4 Stufen eingeteilt (Tabelle 3). Details zu diesen 4 Stufen finden sich im offiziellen Dokument zur KLABS (BGS 2010). Einige Zusätze wurden ausserdem aus der Bodenklassifikation der FAO übernommen (Frei et al. 1980). Dies hatte die gewünschte Präzisierung zur Folge und war grösstenteils von Vorteil. Es führte aber auch dazu, dass verschiedene beschreibende Faktoren und Einteilungen auf unterschiedlichen Stufen zu finden sind und sich teilweise widersprechen oder nicht zusammenpassen. Würde man heute wieder Informationen aus anderen Systemen übernehmen, wäre dies sicherlich hilfreich, da sich viele Systeme zu einer grösseren Präzision weiterentwickelt haben, die der KLABS zum Teil noch fehlt. Allerdings dürften nur Detailinformationen wie Schwellenwerte, ergänzende Attribute, etc. übernommen werden und nicht die zugrunde liegenden Klassifikations-Schemata. Jede eingeführte Information müsste zuerst an die KLABS angepasst werden, um Widersprüche auszuschliessen.

Tabelle 3 Übersichtstabelle der vier Stufen und darin enthaltenen Einteilungskriterien der KLABS (BGS 2010).

Glieder	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Stufe I = Klasse: Wasserhaushalt des Bodens										
Stufe I Klasse	perkoliert	selten perkoliert	Nie perkoliert, arid	stauwasser-geprägt	stauwasser-geprägt, extrem austrocknend	grund-/hangwasser-geprägt	grund-/hangnass, stark verdunstend	Periodisch überschwemmt		
Stufe II = Ordnung: Hauptbestandteile des Bodengerüsts										
Stufe II Ordnung	Gesteinsrelikte	Gesteinsrelikte + organische Substanz	Sekundärminerale + Gesteinsrelikte + organische Substanz	Sekundärminerale + organische Substanz	organische Substanz					
Stufe III = Verband: Kennzeichnende chemische und mineralogische Komponenten des Bodengerüsts										
Stufe III Verband	Silikatgestein	Mischgestein	Karbonatgestein	Tonmineralien + Huminstoffe	Tonmineralien + Eisenoxide	Eisen- + Aluminiumhumate	Eisen + Mangan oxidiert/reduziert	Eisen reduziert	organische Substanz	Eisen- + Aluminiumoxide
Stufe IV = Typ: Kennzeichnende Perkolate										
Stufe IV Typ	Aluminiumionen	Kalziumionen	Kalziumbikarbonat	Alkalisalze	Tonverlagerung	Eisen + Mangan reduziert	Kieselsäure	Eisen- + Aluminiumhumate	Na-Tone + -Humate	Huminstoffe

5.2 Analyse des hierarchischen Teils

Könnten alle 8 Klassen von Böden (Stufe I) Bodentypen aus jeder der 5 Ordnungen (Stufe II), aus jedem der 10 Verbände (Stufe III) und der 10 Typen (Stufe IV) enthalten, so ergäben sich insgesamt $8 \times 5 \times 10 \times 10 = 4'000$ verschiedene Möglichkeiten von Bodentypen. Einige Klassen, Verbände und Typen kommen allerdings in der Schweiz nicht vor (Tabelle 5) und manche Kombinationen sind in

einem natürlichen System gar nicht möglich. Daher bleibt eine geringere Zahl an möglichen Bodentypen übrig. Wenn man die Bodenliste der KLABS (BGS 2010) studiert, findet man darauf nur 34 Bodentypen (*Tabelle 4*).

Tabelle 4 Liste der beschriebenen Bodentypen in der KLABS (BGS 2010).

Silikatgesteinsboden	1112	Pelitische Braunerde	1452
Mischgesteinsboden	1123	Trocken-Regosol	2322
Karbonatgesteinsboden	1133	Trocken-Rendzina	2333
Humus-Silikatgesteinsboden	1211	Phaeozem	2342
Humus Mischgesteinsboden	1223	Braunerde-Pseudogley	4356
Humus-Karbonatgesteinsboden	1233	Pseudogley	4376
Ranker = PK, MF Silikatboden	1311	Braunerde-Gley	6356
Fluvisol	1323	Buntgley	6376
Regosol	1323	Fahlgley	6386
Rendzina	1333	Pelitischer Fahlgley	6488
Saure Braunerde	1351	Halbmoor	6582
Gewöhnliche Braunerde	1352	Saures Moor	6590
Kalkbraunerde	1353	Moor	6592
Parabraunerde	1355	Aueboden	8212
Braunpodsol	1361	Aueboden	8223
Huminstoffreicher Podsol	1368	Aueboden	8233
Podsol	1368	Verbraunter Aueboden	8322

Tabelle 5 Liste der Klassen, Ordnungen, Verbände und Typen die zur Zeit mindesten einmal in einen beschriebenen Bodentyp in der KLABS vorkommen in Schwarz. In Grau sind nicht verwendete Stufen dargestellt.

Klasse	Ordnung	Verband	Typ
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6		6	6
7		7	7
8		8	8
		9	9
		0	0

Wenn man detailliert beobachtet, welche Kombination gemeinsam vorkommen, stellt man fest, dass gewisse Ordnungen, Verbände und Typen immer miteinander verknüpft sind und andere sich ausschliessen (*Tabelle 5*).

Tabelle 6 Detailbeschreibung von Klassen, Ordnungen, Verbänden und Typen zur Einteilung von Böden in der KLABS.

Boden gruppiert nach Klasse
<ul style="list-style-type: none"> • Klasse 1 enthält Gesteinsböden, Humusgesteinsböden, Fluvisol, Regosol, Rendzina, Ranker, Braunerde, Parabraunerde und Podsol
<ul style="list-style-type: none"> • Klasse 2 enthält Trockene Regosole, Rendzinen und Phaeozem
<ul style="list-style-type: none"> • Klasse 4 enthält nur Pseudogleye
<ul style="list-style-type: none"> • Klasse 6 enthält Gley, pelitischer Fahlgley, Moor und Halbmoor
<ul style="list-style-type: none"> • Klasse 8 enthält nur Auenböden
Ordnungen die nur auf spezifische Böden zutreffen
<ul style="list-style-type: none"> • Ordnung 1 enthält nur Gesteinsböden und Humusgesteinsböden
<ul style="list-style-type: none"> • Ordnung 2 enthält nur Humusgesteinsböden und Auenböden
<ul style="list-style-type: none"> • Ordnung 3 enthält Fluvisol, Regosol, Rendzina, Ranker, Braunerde, Parabraunerde, Podsol,
<ul style="list-style-type: none"> • Phaeosem, Auenböden, Pseudogley und Gley
<ul style="list-style-type: none"> • Ordnung 4 enthält nur pelitische Braunerde und Fahlgley
<ul style="list-style-type: none"> • Ordnung 5 enthält nur Halbmoor und Moor
Verbände die nur auf spezifische Böden zutreffen
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 1 kommt nur bei Silikatböden, Ranker und Auenböden vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 2 kommt bei Mischgesteinsboden, Humus-Mischgesteinsboden, Fluvisol, Regosol und Auenböden vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 3 kommt bei Karbonatgesteinsboden, Humus-Karbonatgesteinsboden, Rendzina, Auenböden vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 4 kommt nur bei Phaeozem vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 5 kommt nur bei den Braunerden, sowie Gley und Pseudogley vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 6 kommt nur bei Podsol vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 7 kommt nur bei Pseudogley und Buntgley vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 8 kommt nur bei Fahlgley und Halbmoor vor
<ul style="list-style-type: none"> • Verband 9 kommt nur bei Moor vor
Typen die nur auf spezifische Böden zutreffen
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 1 kommt nur bei Humus-Silikatgesteinsboden, Saurer Braunerde und Braunpodsol vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 2 kommt bei Silikatgesteinsboden, Mischgesteinsboden, Humus-Mischgesteinsboden, Fluvisol, Regosol, Braunerde, Pelitischer Braunerde, Phaeozem, Halbmoor, neutralem Moor und Aueboden vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 3 kommt bei Karbonatgesteinsboden, Humus-Karbonatgesteinsboden, Rendzina, Kalkbraunerde, Aueboden vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 5 kommt nur bei Parabraunerde vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 6 kommt nur bei Pseudogley und Gley vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 8 kommt nur bei Podsol und Pelitischem Fahlgley vor
<ul style="list-style-type: none"> • Typ 0 kommt nur bei Moor vor

Die Analyse von *Tabelle 6* im Bezug auf Bodenbildungsprozesse, könnte wie folgt zusammengefasst werden:

Die Böden der Klasse 1 unterscheiden sich nach dem Grad der Entwicklung:

Nur Gesteinboden -> Humusgesteinsboden -> Boden mit sekundären Mineralien. Die Ordnungen 1 und 2 enthalten Informationen über das Muttergestein (Verband 1-3). Hier ist die Beschreibung der Lithologie massgebend.

Die Böden der Ordnung 3 sind durch weitere Bodenbildungsprozesse differenziert:

Verband 4 umfasst Böden mit Humifikationsprozessen (Phaeozem).

Verband 5 stellt den Prozess der Verbraunung dar.

Verband 6 stellt den Prozess der Podsolierung dar.

Die Böden der Ordnung 4 sind v.A. Böden mit pelitischen Eigenschaften die aus Kalksteinverwitterung entstehen (Braunerden).

Die Böden der Klasse 2 sind eher trocken. Sie gehören alle Ordnung 3 (Böden mit sekundären Mineralien) an und sind durch die Verbände 2 (Trockene Regosole) und 3 (trockene Rendzinen) bezüglich Muttergestein differenziert. 4 für Phaeozem differenziert.

Die Böden der Klasse 4 sind die Pseudogleye. Sie gehören zur Ordnung 3 und unterscheiden sich durch die Intensität der Staunässe:

In Verband 5 finden sich eher verbrauchte Böden (Braunerde-Pseudogleye), diese sind ein Zwischenschritt zwischen Klasse 1 und 4.

Verband 7 beinhaltet Böden unter wechselfeuchten Bedingungen (entspricht stagnic properties in der WRB).

Die Böden der Klasse 6 sind Grundwasser-beeinflusste Böden. Hier finden sich viel Böden innerhalb der Ordnung 3. Gley (entspricht gleyic Eigenschaften in der WRB). Abhängig von der Tiefe der Grundnässe-Merkmale können sie weiter in Verband 5 (Braunerde-gley), 7 (Buntgley) und 8 (Fahlgley) unterschieden werden. Sie gehören alle zu Typ 6 (Eisen- und Manganreduziert).

Weiter sind in Klasse 6 auch Böden der Ordnung 4 mit Pelitischem Fahlgley (die Körnung spielt eine dominante Rolle) und der Ordnung 5 mit den Organischen Böden vertreten. Die Organischen Böden werden weiter durch den Verband unterschieden:

Verband 8 = Halbmoor

Verband 9 = Moor. Moore werden aufgrund des pH's weiter differenziert:

Typ 0 = sauer, typ 2 = neutral.

Die Böden der Klasse 8 sind die Auenböden, die durch ihr Muttergestein und den pH differenziert werden können.

Nach Krasilnikov (2016) ist das schweizerische Klassifizierungssystem keine Hierarchie-Taxonomie im Sinne von Pflanzen oder Tieren. Es ist möglich, die Klassen, Ordnungen und Typen in der vertikalen Reihenfolge auszutauschen. Dieses Klassifikationsystem ordnet die Kategorien und nicht reale Objekte, wie viele andere Klassifizierungen. Man sieht auch, dass einzelne Bodenbildungsfaktoren in verschiedenen Niveaus vorkommen und dass gewisse hierarchische Niveaus verschiedene Prozesse oder Deskriptoren beinhalten. Zum Beispiel haben die Prozesse Vergleyung und Torfbildung ein grosses Gewicht. Es wird schon auf der ersten Stufe (Klasse) nach diesen Prozessen unterschieden und eingeteilt.

Bei der Entwicklung wollte Pallmann eine weltweite Anwendungsmöglichkeit gewährleisten und hat die Einteilung in Klimazonen, ähnlich der russischen Klassifikation, berücksichtigt (Pallmann 1932, 1944). Die klimatischen Überlegungen sind auch ausserhalb der Schweiz anwendbar und beruhen auf einer Beschreibung von Temperatur und Niederschlag sowie deren Bilanz im Hinblick auf die Evapotranspiration. Da in einem kleinen Land wie der Schweiz wenig verschiedene Klimazonen vorkommen, führt ihre Beschreibung zu keiner wirklichen Differenzierungsmöglichkeit. Mit der Zeit hat sich daher die Unterscheidung nach dem Wasserhaushalt auf der ersten Hierarchiestufe durchgesetzt. Trotzdem kommen von 8 möglichen Klassen nur die Klassen 1 (= perkoliert), 4 (= staunass), 6 (= grund- hangwassergeprägt) und 8 (= periodisch überschwemmt) häufig vor. Die Klassen 2 (= selten perkoliert) und 7 (= grund-/hangnass; stark verdunstend) kommen selten vor. Die Klasse 3 (= nie perkoliert (arid)) und 5 (= stauwassergeprägt, extrem austrocknend) treten nicht auf in der Schweiz.

Die tieferen Hierarchiestufen werden im Alltag selten für die Einteilung von Böden verwendet. Die Stufe der Verbände ist einerseits zu breit und ungenau, um sich zu eignen. Andererseits sind gewisse chemische Prozesse, Perkolate, etc. immer noch zu wenig erforscht.

Aus diesen Beobachtungen drängt sich die Frage auf, ob ein Klassifizierungssystem mit nur einer oder zwei Hierarchiestufen, aber mit der Möglichkeit, anhand von beschreibenden Zusatzbegriffen einen Bodentyp detaillierter abzugrenzen, nicht anwenderfreundlicher wäre.

Durch die Möglichkeiten von immer präziseren Messungen, verlagert sich die Analyse ausserdem deutlich von den qualitativen hin zu quantitativen Definitionen des Bodens (Simonson 1962). Es

wäre also sinnvoll, diese Möglichkeiten für die Beschreibung von Bodentypen zu verwenden und als Unterscheidungsmerkmale in die KLABS einfließen zu lassen.

6. Überlegungen zur Vereinfachung und Revision der KLABS

6.1 Vorgehen und Arbeitsaufwand

In diesem Kapitel werden die Schritte im Revisionsprozess angedacht oder aus den obigen Überlegungen zusammengefasst und abgeleitet. So soll eine erste Übersicht über die kommenden Arbeiten gegeben werden.

Bei der Literaturrecherche zur Revision von Klassifikationssystemen fällt auf, dass gewisse Probleme mehrfach angegangen und diskutiert wurden, ohne dass abschliessende und befriedigende Lösungen gefunden werden konnten. Viele dieser Themen waren Gegenstand von Expertenkonferenzen aus der bodenkundlichen Praxis, jedoch nicht von gründlichen wissenschaftlichen Analysen. Eine wichtige Grundlage um fundierte Entscheidungen bei unklaren Sachlagen fällen zu können, wäre aber die Kombination von wertvollem Expertenwissen mit soliden wissenschaftlichen Untersuchungsergebnissen zum Thema. So könnten z.B. Grenzwerte anhand eines Datensatzes richtig und anhand von Erfahrung auch praktikabel festgelegt werden oder bereits vorgeschlagene Lösungen quantitativ begründet werden. Dieser Ansatz wurde bereits von Frei gewählt, der die von Pallmann vorgeschlagene Klassifizierung präzisieren wollte, wobei eine Reflexion über die Integration von Daten der FAO oder der USDA soil taxonomy durchgeführt wurde (Frei 1976; Frei et al. 1980; Frei 1984, 1984). Seither kamen unzählige Publikationen zu Bodendaten hinzu und elektronische Recherchemethoden ermöglichen den Zugriff auf Daten zu nahezu jeder Problemstellung der Revision.

Das Vorgehen für eine bestimmte Fragestellung innerhalb der Revision der KLABS könnte also folgendermassen aussehen (*Abbildung 6*):

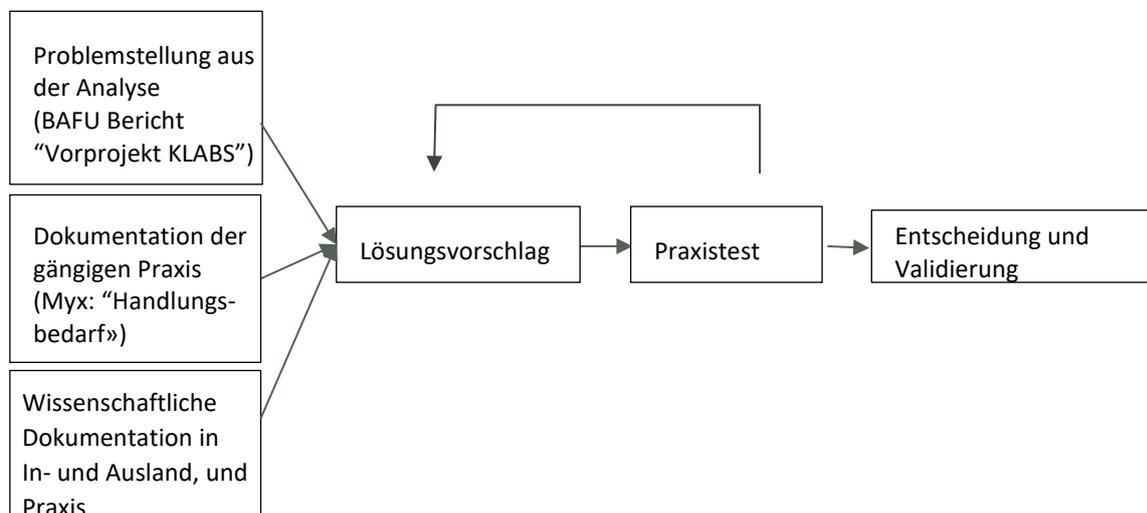


Abbildung 5 Mögliches Vorgehen zur Klärung einer Problematik innerhalb der Revision der KLABS

6.1.1 Überlegungen zum Budget

Das Erstellen eines Budgets ist in dieser Phase sehr schwierig und variiert stark mit dem angestrebten Detaillierungsgrad der Ergebnisse der Revision. Dieser Abschnitt bezieht sich auf das bereits vorliegende Budget des Kartierungsbüros myx. Die Kosten werden nach Hierarchiestufe in der KLABS (Klassen, Ordnungen, Verbände, Typen) getrennt aufgeschlüsselt, wobei sich die Posten untereinander beeinflussen können (die Lösung einer Problematik kann auch Fragestellungen in anderen Hierarchiestufen mitlösen usw.).

Tabelle 7 Mögliches Budget (in CHF, inkl MWSt und Qualitätssicherung) der Revision der KLABS nach der Arbeit an den einzelnen Hierarchiestufen aufgeschlüsselt.

Hierarchiestufe Klasse	Stufe 1	CHF 42'605
Hierarchiestufe Ordnung	Stufe 2	CHF 28'057
Hierarchiestufe Verband	Stufe 3	CHF 16'626
Hierarchiestufe Typ	Stufe 4	CHF 4'157
	Total	CHF 91'445

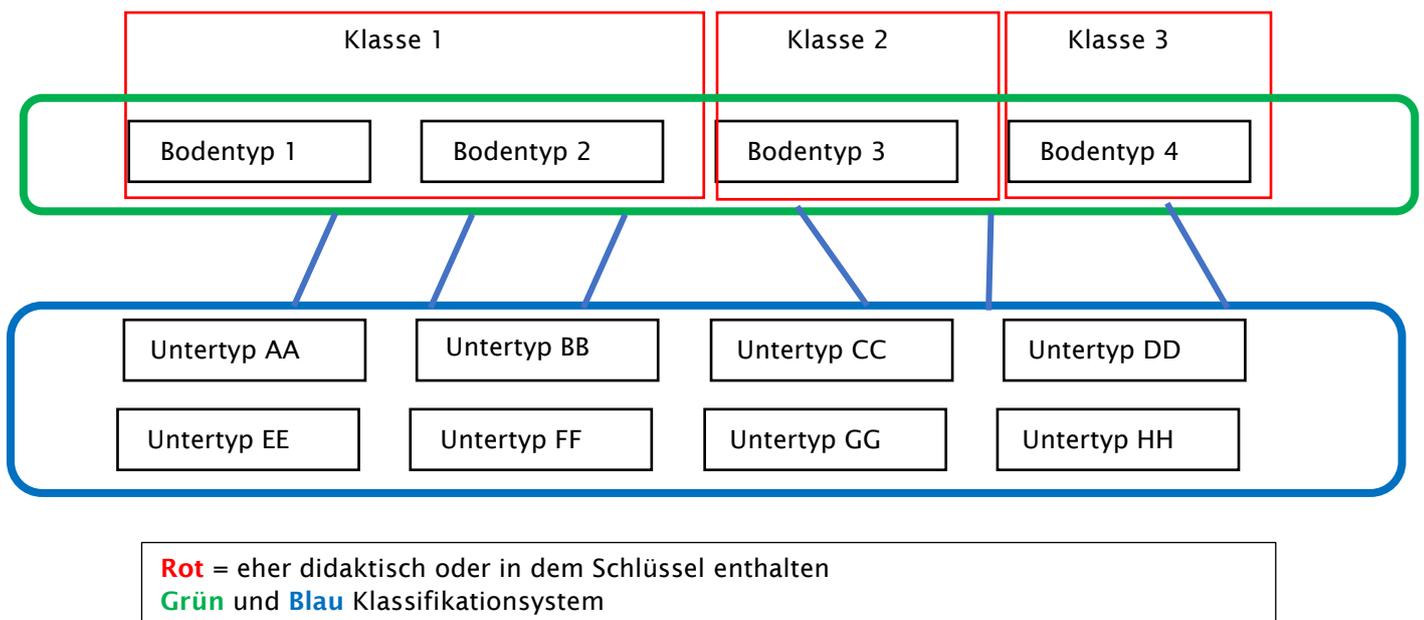
Dies entspricht nahezu einer Vollzeitstelle während einem Jahr.

Um im Projekt voranzuschreiten, ist es nötig, einige innovative Vorschläge in näheren Augenschein zu nehmen und gewisse Annahmen zu treffen. Diese Annahmen erfordern zum Teil weitreichende Entscheidungen mutige Schritte vorwärts, aber sie erlauben es, einige blockierende Hindernisse zu überwinden und eine Entscheidung zu Anfang des Projektes erspart grosse Kosten, die bei einer aufwändigen Bearbeitung bestimmter Probleme anfallen würden.

Folgende Annahmen werden vorgeschlagen:

- Möglichst viel des aktuellen Systems wird beibehalten. Möglichst keinen Aufwand in bereits gute und praktikable Vorgehensweisen investieren.
- Da die Stufen 3 und 4 der heutigen KLABS in der Praxis nicht verwendet werden, sollte man sie abschaffen. Es blieben dann zwei Klassierungsniveaus übrig (die nicht hierarchisch gegliedert würden):
 - Stufe 1: Bodentyp, die sich durch diagnostische Horizonte und Bodenbildungsprozessen unterschieden (Braunerde, Pseudogley,...)
 - Stufe 2: Untertypen/weiter beschreibende Attribute (qualifiers), die zur Unterscheidung der Geologie von wenig entwickelten Böden, zur Unterscheidung von pH oder Stauwassermerkmale für mehr entwickelten Böden.

Natürlich ist es immer noch möglich, die Bodentypen der Stufe 1 zu gruppieren, um eine bessere Übersicht zu haben und die Korrespondenz zum jetzigen System mit dem Wasserhaushalt als Haupttrennungsmerkmale zu gewährleisten: Klasse 1 = Perkolierte Böden, Klasse 2 = Böden mit Staunässe, Klasse 3 = Böden mit Grundnässe, Klasse 4 = Pelitische Böden und Klasse 5 = Organische Böden



Man bedient sich an möglichst vielen Informationen und Strategien aus anderen Klassifikationen (WRB, KA5, RP) um gute und praktikable Lösungen anzustreben, aber auch, um die Vergleichbarkeit zu anderen Ländern zu gewährleisten.

Es werden die pedogenetische Prozesse nach internationalem Standard verwendet.

Es werden weniger allgemeine Bodentypen beschrieben, diese werden durch Untertypen detaillierter unterschieden (siehe Beispiel unten).

Würde man die hier aufgeführten Punkte im Vorhinein der Revision in einem Gremium entscheiden, liessen sich ca. CHF 80'000.- im Revisionsprozess einsparen, da gewisse Neuentwicklungen und Überarbeitungen nicht mehr nötig wären. Die Kosten des ganzen Projektes liessen sich durch gute Vorbereitung und Begründung deutlich reduzieren. Die vorgeschlagene Neustrukturierung der Bodentypen auf einer Ebene mit zusätzlichen beschreibenden Attributen, wird im folgenden Abschnitt etwas detaillierter erklärt.

Das Feldaufnahme-Blatt sollte erst nach dem abgeschlossenen Revisionsprozess neu aufgesetzt werden. Sonst ist das Risiko, dass gewisse Punkte zwei- bis dreimal Mal geändert werden, zu gross.

6.1.2 Konzeptvorschlag

Untenstehende Liste (Tabelle 8) führt alle aktuellen Bodentypen der KLABS auf, wobei Duplikate weggelassen wurden.

Tabelle 8 Liste der aktuellen Bodentypen der KLABS

Silikatgesteinsboden	Huminstoffreicher Podsol
Mischgesteinsboden	Podsol
Karbonatgesteinboden	Trocken-Regosol
Humus-Silikatgesteinsboden	Trocken-Rendzina
Humus-Mischgesteinboden	Braunerde-Pseudogley
Humus-Karbonatgesteinsboden	Pseudogley
Humus-Gestein-Auenboden	Braunerde-Gley
Ranker = PK, MF Silikatboden	Buntgley
Fluvisol	Fahlgley
Regosol	Pelitische Braunerde
Rendzina	Pelitische Fahlgley
Saure Braunerde	Halbmoor
Gewöhnliche Braunerde	Saures Moor
Kalkbraunerde	Moor
Parabraunerde	Auenboden
Braunpodsol	Verbraunter Aueboden

Verknüpfen wir die Liste der aktuellen Böden (Tabelle 8) mit der Analyse in Kapitel 5.2. Manche spezifischen Bodentypen werden nicht benötigt, da die genaue Definition des Bodens und Unterscheidung von ähnlichen Bodentypen über den Untertyp erfolgen kann. Diese Doppelbestimmbarkeit entspricht nicht dem Vorgehen einer gezielten Klassifikation wie in Kapitel 2 beschrieben (Prinzip 3 & 4).

Ein Beispiel hierfür sind die verschiedenen Bodentypen von Braunerden, die alle durch den zugrundeliegenden Prozess der Verbraunung als charakteristischsten und wichtigsten bodenbildenden Prozess entstanden sind: Saure Braunerde, gewöhnliche Braunerde, Kalkbraunerde, Braunerde-Pseudogley, Braunerde-Gley. Für die feinere Unterscheidung dieser Typen bestehen ebenfalls bereits Untertypen wie «vergleyt», «kalkreich», etc. Der Bodentyp «Braunerde» würde hier also genügen und könnte durch Untertypen weiter unterteilt werden. Durch eine Konzentration auf wenige allgemeine Bodentypen, die durch Untertypen genauer beschrieben werden können, muss man in einem ersten Schritt der Ansprache weniger Fälle unterscheiden. Folgende allgemeine Bodentypen könnten

verwendet werden. Sie wurden nach Farben gegliedert, um heutige Klassen aufzuzeigen. Böden einer Farbe gehören in die gleiche Klasse:

- Gesteinsböden und Humus-Gesteinsböden, (Leptosols in der WRB, Lithosols im RP). Diese werden durch die Humusform und das Ausgangsgestein in Untertypen oder Qualifiers unterschieden.
- Wenig entwickelte Böden (AC). Diese unterscheiden sich weiter durch das Ausgangsgestein, erste Verwitterungsanzeichen (im Fall von Ranker, Regosol und Rendzina) oder bestimmte Entstehungssituationen (Fluvisol) und den Humustyp.
- Braunerden. Alle Böden in denen Prozesse der Verbraunung stattfinden, was das Vorhandensein eines B Horizontes impliziert. Wenn Merkmale, Grenzwerte und Unterscheidungskriterien der Braunerde klar definiert werden, wird automatisch auch der Untertyp «verbraunt» präzise definiert.
- Böden mit Verlagerungsprozessen. Hier müssen Auswaschungs- und Verlagerungsprozesse nachgewiesen werden, was z.B. festgelegte Tonanteilsverhältnisse zwischen zwei Horizonten, analog zur WRB, RP, KA5, nötig macht. Grenzwerte und Verhältnisse müssen sich auf Analysen stützen.
- Podsol. Die Podsolierung muss beobachtbar sein, analog zu den oben genannten Prozessen.
- Trockenböden (Phaeozem)
- Pseudogley
- Gley
- Organische Böden (Halbmoor, Moor)
- Pelitische Böden.
- Auenböden.
- Anthroposol (diese Böden werden in anderen Klassifikationen gesondert behandelt).
- Möglicherweise weitere Böden die man in der Schweiz findet.

Tabelle 9 Mindestanzahl der für die KLABS erforderlichen Böden, die den üblichen pedogenetischen Prozessen entspricht. Die Farben repräsentieren die 5 derzeit verwendeten Bodenklassen

Gesteinsboden	Humusgesteinsboden
Regosol	Rendzina
Fluvisol	Ranker
Parabraunerde	Braunerde
Phaeozem	Podsol
Gley	Pseudogley
Pelitische Böden	Halbmoor, Moor
Anthroposol	Auenboden

Die oben aufgezeigte Einteilung in grosse Gruppen (*Tabelle 9*) (Farbeinteilung) entspricht ungefähr den Einteilungen anderer Klassifikationssystemen, wie

- dem RP: LITHOSOL, RANKOSOL, REGOSOL, RENDOSOL, FLUVISOL, ORGANOSOL, BRUNISOL, LUVISOL, PODZOSOL, PHAEOSOL, REDOXISOL, REDUCTISOL, HISTOSOL, PELOSOL, ANTHROSOL.
- dem WRB: leptosol, regosol, fluvisol, umbrisol, cambisol, luvisol, podzol, phaeozem, stagnosol, gleysol, histosol, anthrosol
- oder der KA5: O/C-Böden, Rohböden, Ah/C-Böden (Ranker, Rendzina, Regosol), Braunerden, Parabraunerden, Podsoles, Stauwasserböden, Reduktosols, Gleye, Moore, Pelosols, Anthropogene Böden.

Mit der oben beschriebenen Einteilung könnten in einem zweiten Schritt Untertypen oder näher beschreibende Attribute für einen Bodentyp bestimmt werden. Beispielsweise könnte ein bestimmter pH oder typische Akkumulationen für einen Untertyp festgelegt werden. Dieses Vorgehen wird auch im

WRB und im RP angewendet. Es wäre mit der heutigen KLABS kompatibel und würde keine komplette Neu-Erarbeitung des ganzen Systems erfordern.

Für mineralische Böden und wenig entwickelte Böden läuft die Klassifikation auf einige wenige Punkte hinaus:

- Muttergestein definieren: hier sind die Gebirgsböden von Priorität. Da bereits Listen der Gesteine der Schweiz und die 3 Klassen in der Hierarchieebene « Verband » der heutigen KLABS existieren, könnte man diese Einteilungen übernehmen.
- Humusformen präzisieren, Untertyp M ca. CHF 27'018,-, Untertyp V ca. 15'500,- Untertyp O muss nur teilweise überarbeitet werden.
- Erste Verwitterungsanzeichen in Abhängigkeit des Ausgangsgesteins definieren: schwierig.

Die Definition von langsam durchwaschenen Böden (Gley und Pseudogley) wird heute anhand der Untertypen I, G und R gemacht. Diese Definitionen müssen überarbeitet werden. Diese Böden sollten auf der Stufe Bodenprozesse differenziert werden, wozu für jeden Untertyp ein eigener Budgetposten erstellt werden sollte.

6.2 Weitere Überlegungen zum Vorgehen im Revisionsprozess

6.2.1 Hierarchische Niveaus der Information beachten

Die Hierarchie der verschiedenen Eigenschaften und Prozesse muss bei einer Revision der KLABS unbedingt berücksichtigt werden. Wenn Eigenschaften oder Prozesse von anderen abhängen, sollte die/der erste in der Hierarchie auch zuerst definiert oder präzisiert werden. Nur so kann Schritt für Schritt ein in sich konsistentes System aufgebaut werden. Eine Hierarchie könnte z.B. gemäss den Schlussfolgerungen des Nationalen Forschungsprojekt NFP68 (Abbildung 7) abgeleitet werden (Keller et al. 2018):

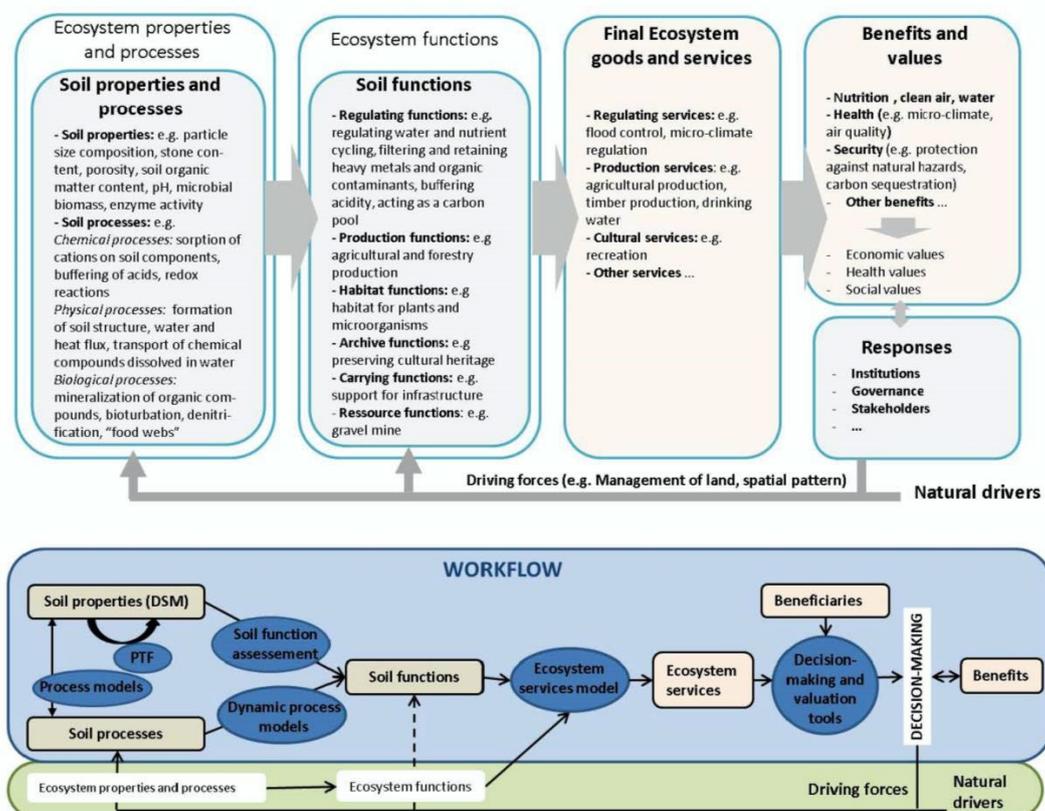


Abbildung 6 Schematische Übersicht über Ökosystemleistungen des Bodens. Die Einteilung könnte auch in der in der KLABS Revision als hilfreiche Strukturierung dienen. (Keller et al. 2018)

Wichtige Eigenschaften des Bodens, deren Beschreibung und Klassifizierung einheitlich vonstattengehen muss, sind Körnung, Skelettgehalt, Gehalt an Organischer Substanz, pH, Mikrobielle Biomasse, Porosität, usw. Diese Eigenschaften werden als Deskriptoren benötigt, um Prozesse und Funktionen, die im Boden ablaufen, zu beschreiben. Da fast alle Definitionen und Interpretationen auf einem beschränkten Set an typischen Eigenschaften basieren (Körnung, pH, Skelett...), braucht es also genaue Beobachtungen und reale Daten für die Festlegung. Dazu gehören auch eindeutig definierte Funktionen für die Berechnung von abgeleiteten Grössen (Pflanzennutzbare Gründigkeit, usw). Das hierarchische und datengestützte Vorgehen soll durch *Abbildung 8* verdeutlicht werden:

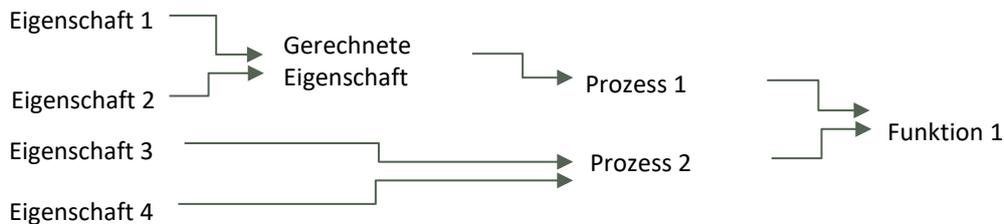


Abbildung 7 Schema eines Revisionsprozesses entlang der beschriebenen Hierarchie des Systems

Es ist ausserdem nicht möglich einen Boden zu klassifizieren ohne ein minimales Set an Beobachtungen und Analysen festzulegen, die ausgeführt werden müssen. Das Schema in *Abbildung 9* soll diesen Fall verdeutlichen.

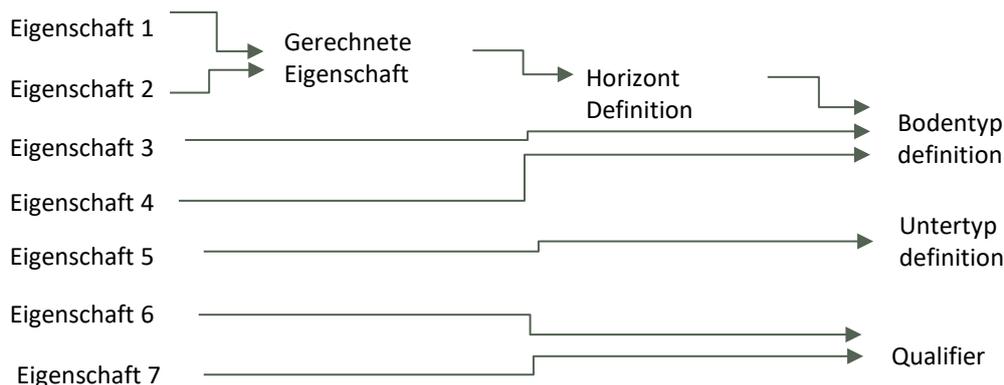


Abbildung 8 Schematischer Ablauf einer eindeutigen Klassifikation mit einem minimalen Set an nötigen Beobachtungen, um einen Bodentyp abschliessend zu bestimmen.

6.2.2 Nachvollziehbarkeit der Originaldaten

Das Zusammenfassen von mehreren Horizonten in Ober- und Unterboden ist ein gutes Mittel um bei der Feldansprache schnell arbeiten zu können. Es bringt aber einen grossen Informationsverlust

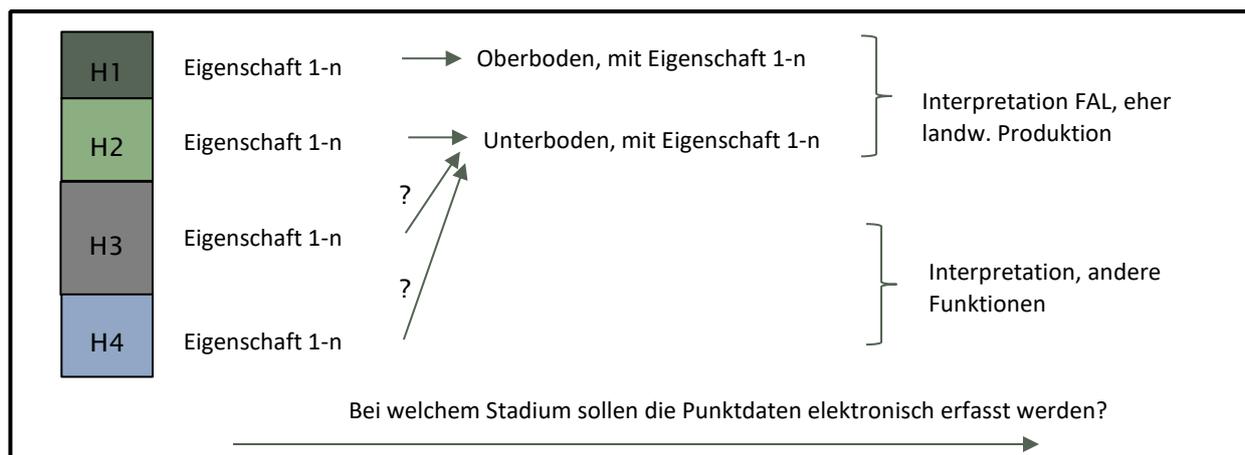


Abbildung 9 Die Einteilung in Ober- und Unterboden erfolgt günstigerweise in einem zweiten Schritt, nachdem alle Horizonte vollständig beschrieben wurden, um keine Information zu verlieren.

mit sich, der später nicht mehr nachvollziehbar ist (Abbildung 10). Die Entwicklung von Datenbanken und die breite Spanne an Anwendungszwecken, für die erhobene Daten brauchbar sein müssen, impliziert eine möglichst geringe Verarbeitung der Daten. Die Wichtigkeit von Originaldaten wird auch im neusten Soil Survey Manual (USDA, Soil Science Division Staff 2017) hervorgehoben.

Für manche Entscheidungen ist es wichtig, die Informationen über alle Horizonte zu haben, wenn solche Entscheidungen nach dem abgeschlossenen Kartierungsprozess gefällt werden sollen, können die erhobenen Daten sich als unnützlich erweisen. In Zukunft wäre es wichtig, den Boden komplett, also mit allen Horizonten, zu beschreiben. Wenn im aktuellen Projekt Ober- und Unterboden erfragt werden, muss diese Einteilung anschliessend und zusätzlich erfolgen, unter der Angabe, welche Horizonte dem Ober- und welche dem Unterboden zugerechnet wurden. So kann zu einem späteren Zeitpunkt die gemachte Entscheidung nachvollzogen werden. Abbildung 9 zeigt dieses zweistufige Vorgehen.

7. Schlussfolgerungen

Die vorangegangenen Kapitel haben folgende Punkte aufgezeigt:

- Eine sinnvolle Bodenklassifizierung muss bestimmten logischen Regeln folgen, um Ungenauigkeiten und Probleme zu vermeiden.
- Eine gute Vorbereitung der Revision und eine Dokumentation von bereits vorhandenen Lösungen, sowie eine gute Unterscheidung zwischen Lösungen, die übernommen werden können oder neu entwickelt werden müssen, kann die Kosten deutlich senken. Wichtig bei einer Übernahme von Informationen und Regeln aus anderen Klassifikationen ist eine vorherige Anpassung an die KLABS, um Widersprüche zu verhindern. Die Analyse im Anhang 1 (Excel) zeigt etwas detaillierter Lösungsansätze für einzelne Teilbereiche der Revision auf. Wichtig wird es sein, die nötigen Revisionschritte noch zu priorisieren. Diese Priorisierung muss sich an der später gewünschten Hierarchie der KLABS orientieren. Zusätzlich können die Erkenntnisse aus dem NFP68 eine Hilfe zur Priorisierung leisten.
- Weltweit wurden viele Projekte zur Überarbeitung nationaler oder internationaler Klassifikationen durchgeführt. Es gibt sowohl Überlegungen bezüglich Klassifikationen insgesamt, sowie zu Bodentypen, die besser beschrieben werden müssten.
- Gewisse Länder wie Australien planen eine ziemlich grosse Änderung im Klassifikationssystem. Die Australian Soil Classification (ASC) hat ihre Wurzeln sowohl im Handbook of Australian Soils als auch im Factual Key (Isbell 2016). Auch Neuseeland (Cutler, E. J. B. 1983), Estland (Kolli R. 1998) und Bulgarien (Penkov et al. 2001) haben Revisionen ihrer Bodenklassifikationen umgesetzt. Diese Überarbeitungen haben größtenteils zu einer Vereinfachung der Systeme

- geführt. In allen Klassifizierungen gibt es Konzepte, die sich auf die Entstehung von Böden beziehen, und eher analytische Teile, die eine genauere Beschreibung von Böden ermöglichen.
- Natürliche Klassifizierungen stellen genau das dar, was in der Natur vorkommt. Sie sind wünschenswert, weil sie den Nachweis einer gemeinsamen Geschichte, eines gemeinsamen Prozesses oder Mechanismus darstellen. Ihre Beschreibung muss jedoch auf möglichst vielen objektiven und reproduzierbaren Messungen beruhen.
 - In Zukunft muss die KLABS vielerlei Ansprüchen gerecht werden. Sie muss, wie alle Klassifikationen, genug präzise sein, um wiederholbar und nachvollziehbare Entscheidungen zu ermöglichen, dabei aber gleichzeitig praxistauglich bleiben (Frei 1984; Isbell 2016; USDA, Soil Science Division Staff 2017; Weisskopf und Zihlmann 2017). Dazu muss sie sich auf ein wissenschaftliches Gerüst aus Daten abstützen und klare Definitionen und Abgrenzungen/Grenzwerte enthalten (Frei 1984). All diesen Ansprüchen könnte eine vereinfachte KLABS mit weniger Hierarchiestufen vermutlich besser genügen. Dies erfordert aber schon zu Beginn des Revisionsprozesses einige grundlegende und mutige Entscheidungen über die Struktur der zukünftigen KLABS.
 - Dieser Ansatz wird es ermöglichen, nicht in ein System zurückzufallen, das Fehler der heutigen KLABS wieder begeht, sondern eine Lösung vorzuschlagen, die die derzeitigen Probleme wirklich beseitigt

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Unterscheidbarkeit von Untertypen und der verschiedenen Formen von Merkmalen, die sie beschreiben.....	5
Abbildung 2 : Schematische Darstellung der Spannweite von Untertypen, um alle in der Schweiz möglichen Beobachtungen abzubilden.....	5
Abbildung 3 charakteristische Zeiten spezifischer pedogener Prozesse (SPP) in der Eigenentwicklung des Bodens (Targulian and Krasilnikov 2007).....	8
Abbildung 4 Denkprozess zur Bodenbeschreibung nach dem Referenciel Pedologique. Die Übertragung der natürlichen Beobachtung in ein 2-dimensionales Konzept führt zu einer Zuordnung zu einer Sammlung an Referenzbodenprofilen (AFES 2009).....	9
Abbildung 6 Mögliches Vorgehen zur Klärung einer Problematik innerhalb der Revision der KLABS...	15
Abbildung 7 Schematische Übersicht über Ökosystemleistungen des Bodens. Die Einteilung könnte auch in der in der KLABS Revision als hilfreiche Strukturierung dienen. (Keller et al. 2018)	19
Abbildung 8 Schema eines Revisionsprozesses entlang der beschriebenen Hierarchie des Systems...	20
Abbildung 9 Schematischer Ablauf einer eindeutigen Klassifikation mit einem minimalen Set an nötigen Beobachtungen, um einen Bodentyp abschliessend zu bestimmen.	20
Abbildung 10 Die Einteilung in Ober- und Unterboden erfolgt günstigerweise in einem zweiten Schritt, nachdem alle Horizonte vollständig beschrieben wurden, um keine Information zu verlieren.	21

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Allgemeine anerkannte Bodenbildungsprozesse in verschiedenen Bodenklassifikationen.....	7
Tabelle 2 Liste der Orders (erste hierarchische Stufe) der USDA Soil Taxonomy (USDA NRCS Soil Survey Staff 2014).	10
Tabelle 3 Übersichtstabelle der vier Stufen und darin enthaltenen Einteilungskriterien der KLABS (BGS 2010).....	11
Tabelle 4 Liste der beschriebenen Bodentypen in der KLABS (BGS 2010).	12
Tabelle 5 Liste der Klassen, Ordnungen, Verbände und Typen die zur Zeit mindesten einmal in einen beschriebenen Bodentyp in der KLABS vorkommen in Schwarz. In Grau sind nicht verwendete Stufen dargestellt.....	12

Tabelle 6 Detailbeschreibung von Klassen, Ordnungen, Verbänden und Typen zur Einteilung von Böden in der KLABS.....	13
Tabelle 7 Mögliches Budget (in CHF, inkl MWSt und Qualitätssicherung) der Revision der KLABS nach der Arbeit an den einzelnen Hierarchiestufen aufgeschlüsselt.....	16
Tabelle 8 Liste der aktuellen Bodentypen der KLABS.....	17
Tabelle 9 Mindestanzahl der für die KLABS erforderlichen Böden, die den üblichen pedogenetischen Prozessen entspricht. Die Farben repräsentieren die 5 derzeit verwendeten Bodenklassen.....	18

10. • Literaturverzeichnis

- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- AFES, 2009. Référentiel pédologique 2008 ([Nouv. éd. rev. et augm.]). Quae, Versailles, 405 S.
- Arnold RW, 2002. Soil Classification Principles. European Soil Bureau Research Report, 7, 3–9, abgerufen am 01.10.2018, https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/esb_rr/n07_ESBResRep07/101Arnold.pdf
- BGS, 2010. Klassifikation der Böden der Schweiz Bodenprofiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definitionen der Begriffe, Anwendungsbeispiele, unveröffentlicht. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Luzern.
- Cline MG, 1949. Basic Principle of soil classification., abgerufen am 12.11.2018, https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1949/02000/Basic_Principles_of_Soil_Classification.2.aspx
- Cutler, E. J. B., 1983. A review of soil classification systems and proposals for a New Zealand soil classification, 2, 148-pp.
- Ditzler CA, Ahrens RJ, 2006. Development of Soil Taxonomy in the United States of America. Eurasian Soil Science, 39 (2), 141–146, abgerufen am 11.10.2018, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134%2FS1064229306020049.pdf>
- Duchaufour P, 1977. Pédogenèse et classification. Masson, Paris, 477 S.
- Frei E, 1976. Richtlinien für die Beschreibung und Klassifikation von Bodenprofilen. Schw. landw. Forsch., 15 (3/4).
- Frei E, 1984. Bedeutung der Bodenhorizonte in der Bodenklassifikation. Beispiele aus der USATaxonomie und der FAO-Bodenkarte. BGS-Bulletin, 8, 13–20, abgerufen am 04.01.2019, http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/BGS_Fachgesellschaft/Bulletins/BGS_Bulletin_8.pdf
- Frei E, Vökt U, Flückiger H, Brunner H, Schai F, 1980. Bodeneignungskarte der Schweiz, Bern.
- Hartemink AE, 2015. The use of soil classification in journal papers between 1975 and 2014. Geoderma Regional, 5, 127–139, abgerufen am 01.10.2018, <http://cms.talaj.hu/wpcontent/uploads/2015/02/2015-Soil-classification-1975-2014.pdf>
- Hempel J, Micheli E, Owens P, McBratney A, 2013. Universal Soil Classification System Report from the International Union of Soil Sciences Working Group. Soil Horizons, 54 (2), 0.
- Hjorland B, 2017. Classification (IEKO), 20.02.2018, abgerufen am 01.10.2018, <http://www.isko.org/cyclo/classification>
- Isbell RF, 2016. The Australian soil classification (Second edition). CSIRO PUBLISHING, Clayton South, VIC.
- IUSS Working Group WRB, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, unveröffentlicht. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), Rome.
- Jenny H, 1941. Factors of soil formation a system of quantitative pedology (1st). McGraw-Hill, New York, 281 S.
- Keller A, Franzen J, Knüsel P, Papritz A, Zürrer Z, 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), Bern.

- Kolli R., 1998. Problems of Estonian soil classification. *Eesti muldade klassifitseerimise probleemid*, 198, 9–23.
- Krasilnikov P, Ibanez Marti J.J., Arnold R, Shoba SA, 2016. Handbook of soil terminology, correlation and classification. Routledge, [Place of publication not identified].
- Kubiëna WL, 1954. The Soils of Europe. English edition (printed in Spain), pp. 318, 26 plates (mainly in colour), 11 figs. Thomas Murby and Co., London, 1953. Price 15s. *Geological Magazine*, 91 (04), 336.
- Miller BA, Schaetzl RJ, 2016. History of soil geography in the context of scale. *Geoderma*, 264, 284–300, abgerufen am 10.12.2018, https://ac.els-cdn.com/S0016706115300707/1-s2.0S0016706115300707-main.pdf?_tid=b0e43357-44da-4dc2-807c-f5e5ecc9f645&acdnat=1544428672_e9d7525deda4b3b4a72f28a38964880f
- Nikiforova AA, Fleis ME, 2018. A universal soil classification system from the perspective of the General Theory of Classification: a review. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 14 (1), 5–13, abgerufen am 01.10.2018.
- Pallmann H, 1932. Der Boden. Seine Entstehung und seine Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung schweizerische Verhältnisse. Sonderabdruck aus dem "Schweizer-Bauer".
- Pallmann H, 1944. Polykopen zur Vorlesung über Bodenkunde.
- Penkov M, Andonov T, Andonov G, 2001. On the classification of the Bulgarian soils. *Pochvoznanie, Agrokimiya i Ekologiya*, 36 (4/6), 19–21.
- Scheffer F, Schachtschabel P, Blume H-P, Thiele-Bruhn S, 2010. Lehrbuch der Bodenkunde (16. Aufl. /). Spektrum, Heidelberg, 569 S.
- Simonson RW, 1962. Soil Classification in the United States: Classification of soils at any point in history largely reflects current understanding of soil genesis. *Science*, 137 (3535), 1027–1034.
- Sticher H, 2001. Bodenkunde und Bodenkundler in der Schweiz 1855-1962. BGS_Dokument, 11, abgerufen am 04.01.2019, http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/BGS_Fachgesellschaft/BGS_Dokumente/BGS_Dokument_11.pdf
- Targulian VO, Krasilnikov PV, 2007. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. *Catena*, 71 (3), 373–381, abgerufen am 01.10.2018.
- USDA NRCS Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy 12th edition, abgerufen am 11.10.2018.
- USDA, Soil Science Division Staff, 2017. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture, 6, 639, abgerufen am 11.10.2018, <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>
- van Huyssteen CW, Turner DP, Le Roux PAL, 2013. Principles of soil classification and the future of the South African system. *South African Journal of Plant and Soil*, 30 (1), 23–32, abgerufen am 12.11.2018, <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02571862.2013.771752?needAccess=true>
- Weisskopf P, Zihlmann U, 2017. Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) und der Bodenkartierungsanleitung (KA) (RevKLABSKA). BAFU-Vorprojekt, unveröffentlicht. Agroscope, FG Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz.